



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología
Tesis de Doctorado en Lógica y Filosofía de la Ciencia

**Aplicação de um Modelo de Avaliação de Projetos de
Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico:
a nanotecnologia no Brasil**

Elio Carlos Ricardo

Director: Miguel Ángel Quintanilla Fisac
Tutor: Santiago Manuel López García

Salamanca

2023

Agradecimentos

Esta tese foi a minha *Odisseia* e, portanto, escrita *in medias res*. Tempo era um recurso escasso. A cada capítulo os *deuses* pareciam me lançar para longe e a pandemia da Covid-19 foi o último tormento. Apesar de tudo, chegamos a *Ítaca*.

A jornada começa com meu interesse nos Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia e o resgate de um antigo projeto, a saber, um doutorado em filosofia da ciência, que se originou quando ainda era estudante de física. O caminho foi muito longo até aqui, passando por outras vias que se mostraram alternativas viáveis, levando-me a trabalhar e estudar em vários lugares. Nada foi em vão.

A retomada ocorreu com minha primeira visita ao *Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología* na histórica Universidade de Salamanca, em fevereiro de 2014, e com a realização dos cursos de *Experto en Divulgación y Comunicación de la Ciencia y de la Tecnología* e do *Máster en Cultura Científica y de la Innovación*, ambos na Universidade de Oviedo. Aqui começam meus agradecimentos.

Assim, agradeço muito ao Prof. Dr. José Antonio López Cerezo, por me orientar no *máster* e me receber em várias ocasiões na Universidade de Oviedo, compartilhando livros, bibliografias e contatos. Agradeço à Profa. Dra. Marta González García, diretora do *máster*, pela amável acolhida e estendo meus agradecimentos aos demais professores.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Miguel Ángel Quintanilla Fisac, por me receber no *Instituto* em várias visitas e por aceitar em me orientar no doutorado. A cada conversa eu aprendia mais sobre filosofia da tecnologia e outros temas, tornando minhas estadias na charmosa cidade de Salamanca ainda mais prazerosas. Agradeço à Profa. Dra. Ana Cuevas Badallo e ao Prof. Dr. Santiago Manuel López García, diretores do Instituto nesse período, pela sempre gentil acolhida e estendo meus agradecimentos aos demais professores. Agradeço também a Esther Palacios Mateos e Pilar López Morales pela acolhida, pelas informações e auxílios com os trâmites administrativos. Agradeço aos alunos e ex-alunos do doutorado pelas agradáveis conversas, trocas de experiências em meio a cafés e chás. Certamente, muitas outras pessoas

contribuíram para meus esforços terem sucesso. Recebam meus agradecimentos.

Sou muito agradecido a todos por me acolherem com tanta amabilidade em todas as ocasiões em que estive em Salamanca e em Oviedo (e pela tolerância com meu espanhol...).

Aqui no Brasil, gostaria de agradecer aos pesquisadores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por participarem das entrevistas, compartilhando seus conhecimentos e experiências. Receio dizer que eu fui a parte que mais ganhou. Suas contribuições tornaram possível esta tese.

A todos, muito obrigado! *¡Muchas gracias!*

*Dedico à família. Em meio às dificuldades,
apoiamo-nos mutuamente.*

Aplicação de um Modelo de Avaliação de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico: a nanotecnologia no Brasil

Resumo

Os artefatos tecnológicos fazem parte do cotidiano da grande maioria das pessoas, ainda que nem sempre sejam percebidos como resultados de um processo de pesquisa e desenvolvimento com implicações sociais e econômicas que, cada vez mais, influenciam e são influenciadas pela sociedade. Um simples telefone móvel, que pode ser encontrado nas mãos de uma grande parte da população mundial, parece esconder um conjunto de ações realizadas, e outras que ocorrem em paralelo, para seu pleno funcionamento. Além do planejamento e produção desse artefato, há uma rede de distribuição e venda, de *marketing*, de manutenção, de aplicativos, de transmissão e recepção de sinais, entre outras. Acrescente-se a isso um conjunto de leis e normas técnicas, de transformações sociais e de comportamentos, de novas relações de trabalho e serviços que passaram a existir a partir da criação e uso desse dispositivo. Entretanto, apesar dessas extensas e intensas influências na dinâmica social, as relações entre as pessoas e esse artefato praticamente se reduzem à compra e ao uso, sem participação nas demais fases que parecem ser “invisíveis” aos consumidores, ainda que muitas decisões tenham sido tomadas e lhes implicassem consequências. Seria possível mudar essa relação entre os consumidores e os produtores das tecnologias? Haveria outros caminhos alternativos para o desenvolvimento tecnológico? Seria necessário e possível um controle externo dos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico? Respostas afirmativas e propositivas a essas questões levaram Miguel Ángel Quintanilla a construir um modelo de avaliação do que seriam as Tecnologias Apropriáveis. No entanto, responder positivamente a essas questões não significa que sejam respostas fáceis. Esse caminho alternativo ocorre sob a luz

de reflexões filosóficas acerca da tecnologia, assumindo-a como um sistema de ações intencionais, superando concepções simplistas como o mito da autonomia plena da tecnologia, sua redução ao artefato tecnológico livre de valores ou como mera aplicação da ciência. Assim, esta tese se propõe a aplicar o modelo das tecnologias apropriáveis de avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento em uma área e contexto específicos, a saber, a nanotecnologia no Brasil. Para isso, toma-se como base teórica a filosofia da tecnologia de Quintanilla e o seu modelo das tecnologias apropriáveis para analisar os dados obtidos por meio de entrevistas com pesquisadores de dois institutos de pesquisa brasileiros que são referências na área de nanotecnologia; o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Além disso, são apresentados os principais eventos históricos do surgimento da nanotecnologia como área de pesquisa e sua inserção e consolidação no Brasil a partir das políticas públicas de financiamentos, a fim de compreender melhor o cenário de trabalho dos pesquisadores entrevistados e os significados de suas concepções e representações. A pesquisa se caracteriza por um enfoque qualitativo, com análise de documentos e de conteúdos e entrevistas semiestruturadas. Os principais resultados apontam que a nanotecnologia surgiu em uma convergência de outras áreas científicas e tecnológicas e que, desde seu início, sofreu influências políticas e econômicas para sua consolidação nos países desenvolvidos. No Brasil não foi diferente. Destaca-se no contexto brasileiro a presença do modelo linear de desenvolvimento tecnológico e inovação nas políticas públicas, bem como a manutenção das tomadas de decisões nas mãos dos especialistas, excluindo-se um controle social. Pode-se dizer que esse ambiente, tanto nacional quanto internacional, reflete-se nas práticas dos pesquisadores entrevistados. Ao analisar os dados das entrevistas, a partir dos critérios de avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico propostos por Quintanilla, observa-se que os aspectos mais desfavoráveis para uma tecnologia apropriável remetem à dimensão extrínseca dos processos tecnológicos e as características mais favoráveis se associam aos critérios intrínsecos. Entretanto, deve-se ressaltar que os pesquisadores atuam sob determinadas exigências e restrições, impostas pela legislação, protocolos

reguladores, políticas públicas e agências de fomento. Ao final, conclui-se que o modelo das tecnologias apropriáveis se mostrou viável para avaliar os projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, além de iluminar a dinâmica desses processos ao incorporar uma base conceitual para se compreender a própria natureza dos sistemas tecnológicos.

Aplicación de un Modelo de Evaluación de Proyectos de Investigación y
Desarrollo Tecnológico: la nanotecnología en Brasil

Resumen

Los artefactos tecnológicos son parte del día a día de la mayoría de las personas, aunque no siempre se perciban como resultado de un proceso de investigación y desarrollo con consecuencias sociales y económicas que, cada vez más, afectan y son afectados por la sociedad. Un simple teléfono móvil, que se encuentra en las manos de una gran parte de la población del mundo, suele traer consigo muchas acciones realizadas, y otras que ocurren simultáneamente, para que funcione perfectamente. Además de la planificación y producción de dicho artefacto, hay una red de distribución y venta, de *marketing*, de mantenimiento, de transmisión y recepción de señales, entre otras. Sumado a esto está una serie de leyes y normas técnicas, de transformaciones sociales y de comportamiento, de nuevas relaciones de trabajo y servicios que solo pasaron a existir después de la creación y utilización de estos dispositivos. Sin embargo, a pesar de estas extensas e intensas influencias en la dinámica social, las relaciones entre las personas y este artefacto resumidamente se reducen a la compra y la utilización, sin participación en las demás fases que les parecen «invisibles» a los consumidores, aunque muchas decisiones hayan sido tomadas y les impliquen consecuencias. ¿Sería posible cambiar dicha relación entre los consumidores y los productores de las tecnologías? ¿Habría otros caminos alternativos para el desarrollo tecnológico? ¿Sería necesario y posible un control externo de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico? Respuestas afirmativas y propositivas a dichas preguntas llevaron Miguel Ángel Quintanilla a construir un modelo de evaluación de que serían las Tecnologías Entrañables. Pero, contestar de manera positiva a estas preguntas no significa que las respuestas sean fáciles. Este camino alternativo ocurre bajo la luz de cuestiones filosóficas

acerca de la tecnología, la asumiendo como un sistema de acciones intencionales, superando concepciones demasiado simples como el mito de la autonomía plena de la tecnología, su reducción al artefacto tecnológico libre de valores o como mera aplicación de la ciencia. Por tanto, esta tesis se propone a aplicar el modelo de las tecnologías entrañables de evaluación de proyectos de investigación y desarrollo en una área y contexto específicos, es decir, la nanotecnología en Brasil. Para esto, se toma como base teórica la filosofía de la tecnología de Quintanilla y su modelo de las tecnologías entrañables para analizar los datos obtenidos por medio de entrevistas con investigadores de dos institutos de investigación brasileños referencia en el área de nanotecnología, el *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares* (IPEN) y el *Instituto de Pesquisas Tecnológicas* (IPT). Además, se presentan los principales eventos históricos del surgimiento de la nanotecnología como área de investigación y su inserción y consolidación en Brasil a partir de las políticas públicas de financiación, con el objetivo de entender más del panorama de trabajo de los investigadores entrevistados y sus concepciones y representaciones. La investigación se caracteriza por un enfoque cualitativo, con análisis de documentos y de contenidos y entrevistas semiestructuradas. Los principales resultados muestran que la nanotecnología surgió en una convergencia de otras áreas científicas y tecnológicas y que, desde el inicio, sufrió influencias políticas y económicas para su consolidación en los países desarrollados. En Brasil no ha sido diferente. Se destaca en el contexto brasileño la presencia del modelo lineal de desarrollo tecnológico e innovación en las políticas públicas, así como la manutención de tomadas de decisiones en las manos de los especialistas, excluyéndose un control social. Se puede decir que este ambiente, tanto nacional como internacional, se refleja en las prácticas de los investigadores entrevistados. Al analizar los datos de las entrevistas, a partir de los criterios de evaluación de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico propuestos por Quintanilla, se observa que los aspectos más desfavorables para una tecnología entrañable remiten a la dimensión extrínseca de los procesos tecnológicos y las características más favorables se asocian a los criterios intrínsecos. Sin embargo, se debe resaltar que los investigadores actúan bajo determinadas exigencias y restricciones, impuestas por la ley, protocolos de

regulación, políticas públicas y agencias de financiación. Por fin, se concluye que el modelo de las tecnologías entrañables se mostró viable para evaluar los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, además de poner luz a la dinámica de estos procesos al incorporar una base conceptual para que se comprenda la propia naturaleza de los sistemas tecnológicos.

Lista de Abreviaturas

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
SI – Sistema Internacional de Unidades
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
IBNN – Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia
P+D – Pesquisa e Desenvolvimento
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
USP – Universidade de São Paulo
NIT – Núcleo de Inovação Tecnológica
SisNANO – Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
LIN – Laboratório Integrado de Nanotecnologia
EPI – Equipamento de Proteção Individual
EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
Ge – Germânio (elemento químico)
NRC – *National Research Council* (Canada)
NMR – Ressonância Magnética Nuclear
DNA – Ácido Desoxirribonucleico
K – Kelvin (escala de temperatura no SI)
RNA – Ácido Ribonucleico
NNI – *National Nanotechnology Initiative* (Estados Unidos)
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
CT&I – Ciência, Tecnologia e Inovação
DECTI – Diretrizes Estratégicas para a Ciência, Tecnologia e Inovação
PADCT – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
C&T – Ciência e Tecnologia
PITCE – Programa para a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação
N&N – Nanociência e Nanotecnologia
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
PPA – Plano Plurianual
GT – Grupo de Trabalho

P&D&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
INI – Iniciativa Nacional para Inovação
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAPERJ – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
LNLS – Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CETENE – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
CBAN – Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia
LNNano – Laboratório Nacional de Nanotecnologia
PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S. A. (empresa estatal brasileira)
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
PACTI – Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional
IBAS – Índia, Brasil e África do Sul
PBN – Programa Brasileiro de Nanotecnologia
FNDCT – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SBPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
IBN – Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia
CTI – Ciência, Tecnologia e Inovação
ENCTI – Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
SEMPI – Secretaria de Empreendedorismo e Inovação
BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (bloco de cooperação econômica)
PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
CLT – Consolidação das Leis do Trabalho
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SUS – Sistema Único de Saúde

Lista de Esquemas

Esquema 01: avaliação de Programas de P+D	40
---	----

Lista de Quadros

Quadro 01: critérios de avaliação de projetos tecnológicos	52
Quadro 02: cronologia da iniciativa em nanociência e nanotecnologia no Brasil	125
Quadro 03: síntese das análises dos dados	219

Sumário

Introdução	16
1. Da filosofia da técnica às tecnologias apropriáveis	23
1.1. Uma filosofia da técnica	24
1.2. A avaliação do planejamento tecnológico	34
1.3. As tecnologias apropriáveis	45
1.3.1. Tecnologia aberta	52
1.3.2. Tecnologia polivalente	53
1.3.3. Tecnologia dócil e controlada	54
1.3.4. Tecnologia limitada	55
1.3.5. Tecnologia reversível	56
1.3.6. Tecnologia recuperável	57
1.3.7. Tecnologia compreensível	58
1.3.8. Tecnologia participativa	58
1.3.9. Tecnologia sustentável	59
1.3.10. Tecnologia socialmente responsável	60
2. Metodologias da pesquisa	61
2.1. Aspectos teóricos da pesquisa qualitativa	61
2.2. Metodologias aplicadas aos capítulos	72
3. O contexto histórico do surgimento da nanotecnologia	86
3.1. Da física e da eletrônica para o microscópio de tunelamento	87
3.2. Da química aos grafenos	94

3.3. Rumo às nanomáquinas	109
4. A iniciativa nano no Brasil	117
4.1. 2001 e a Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia ...	118
4.2. Rumo ao SisNANO	131
4.3. A nanotecnologia e a indústria nacional	139
5. Análise dos dados	152
5.1. Uma tecnologia aberta	153
5.2. Uma tecnologia polivalente	163
5.3. Uma tecnologia dócil e controlada	169
5.4. Uma tecnologia limitada	173
5.5. Uma tecnologia reversível	178
5.6. Uma tecnologia recuperável	183
5.7. Uma tecnologia compreensível	187
5.8. Uma tecnologia participativa	190
5.9. Uma tecnologia sustentável	194
5.10. Uma tecnologia socialmente responsável	200
5.11. Outros aspectos dos projetos tecnológicos	204
Considerações Finais	210
Referências Bibliográficas	223
Anexos	232
1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	232
2. Transcrição completa das entrevistas	233

Introdução

O Brasil ainda não é um grande produtor de tecnologias, mas é um grande consumidor do que se produz no exterior. Ao mesmo tempo, há uma tendência da população em aceitar a tecnologia como algo naturalmente estabelecido e de responsabilidade apenas dos técnicos, eximindo-se de participar das políticas públicas e de questões relacionadas ao desenvolvimento tecnológico e suas implicações sociais e econômicas. Isso ficou evidente quando questões científicas e tecnológicas ganharam projeção nacional, como as discussões que ocorreram no parlamento brasileiro a respeito do uso de células-tronco para pesquisa, o plantio de alimentos transgênicos, os marcos legais da Internet, os crimes cibernéticos e, mais recentemente, o enfrentamento da pandemia da Covid-19. Nesses episódios, a participação pública, por iniciativa e interesse da sociedade em geral, foi pequena. Apesar disso, decisões foram tomadas. E, nesse sentido, Quintanilla (2017) faz um alerta: *“as tecnologias são como são porque há pessoas que tomam decisões para que sejam assim”* (p.27). Quem as tomou e sob quais concepções de tecnologia e de desenvolvimento tecnológico? Ao que parece, isso não se mostrou relevante para as pessoas.

Um olhar para o passado recente torna essas questões ainda mais evidentes. Segundo González et al. (2011), até a década de 1960 o pensamento dominante era de que o desenvolvimento e a inovação tecnológica não necessitavam de regulação externa e os cidadãos não tinham participação nesse processo além de meros consumidores de seus produtos. Os chamados Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia, ou Estudos CTS, mostraram essa necessidade de avaliar os impactos sociais da tecnologia, bem como seus riscos e

benefícios. Com isso, a ideia de desenvolvimento tecnológico sem vínculos com os aspectos sociais passou a ser questionada.

Para González et al. (2011), a partir das contribuições dos Estudos CTS, ficou claro que o desenvolvimento tecnológico não depende apenas da dinâmica interna da tecnologia, mas também de aspectos culturais, econômicos, políticos, entre outros. Por isso, defendem os autores, torna-se necessário submeter as decisões relacionadas ao desenvolvimento tecnológico a sistemas de avaliação e ao controle social, pois os avanços tecnológicos influenciam e são influenciados por fatores sociais e, portanto, deveriam ser incorporados aos projetos tecnológicos sujeitos a avaliações. Uma vez que tal necessidade seja reconhecida e atendida, o passo seguinte seria estabelecer critérios objetivos de avaliação.

Nesse sentido, Quintanilla (2005) defende que a tecnologia deveria ser compreendida como um sistema de ações intencionalmente orientadas para atingir determinado objetivo, apoiado em conhecimento científico e em outros critérios, como o de eficiência e utilidade. O autor destaca ainda que uma avaliação interna desse sistema de ações, como a eficiência técnica praticada entre pares, não seria suficiente, pois haveria outros fatores, alguns dos quais externos, como o valor de uso, por exemplo. Tampouco seria suficiente reduzir a avaliação da eficiência tecnológica ao caráter econômico, ou à valoração de custo e benefício, o que excluiria os aspectos relacionados ao conhecimento técnico-científico envolvido. Assim, fica claro que avaliar um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico exige compatibilizar interesses de várias ordens.

Isso se torna mais relevante quando se percebe que as consequências sociais do uso ou aplicação de uma tecnologia são difíceis de medir, especialmente se comparados aos critérios técnicos intrínsecos aos processos tecnológicos. Diante disso, Quintanilla (2017) propõe a ideia das tecnologias apropriáveis¹ como critérios para um modelo alternativo de avaliação de

¹ Originalmente, Quintanilla utiliza o termo *entrañables*. Assume-se aqui que a tradução mais próxima do significado atribuído pelo autor seria apropriável. O verbo apropriar em português significa tornar-se dono, incorporar, adequar; já apropriável pode significar assimilável, adaptável, compreensível. Na frase “apropriar-se de um tema” significa “aprender sobre esse tema”. Exemplo: Preciso me apropriar das teorias daquele autor. Outros termos como engajada

projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Esse modelo pretende, entre outras coisas, superar a alienação e o pessimismo a respeito da tecnologia. Trata-se, portanto, de superar a mera condição de consumidores para assumir a responsabilidade por seu desenvolvimento. Entretanto, seria prematuro supor que tais mudanças sejam facilmente alcançadas.

Na atualidade, há tecnologias que estão fortemente incorporadas na vida cotidiana, o que as tornam, segundo Cerezo (2017), *entrincheiradas* nas maneiras como se desenvolveram até hoje. Para superar essa condição, Cerezo (ibid.) e Parselis (2018) destacam que as relações entre os consumidores, agentes intencionais dos sistemas de ação, e a tecnologia precisam ser reavaliadas e reconstruídas. Isso implica, por uma parte, compreender a própria natureza da tecnologia e, por outra parte, assegurar condições para que tal aproximação seja possível. Não se trata, portanto, de uma via de sentido único dos usuários em direção à tecnologia, mas também o contrário. Além disso, há outros atores nesse processo, especialmente quando se considera a tecnologia como um sistema de ações.

Ao assumir essa via de mão dupla, exige-se superar certo determinismo tecnológico que, segundo Quintanilla (2002, 2005), contribui para a alienação da sociedade acerca da tecnologia, pois esta teria autonomia para se desenvolver por conta própria e, nesse caminho, impor condicionantes em vários aspectos da dinâmica social. Romper com essa lógica exige um grande esforço, na medida em que implica abandonar a facilidade da mera aquisição e uso de produtos e serviços proporcionados pela tecnologia e assumir responsabilidades (Quintanilla, 2002). Veja-se, por exemplo, o acesso aos telefones móveis mesmo em regiões mais pobres do planeta. Essa aparente liberdade para adquirir o que deseja, desde que se tenha recursos financeiros, é reforçada de maneira muito eficiente pelos sistemas tecnológicos que são *transparentes* aos usuários. Ou seja, seu uso é muito simples a ponto de não se perceber mais sua presença ou mesmo suas influências sociais. No caso brasileiro, conforme foi dito anteriormente, que se coloca como um importador de tecnologias, a relação

ou incorporada carregam sentidos já demarcados na literatura que se distanciam daquele proposto por Quintanilla.

entre estas e os usuários se reduz, em muitos casos, a uma relação comercial de compra e venda. Tudo está pronto para o uso.

Essa falta de interação entre as tecnologias e os usuários, para além da relação de compra e uso, é favorecida quando aquelas apresentam somente sua face “amigável”. Em síntese, “*o usuário, o consumidor, deve ser capaz de usar e desfrutar uma tecnologia sem necessidade de entendê-la*” (Quintanilla, 2002, p.649). Nessa perspectiva, ressalta o autor, uma tecnologia poderia ser assimilada por todas as culturas sem que para isso se exijam novos conhecimentos. Isso conduziria a uma “confortável” alienação.

As tecnologias apropriáveis pretendem superar essa alienação ao propor um decálogo de critérios para avaliação de projetos de desenvolvimento tecnológico que fazem emergir a natureza dos sistemas tecnológicos e revelam potenciais espaços para a participação responsável da sociedade para aqueles que a desejarem fazer. Para Cerezo (2017) e Parselis (2017), as tecnologias apropriáveis mostram-se um guia conceitual importante para isso.

Desse modo, seguindo a sugestão proposta por Quintanilla (2017), esta tese se propõe a aplicar o modelo das tecnologias apropriáveis em uma situação prática de avaliação e análise de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Assim, o problema geral sob o qual se assenta esta tese pode ser caracterizado da seguinte forma: *o modelo das tecnologias apropriáveis é capaz de estabelecer critérios claros e adequados de avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, incluindo-se os aspectos sociais, e contribuir para superar a alienação e o pessimismo a respeito da tecnologia?*

No entanto, a fim de limitar o contexto de estudo para tornar possível uma análise comparativa dos dados coletados, optou-se por eleger um tema único, a saber, a nanotecnologia. As fontes principais de dados serão as práticas e os projetos de pesquisadores que atuam nessa área. E, para superar possíveis limitações dos dados obtidos em um único ambiente de pesquisa, elegeu-se dois institutos de reconhecida competência acadêmica localizados na cidade de São Paulo, a saber, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Outros temas tecnológicos poderiam ter sido escolhidos, mas a nanotecnologia apresenta algumas características que a torna particularmente relevante para os propósitos desta tese. Trata-se de uma área relativamente nova de pesquisa que ainda traz algumas inquietações entre os pesquisadores e, ao mesmo tempo, já possui uma comunidade bem definida, com protocolos e técnicas experimentais, problemas de fronteira, congressos e periódicos específicos. Ademais, pode-se dizer que a nanotecnologia inaugura um paradigma tecnológico, pois oferece não apenas novas soluções para uma classe de problemas como também revela fenômenos físico-químicos peculiares à escala nanométrica.

Esse último fato é preponderante para a definição da própria área. O prefixo *nano* no Sistema Internacional de Unidades (SI) se refere a um fator de 10^{-9} (1/1.000.000.000), utilizado para indicar valores muito pequenos. Em geral, entende-se que uma estrutura é nano quando ao menos uma de suas dimensões esteja nessa escala, medindo entre 1 e 100 nanômetros. Entretanto, a relevância científica e tecnológica não está nas dimensões em si, mas nas propriedades e fenômenos físicos e químicos que ocorrem nessa escala. Portanto, a nanotecnologia não consiste apenas em diminuir as dimensões de uma estrutura, mas de explorar novas propriedades da matéria que se manifestam nessa ordem de grandeza.

Com isso, define-se o objetivo geral desta tese como sendo o seguinte: *aplicar o modelo das tecnologias apropriáveis na avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento nanotecnológico em dois institutos de pesquisa brasileiros*. A partir disso, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- *Reconstruir um contexto histórico de eventos científicos que levaram ao surgimento da nanotecnologia;*
- *Elaborar um panorama geral das principais políticas públicas que consolidaram a nanotecnologia como área de pesquisa prioritária no Brasil;*

- Analisar os dados coletados por meio de entrevistas com pesquisadores brasileiros sob a luz do modelo das tecnologias apropriáveis;

Ao buscar alcançar os objetivos propostos espera-se também avaliar os potenciais do modelo das tecnologias apropriáveis para responder ao problema desta tese. Para isso, a tese está organizada em cinco capítulos e as Considerações Finais.

O Capítulo 1 traz uma síntese da filosofia da tecnologia de Miguel Ángel Quintanilla em diálogo com outros autores para, ao final, tratar do modelo das tecnologias apropriáveis, tanto em seus aspectos conceituais quanto os critérios de avaliação que compõem um decálogo que será aplicado na análise das entrevistas dos pesquisadores do IPEN e do IPT. Ou seja, os critérios propostos serão as categorias de análise.

No Capítulo 2 são expostas as opções metodológicas desta pesquisa que se caracteriza como qualitativa. As abordagens metodológicas aplicadas em cada capítulo também são tratadas, indicando as razões para tais escolhas. As técnicas de coleta e análise de dados foram entrevistas semiestruturadas, análise de documentos e análise de conteúdo. Informações relevantes a respeito dos dois institutos envolvidos na pesquisa, a saber, o IPEN e o IPT, também estão nesse capítulo para ajudar a compreender os contextos de trabalho dos pesquisadores entrevistados.

Uma reconstrução histórica dos principais eventos científicos e tecnológicos que permitiram o surgimento da nanociência e da nanotecnologia é apresentada no Capítulo 3. Antes de se chegar aos fulerenos, aos nanotubos de carbono e ao grafeno, primeiros artefatos nanotecnológicos, são expostos alguns acontecimentos de distintas áreas de pesquisa que convergiram para o nascimento e a consolidação da nanotecnologia, incluindo-se a invenção do microscópio de tunelamento, fundamental para a manipulação da matéria em escala atômica e molecular.

O Capítulo 4 faz uma análise das principais ações no campo das políticas públicas para a consolidação da nanotecnologia como área de pesquisa no

Brasil. A partir da análise de documentos oficiais, na maioria oriundos do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e/ou do governo federal, pode-se compreender as concepções de tecnologia e de desenvolvimento tecnológico que embasaram as principais decisões para a criação da Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia (IBNN) e as políticas que se seguiram. Essas ações governamentais foram decisivas para os caminhos que tomaram a nanotecnologia, incluindo-se o esforço de aproximação com a indústria.

No Capítulo 5 são analisados os dados obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas com os pesquisadores do IPEN e do IPT a partir das reflexões filosóficas apresentadas no Capítulo 1, em especial, o modelo das tecnologias apropriáveis. No entanto, os Capítulos 3 e 4 também ofereceram bases históricas e factuais para compreender as influências nas concepções e práticas de pesquisa dos entrevistados no contexto brasileiro.

Ainda que o Capítulo 5 seja, de certa forma, autoconclusivo, as Considerações Finais se compõem de uma síntese das principais ideias trabalhadas nos capítulos anteriores para chegar à conclusão da pertinência do modelo das tecnologias apropriáveis para avaliar os projetos de pesquisa e desenvolvimento nanotecnológicos, dentro dos propósitos e limites estabelecidos pelo problema e pelos objetivos da tese, bem como das opções metodológicas adotadas. Os resultados das análises sugerem que o modelo proposto também serviu para revelar elementos importantes para a compreensão da natureza e da dinâmica dos processos tecnológicos, tanto em seus aspectos intrínsecos quanto extrínsecos.

Capítulo 1:

Da filosofia da técnica às tecnologias apropriáveis

A costumeira associação da tecnologia com artefatos faz com que não se perceba que ela é também um modo específico de conhecer, que enquanto tal não se reduz à mera aplicação do conhecimento científico. (Cupani, 2013, p.169)

A tecnologia é frequentemente associada ao progresso, à praticidade, ao conforto, ao bem-estar, entre outras qualidades. Está cada vez mais presente em artefatos do cotidiano da maioria das pessoas e, para as novas gerações principalmente, sua presença é quase despercebida. Parece haver uma confiança natural na tecnologia, mesmo nas situações em que ela mesma tenha criado um problema, pois poderá oferecer uma solução. No entanto, essas concepções se sustentariam diante de uma análise filosófica? Acrescente-se a isso as mudanças sociais e de valores que se manifestam com os avanços da tecnologia. Como avaliar as consequências dessas mudanças e do emprego de uma tecnologia? Seria possível dispor de um modelo de desenvolvimento tecnológico que modificasse as relações entre os usuários e as tecnologias? Essas são algumas das questões tratadas a seguir.

Assim, este capítulo apresenta uma síntese da filosofia da tecnologia de Quintanilla, a fim de auxiliar na compreensão da sua proposta das tecnologias apropriáveis como um modelo alternativo de avaliação do desenvolvimento tecnológico, que será discutido na seção final. Ao mesmo tempo, outros autores que tratam da tecnologia como objeto filosófico se somam às discussões para reforçar aspectos relevantes ou contribuir com novas questões.

1.1. Uma filosofia da técnica

Ainda que a origem da concepção de tecnologia atual possa ser localizada na Revolução Industrial do século XVIII, a história das técnicas se confunde com a história das civilizações. Fazer coisas, controlar ou modificar seu meio natural, organizar o convívio coletivo, entre outras ações, acompanham a civilização desde seus primórdios. Nesse período ocorrem também inovações marcantes na lógica dos sistemas produtivos, talvez até mais radicais que as inovações tecnológicas, ainda que estas tivessem seu ritmo de mudanças e avanços acelerados desde então. Segundo Quintanilla (2005), a Revolução Industrial e o capitalismo inauguram uma nova era da civilização e da tecnologia. Os séculos seguintes se caracterizam pela crescente aproximação entre a tecnologia e a ciência assimilando a inovação nos processos tecnológicos como uma necessidade permanente. A tecnologia passa a interferir na agenda da pesquisa científica e em sua incorporação pelas indústrias. E, como um elemento da cultura, tais mudanças influenciam e sofrem influências dos valores presentes em uma sociedade. Para Quintanilla, *“as tecnologias aparecem e se desenvolvem em um determinado âmbito cultural e contribuem, por sua vez, para configurar a cultura da sociedade”* (ibid., p.27). Assim, a ampliação das possibilidades de intervenção humana altera antigos valores e cria novas referências, não apenas valorativas, mas também legais².

Com tantas mudanças e interferências, desde a ciência até a estrutura social, é razoável admitir que a filosofia incorpore a tecnologia como objeto de estudo. Isso se torna tanto mais necessário quanto mais se consolidam alguns mitos ou preconceitos em relação à tecnologia, tais como: o poder da tecnologia não tem limites, seu desenvolvimento é alienante, sua racionalidade distancia-se dos interesses humanos, conduz à perda da liberdade e controla as ações humanas³, entre outros. Além disso, Cupani (2013) ressalta que a tecnologia, muito mais do que os artefatos ou a engenharia, representa uma realidade que envolve *“questões tanto ontológicas quanto epistemológicas, tanto éticas quanto estéticas, tanto relativas à filosofia política quanto referentes à filosofia da história”* (ibid., p.9). De fato, prossegue o autor, é surpreendente

² Quintanilla (2005) oferece como exemplos o controle de natalidade e a fecundação *in vitro*.

³ Quintanilla (2005) destaca, por exemplo, o poder da tecnologia da comunicação.

que a filosofia tenha se ocupado da tecnologia como disciplina acadêmica somente a partir da segunda metade do século XX, para além de reflexões isoladas anteriores a esse período.

Entretanto, Cupani (2013) alerta que não é tão simples dizer o que é a tecnologia; ou reconhecer seu objeto, o que seria uma exigência para qualquer reflexão filosófica. A primeira tendência é reconhecer exemplos de objetos tecnológicos, desde artefatos presentes em nosso cotidiano até sistemas mais complexos. Mas, questiona o autor, os *processos e procedimentos* possíveis por meio desses objetos, não poderiam ser considerados tecnológicos? O mesmo ocorre com novos hábitos de economia de tempo e esforço, de busca de controle do futuro; estes não seriam “*uma atitude e uma mentalidade tecnológicas?*” (ibid., p.12). Para Cupani, a tecnologia envolve, portanto, objetos, sistemas, processos, modos de agir e, “*invariavelmente, toda realização tecnológica vai acompanhada de alguma valoração, positiva ou negativa*” (ibid., p.12).

Desse modo, para Quintanilla (2005), a filosofia analítica serve para esclarecer conceitos e apresentar propostas interpretativas. Para o autor, tais reflexões serão, em sua maioria, de segunda ordem: “*a filosofia da técnica é uma reflexão de segunda ordem sobre a ação humana de transformação da realidade e de primeira ordem sobre as representações e formulações – sistematizadas, elaboradas ou ingênuas – que fazemos dessas ações técnicas*” (ibid., p.39). Na sequência, o autor ressalta que, enquanto as ciências são sistemas de conhecimento, as técnicas são sistemas de ações sobre objetos concretos, apoiadas em conhecimento, mas também em outros critérios, como de eficiência e de utilidade. Esses sistemas técnicos e as operações envolvidas em seu desenvolvimento, bem como sua função e seu valor prático, são os objetos da filosofia da técnica.

Uma das exigências conceituais se refere ao próprio termo tecnologia e sua distinção em relação à técnica. Quintanilla (2005) utiliza o termo técnica em sentido genérico para designar tanto as técnicas artesanais ou pré-industriais quanto as técnicas industriais apoiadas no conhecimento científico, sendo esta última designada por tecnologia. Na mesma direção, Cupani (2013) aponta a presença da ciência na produção de artefatos como elemento diferenciador.

Para o autor, a técnica está associada à um conhecimento empírico, enquanto a tecnologia estaria associada à aplicação de um saber teórico. Em geral, essa é a distinção mais comum na literatura especializada. Entretanto, o termo é polissêmico; pois pode ainda se referir a artefatos ou ao conjunto de ações para a produção de artefatos. Uma primeira noção de técnica proposta por Quintanilla é a de que *“uma realização técnica é um sistema de ações intencionalmente orientado para a transformação de objetos concretos para conseguir de forma eficiente um resultado valioso”* (2005, p.47). Um diferencial da técnica em relação ao método é que aquela envolve também operações conceituais⁴. Ainda dentro dessa abordagem inicial, à técnica se associa a ideia de eficiência de uma ação, o que implica se submeter a princípios de adequação dos meios aos fins.

Outro esclarecimento relevante é a análise da técnica como artefato e como conhecimento para a produção do artefato. De acordo com Quintanilla, *“a filosofia da técnica não é só uma teoria do artificial ou dos artefatos entendidos como entidades, mas da realização de artefatos”* (2005, p.52). Ou seja, a filosofia da técnica *“não é apenas uma teoria do conhecimento técnico, mas da ação guiada por esse conhecimento”* (ibid.). Para Cupani (2013), a tecnologia sempre terá algum vínculo com a técnica e ambas são o resultado da habilidade humana de *fazer* coisas e da manifestação de um *saber*. Essa capacidade de fazer, de produzir, gera os artefatos; habilidade que acompanha o homem em toda sua história. Além disso, Cupani (ibid.) destaca que, tanto a produção quanto o uso dos artefatos, são dependentes *“do tipo de sociedade em que tais atividades ocorrem”* (p.15). Como se verá mais adiante, tal distinção é relevante para tratar da transferência de tecnologia entre diferentes contextos.

A técnica entendida como sistemas de ações implica que se considerem não apenas os conhecimentos teóricos, mas também conhecimentos práticos, específicos para determinadas técnicas. Assim, para Quintanilla (2005), as expressões *know that* e *know how* em inglês poderiam ser tratadas como

⁴ Quintanilla propõe um exemplo: *“a tecnologia da informação tem um componente estritamente conceitual (o que chamamos software ou suporte lógico de um sistema informático) e, além disso, permite construir modelos processáveis por computador para tratar em princípio qualquer problema conceitual que pode ser definido com precisão.”* (2005, p.49).

conhecimentos representacionais e conhecimentos operacionais, respectivamente. Os conhecimentos representacionais se referem “às propriedades dos objetos que pretendemos transformar ou dos instrumentos ou máquinas que vamos utilizar” (ibid., p.53), ademais dos resultados esperados. Já os conhecimentos operacionais indicam “como atuar para, a partir de uma situação dada, obter o resultado desejado da forma mais eficiente possível” (Ibid.). O *saber fazer* não implica apenas conhecimento, mas a capacidade para a ação, enquanto o *saber como fazer* é um conhecimento, mas não assegura sozinho a capacidade para a ação.

Ambos são necessários para aplicar uma técnica e podem ser aprendidos, mas de formas distintas. Conforme Quintanilla (2005), “*aprendemos como se faz uma coisa pela instrução (a transmissão de informação operacional), enquanto aprendemos a fazer essa coisa pelo treinamento*” (p.56). Ou seja, além dos conhecimentos representacionais e operacionais, um conjunto de capacidades para a ação é exigido. A simples transmissão de informações, ainda que necessária, não é suficiente para garantir a transferência de tecnologia, por exemplo, de um país desenvolvido para outro em nível inferior de desenvolvimento. Além dos conhecimentos e informações, de materiais e equipamentos, é preciso dispor de pessoas treinadas para *fazer*.

Com isso, reduzir a tecnologia a simples aplicação da ciência ou do conhecimento disponível não faz sentido. Esse seria um enfoque intelectualista. Ao mesmo tempo, não se pode reduzir a tecnologia a conhecimentos oriundos apenas das experiências práticas, o que indicaria um pragmatismo. As relações entre ciência e tecnologia são mais interdependentes do que a mera aplicação de uma na outra. Para Cupani (2013), ainda que possam existir distintas definições para a tecnologia, parece haver certo consenso de que a tecnologia não é uma simples aplicação da ciência. Isso se torna ainda mais evidente nas tecnologias atuais que incorporam em seus projetos, conforme ressalta Quintanilla (2005), a maximização da eficiência e o imperativo da inovação. Para o autor, tais características ampliam a importância do conhecimento científico nos avanços

tecnológicos⁵, pois “*uma parte decisiva do papel do conhecimento e da pesquisa científica no desenvolvimento tecnológico se deve a este princípio de maximização da eficiência: esta se consegue utilizando os meios mais adequados para conseguir um fim proposto*” (ibid., p.61). Esses avanços tecnológicos podem se referir à modificação de uma técnica já existente ou à invenção de uma técnica nova, destaca Quintanilla (ibid.). Em ambos, tanto os fatores internos quanto os externos podem exercer influências. Assim, a eficiência tecnológica (fator interno) e a utilidade econômica e social (fator externo), por exemplo, podem gerar conflitos permanentes. Quintanilla (ibid.) chama a atenção para isso ao ressaltar que assumir “*uma sintonia perfeita entre a lógica do desenvolvimento tecnológico e as leis do mercado*” (p.63) seria precipitado.

Outro aspecto relevante a considerar a respeito da tecnologia é que esta não se reduz ao artefato. Também não é suficiente assumir que todos os artefatos, enquanto produto de um processo⁶ tecnológico, são artificiais. Podem existir *objetos naturais produzidos artificialmente*; e isso é relevante para o caso da nanotecnologia, principalmente em sua origem, como será visto mais adiante. Trata-se da produção artificial de um objeto ou sistema equivalente a um correspondente natural. Isso se enquadra em uma dimensão ontológica da tecnologia.

Para Quintanilla (2005), os artefatos são o resultado de ações intencionais⁷ e, nesse caso, artificiais no sentido estrito. No entanto, Cupani (2013) recorre a Ortega y Gasset para lembrar que o homem não produz artefatos apenas para satisfazer suas necessidades; produz-se também o supérfluo. Além disso, o resultado de um processo tecnológico pode ser também uma mudança de estado ou de outro processo e não apenas a construção de um

⁵ Utilizo a expressão “avanço tecnológico” como tradução de “*cambio tecnológico*”. A tradução literal de “*cambio*” seria “mudança”, mas não tem o mesmo sentido em português.

⁶ Para Quintanilla (2005), “*dois acontecimentos em um sistema estão concatenados se o estado final do primeiro é o estado inicial do segundo. Um processo em um sistema é uma sequência de acontecimentos concatenados*” (p.68). E, “*qualquer objeto concreto que não seja uma entidade simples pode-se considerar um sistema*” (p.66).

⁷ Segundo Quintanilla (2005), um sistema de ações é “*um conjunto de ações compostas conectadas entre si, de tal forma que qualquer ação é causa ou efeito de alguma outra dentro do conjunto*” (p.74). E, uma ação é simples “*se nela intervém somente um sistema agente e um sistema paciente. Do contrário, é uma ação composta*” (ibid.). Um sistema agente “*é o que realiza a ação*” e o sistema paciente é aquele “*sobre o qual se realiza a ação*” (ibid., p.73).

artefato. Em outros casos, pode-se desencadear de maneira artificial um processo natural e, ao inverso, pode-se desencadear processos naturais a partir de causas naturais em sistemas artificiais; um exemplo disso é a oxidação de estruturas metálicas expostas ao ambiente.

Para definir melhor uma técnica, Quintanilla (2005) propõe o conceito de sistema técnico, como sendo um *sistema intencional de ações* que envolve tanto “os agentes intencionais do sistema que concebem os objetivos e atuam para alcançá-los” (ibid., p.89) quanto os componentes materiais do sistema, “que são os objetos concretos e cuja transformação ou manipulação forma parte dos objetos intencionais do sistema” (ibid.). Com isso, pode-se definir uma técnica do seguinte modo: “*dado um sistema técnico concreto T, o conjunto de todos os sistemas equivalentes a T constitui uma técnica*” (ibid., p.90). Ou seja, os sistemas técnicos equivalentes compartilham uma mesma estrutura, formada “*pelo conjunto de ações entre componentes materiais e agentes intencionais*” (ibid.) organizados intencionalmente para atingir os objetivos propostos inicialmente. Desse modo, o que caracteriza uma técnica são seus componentes materiais, os agentes envolvidos e as ações que serão implementadas, além dos objetivos e resultados esperados⁸.

Dentro de um sistema técnico podem ser caracterizados vários subsistemas, entre eles os de execução e os de gestão. Os subsistemas de execução se referem às ações de modificações de seus componentes; identifica-se mais propriamente com o trabalho manual, ainda que nos sistemas modernos tais ações possam ser robotizadas. Os subsistemas de gestão dizem respeito às ações empregadas para a organização e controle do sistema técnico. Segundo Quintanilla (2005), as tecnologias de gestão tiveram destacado desenvolvimento desde a segunda metade do século XX.

Outra forma de diferenciar os sistemas técnicos é a partir dos recursos dos agentes humanos envolvidos, que podem ser seus conhecimentos ou suas habilidades. Entretanto, Cupani (2013) recorre a Ortega y Gasset para destacar que nem sempre o homem teve essa percepção de que a técnica estaria

⁸ Quintanilla (2005) afirma que “o exemplo mais simples de sistema técnico é o que formam um operário e a ferramenta que maneja: não se podem diferenciar as ações de gestão ou controle do sistema das ações de execução” (p.101).

associada a determinadas habilidades. Para Ortega y Gasset (apud Cupani, 2013) haveria três estágios para a técnica ao longo da história: a técnica do acaso, a técnica do artesão e a técnica do técnico. A técnica do acaso ocorreu nos primórdios da humanidade, na qual o homem ainda não tinha a percepção da técnica como algo não natural. A técnica do artesão, diferentemente da anterior, é percebida como uma aptidão de alguns homens apenas. Além disso, essa aptidão pode ser aprendida em um longo processo apoiado na relação entre mestres e aprendizes, ou seja, dentro de uma determinada tradição. E, o terceiro estágio, a técnica do técnico, caracteriza-se pela percepção do homem de que possui a capacidade de inventar, de fabricar, pois se estaria já nos séculos XIX e XX, em pleno advento das máquinas (Ortega y Gasset, apud Cupani, 2013)⁹.

Cupani (2013) ressalta a diferenciação entre a técnica como manipulação e a técnica como fabricação. Ou seja, da mera atividade manual passa-se para as invenções sistemáticas e aplicáveis a outras finalidades. Esta última apoia-se em conhecimentos, especialmente aqueles advindos da ciência moderna. Em relação aos conhecimentos, Quintanilla (2005) afirma que estes podem ser teóricos ou operacionais. Quanto às habilidades, estas podem ser manuais, organizativas ou intelectuais. Os conhecimentos teóricos são as bases das tecnologias mais avançadas e muito próximas das atividades de pesquisa científica. Os conhecimentos operacionais estão mais associados às engenharias, também sustentados pelo conhecimento científico. As habilidades, ou capacidades, vão desde técnicas de fabricação e gestão à programação e técnicas artísticas.

Os sistemas técnicos também podem ser distintos a partir dos seus objetivos em tecnologias de produto e tecnologias de processo. De acordo com Quintanilla (2005), as tecnologias de produto visam à construção de um artefato ou de um serviço, enquanto as tecnologias de processo objetivam controlar um processo dentro de parâmetros estabelecidos para alcançar determinado resultado. O autor aponta a estratégia militar, a educação e o sistema de saúde como exemplos de tecnologias de processo. E, ressalta que muitas inovações tecnológicas são, de fato, inovações de processo.

⁹ Há uma separação entre o operário e o técnico nesse estágio, quando este se transforma no engenheiro (Ortega y Gasset apud Cupani, 2013).

Assim, reduzir os sistemas técnicos à mera produção de artefatos ou à simples aplicação do conhecimento científico disponível não ajuda a compreender, por exemplo, a questão da transferência de tecnologia entre culturas distintas, em especial nos casos em que os níveis de desenvolvimento entre essas culturas são assimétricos. Além do que já foi mencionado, Quintanilla (2005) afirma que a noção de *tecnologia disponível* é importante para entender essa questão, pois aqueles que recebem uma tecnologia teriam que “dispor” desta tecnologia, o que implica transferência de *know how* e treinamento, para além de equipamentos. Conforme o autor, “*dispor de uma tecnologia requer dispor do capital que permita acessar as matérias primas e os equipamentos necessários para aplicá-la, bem como da força de trabalho adequadamente qualificada, tanto do ponto de vista das tarefas de execução quanto das de gestão*” (ibid., p.108). No contexto da questão da transferência de tecnologias, mas não apenas neste, é comum o uso da expressão *tecnologias alternativas*. Quintanilla (ibid.) ressalta que a maior parte dos casos se caracterizaria melhor como o uso alternativo de uma determinada tecnologia e não como uma tecnologia alternativa, pois estas deveriam alcançar os mesmos resultados das tecnologias usuais, o que nem sempre ocorre.

Entretanto, nos casos em que há modificações nos sistemas técnicos ou mesmo a criação de novas técnicas, tem-se um avanço tecnológico. Para o caso das técnicas novas, Quintanilla (2005) ressalta que haveria ao menos duas operações intelectuais: o planejamento e a avaliação. Essas operações podem seguir caminhos sistemáticos ou empíricos. Mas, para entender melhor como ocorrem tais operações, Quintanilla (ibid.) propõe a ideia de *lógica do planejamento tecnológico*¹⁰, a qual trata da “*análise dos aspectos formais presentes nas operações de planejamento ou descobrimento*” (p.112)¹¹. Não se trata de estabelecer uma “teoria do planejamento”, alerta o autor, mas de empregar meios formais para analisar suas estruturas conceituais. Para abranger tanto os aspectos relacionados à projeção de um artefato novo quanto às ações para executá-lo, Quintanilla (ibid.) propõe a seguinte definição:

¹⁰ Utilizo a expressão “planejamento” como tradução de “*diseño*”. Poderia usar a palavra “desenho” em Português, mas é pouco utilizada neste sentido.

¹¹ Quintanilla (2005) faz um paralelo entre a “lógica do planejamento” e a “lógica do descobrimento científico”.

“planejar é conceber um sistema intencional de ações capazes de transformar objetos concretos de forma eficiente para conseguir um objetivo que se considera valioso” (ibid., p.113). Trata-se, conforme o autor, de conceber um sistema técnico. Esse sistema técnico pode gerar mais de um plano de ação, não sendo viável, portanto, reduzir o primeiro ao segundo. Um plano de ação especifica uma das possibilidades de execução do sistema técnico.

Assim, um planejamento tecnológico não trata apenas de considerar os aspectos materiais necessários, mas também os objetivos, as restrições de toda ordem e os demais componentes do sistema, como seus agentes. Um engenheiro, por exemplo, preocupa-se principalmente com os aspectos materiais em seu projeto, pois se supõe que os objetivos, as restrições e os demais componentes já estejam postos. Nesse caso, trata-se de um projeto específico para uma determinada situação concreta, mas não um planejamento tecnológico em sua concepção mais geral. Segundo Quintanilla (2005), o planejamento tecnológico se enquadra dentro da categoria intelectual mais ampla de resolução de problemas. Nesse sentido, podem-se caracterizar duas grandes categorias de problemas: *conceituais e práticos*.

Os *problemas conceituais* se referem à identificação de inconsistências ou lacunas no sistema conceitual empregado. Para Quintanilla (2005), “os *problemas conceituais* podem se referir tanto a nossos conhecimentos formais ou lógico-matemáticos quanto a nossos conhecimentos acerca do mundo real e a nossos sistemas de valores” (p.114)¹². Sua solução pode se dar por meio de adequações do sistema conceitual ou pela incorporação de novas estruturas conceituais. Os *problemas práticos* se referem a desajustes entre o que se pretende realizar e a realidade. Esse desajuste pode indicar tanto a necessidade de uma ação na realidade a fim de modificá-la quanto uma revisão do planejamento inicial. A solução “*consiste em atuar para conseguir um ajuste entre a realidade e nossos desejos*” (ibid., p.114). Em alguns casos, pode-se dispor das habilidades necessárias para a resolução de um problema prático; em outros, no entanto, serão exigidas novas habilidades a serem adquiridas. Essa

¹² Quintanilla (2005) cita como exemplos de problemas conceituais as demonstrações de teoremas matemáticos, explicação de fatos nas ciências experimentais ou reformas em normas jurídicas.

aquisição pode se dar por via empírica (ensaio e erro) ou por um plano sistemático. Segundo o autor, se esse plano se guiar por critérios de eficiência, o que se busca é uma solução técnica.

Em que situação essa solução técnica resulta em uma invenção? De acordo com Quintanilla (2005), “o resultado de um planejamento tecnológico pode ser uma invenção ou um projeto” (p.123). A atividade do engenheiro, mais frequentemente, enquadra-se no segundo caso. Para Quintanilla (ibid.), “elaborar um projeto consiste em planejar um sistema técnico concreto para resolver um problema prático específico utilizando para isso uma adequada combinação de técnicas disponíveis” (p.123). De modo geral, o engenheiro dispõe de um conjunto de soluções técnicas aplicáveis a uma mesma situação. Assim, a originalidade de seu projeto consiste na escolha mais adequada para atingir os objetivos estabelecidos. De fato, segundo Quintanilla (ibid.), isso permite uma aproximação entre a tecnologia e a arte, pois envolveria também uma dimensão criativa. Ou seja, ademais de contemplar aspectos técnicos, um projeto dessa natureza poderia responder a critérios estéticos e estilísticos. Esses critérios podem valorizar os projetos para além de sua funcionalidade, pois exigem habilidades adicionais às especificações técnicas.

Assim, conforme Quintanilla (2005), um projeto pode ser “original e criativo, sem que isso suponha qualquer novidade do ponto de vista estritamente técnico” (p.124). Já uma invenção corresponde a “um planejamento que introduz uma novidade técnica, ou seja, que supõe o descobrimento de uma nova técnica” (ibid.). Tais invenções afetam os sistemas técnicos e, quanto mais radicais forem as novidades, maior será seu impacto. Para o autor, exemplos como máquina a vapor, motor elétrico, telefone, rádio, entre outros, provocaram impactos substanciais em função de sua originalidade e novidade. Mas, mesmo uma invenção pode não apresentar impactos tão radicais. Segundo Quintanilla (ibid.), modificações e adaptações de técnicas já conhecidas são a principal fonte de novidade dos sistemas técnicos. Além disso, “o grau de novidade que supõe uma invenção depende da utilização de propriedades e processos de componentes físicos que não haviam sido utilizados até então com os mesmos fins” (ibid., p.124). Um exemplo citado pelo

autor é o caso da máquina a vapor, cuja originalidade consistiu em transformar energia térmica em trabalho mecânico e a novidade técnica mais radical foi o ciclo do calor em um motor com pistões.

A partir disso, novas máquinas surgiram com modificações e adaptações da versão inicial abrindo novas possibilidades, a fim de obter melhores resultados. Entretanto, Quintanilla (2005) destaca que “*o objetivo de uma invenção não é resolver um problema concreto, mas de inaugurar um procedimento para resolver toda uma classe de problemas novos que podem abarcar inúmeras situações concretas*” (p.125). Ou seja, são novidades capazes de representar um novo *paradigma tecnológico*¹³, a partir do qual uma família de outras soluções, de novos problemas e de novas técnicas podem surgir.

1.2. A avaliação do planejamento tecnológico

Pode-se avaliar um planejamento tecnológico a partir de critérios internos e externos, ainda que a pertinência de tal divisão possa ser questionada. Entende-se por avaliação interna “*quando os critérios que se utilizam para avaliar um planejamento consideram apenas fatores relacionados com a eficiência*” (Quintanilla, 2005, p.125). A avaliação será considerada externa “*quando se utilizam critérios relacionados com a utilidade ou o valor que o planejamento tem para o usuário ou a sociedade em seu conjunto*” (ibid., p.126). Entretanto, segundo o autor, geralmente ocorre uma associação entre ambos, pois as possíveis restrições impostas ao projeto passarão por critérios de utilidade e eficiência. Além disso, amplia-se cada vez mais o interesse da sociedade pela avaliação externa da tecnologia, o que justifica sua distinção e clareza nos critérios de avaliação.

De acordo com Quintanilla (2005), a avaliação interna estaria mais associada aos tecnólogos e engenheiros, cujos fatores a considerar seriam a *factibilidade*, a *confiabilidade* e a *eficiência*, sendo este último o mais importante e o menos preciso. A factibilidade é condição para que um

¹³ Quintanilla (2005) faz essa analogia entre a história da ciência e a noção de paradigma de Kuhn com a história da técnica.

determinado planejamento tecnológico seja considerado possível, ou seja, que evidencie potencial para ser realizado; podendo-se considerar dois aspectos: materiais e operacionais. Conforme ressalta Quintanilla (ibid.), *“um planejamento é materialmente factível se não contradiz as leis naturais conhecidas. Um planejamento é operacionalmente factível se para sua implementação se dispõe dos sistemas técnicos, conhecimentos e habilidades necessários”* (p.126). Grande parte da pesquisa tecnológica busca tornar operacionalmente factível as ideias que se mostram materialmente aplicáveis. Entretanto, alerta o autor, nem todos os projetos factíveis são tecnicamente valiosos, a menos que sejam eficientes.

Mas, como já foi destacada anteriormente, a noção de eficiência é pouco clara, a menos que se utilize o conceito termodinâmico da física, o que parece não ser suficiente para avaliar a eficiência de sistemas tecnológicos. Segundo Quintanilla (2005), uma possibilidade seria assumir a eficiência como um valor apoiado na relação de custo e benefício. Assim, a eficiência tecnológica seria avaliada a partir de uma racionalidade econômica, assumindo-se que *“uma ação é racional se utiliza os meios mais adequados para o fim proposto, o qual em termos econômicos significa que consegue maximizar os resultados e minimizar os custos”* (ibid., p.127). No entanto, o próprio autor ressalta que isso implicaria substituir um critério de avaliação interno (a eficiência) por outro externo (a racionalidade econômica).

Outra forma de esclarecer o conceito de eficiência é recorrendo à definição de *controle artificial* de um processo tecnológico. Para Quintanilla (2005), *“o objetivo geral da técnica é aumentar nossa capacidade de controle da realidade, de forma semelhante ao objetivo da investigação científica que é aumentar nosso conhecimento da realidade”* (p.228). A ideia de controle pode se aplicar a um processo ou a uma propriedade, sendo que o primeiro tem maior predominância que o segundo em um sistema técnico. De acordo com Quintanilla (ibid.), *“dizemos que um sistema S controla um processo P em um sistema S' se, e somente se, P depende da ação de S sobre S' e P se mantém dentro dos limites de variabilidade determinados”* (p.128), ou seja, *“um sistema S' está controlado por outro S, se S controla ao menos um processo em*

S” (ibid., p.129). Ainda segundo Quintanilla (ibid.), a ação de controle não precisa ser obrigatoriamente intencional ou que a ação seja repetida no decorrer do processo. Uma única ação, em alguns casos, pode produzir o controle necessário do sistema dentro dos limites desejáveis.

A ideia de controle sempre esteve associada à técnica. Cupani (2013) recorre a Gehlen¹⁴ para destacar que o homem tem a necessidade de agir sobre as condições naturais e transformá-las para garantir sua existência. Nesse sentido, a técnica é o grande motor da cultura humana e se confunde com esta. Entretanto, é válido considerar que o avanço tecnológico não está condicionado apenas a aspectos técnicos, pois responde também a motivações econômicas, sociais, estéticas entre outras. Tampouco se pode assumir que o desenvolvimento tecnológico seja linear. Conforme afirma Cupani (ibid.), “a evolução tecnológica não é nem completamente contínua nem descontínua” (p.62). Há momentos de *descansos*, segue o autor, nos quais se aprimoram as experiências de uso das técnicas ou a produção de novas matérias-primas capazes de tornar os artefatos existentes mais adequados ao seu fim.

Uma forma específica de ação seria o *controle artificial* de um processo, “no qual a ação de controle é intencional e seu objetivo é precisamente conseguir que o processo se mantenha dentro de certos limites” (Quintanilla, 2005, p.129). Assim, qualquer sistema técnico busca manter determinada parcela da realidade dentro dos parâmetros desejáveis para alcançar os objetivos pretendidos. Para o autor, o grau desse controle artificial depende de três fatores: “do nível de tolerância da variabilidade que seja compatível com os objetivos do sistema, do número de variáveis que se pretenda controlar e do grau de ajuste entre os objetivos da ação de controle e os resultados realmente obtidos” (ibid.). Tais fatores são interdependentes, pois limites estritos de variabilidade permitem mais variáveis sob vigilância e controle e, por conseguinte, uma aproximação dos objetivos pretendidos.

Portanto, a noção de eficiência tecnológica também pode ser caracterizada pela aproximação entre os objetivos e os resultados efetivos. Segundo Quintanilla (2005), “quando avaliamos uma ação ou um sistema de

¹⁴ Arnold Gehlen.

ações a partir da eficiência técnica, o que nos interessa é o grau em que os resultados da ação coincidem com os objetivos que intencionalmente perseguimos ao realizá-la” (p.130). Esse é um critério predominante na avaliação interna de um sistema técnico, pois a eficiência, neste caso, indica o grau de controle artificial ou intencional das ações. De acordo com o autor, intuitivamente se pode pensar que uma ação é ineficiente se, além de não alcançar os objetivos esperados, desperdiçar recursos. Isso seria a eficiência técnica a partir da adequação dos meios aos fins, ou *racionalidade instrumental*.

Esclarecer o conceito de eficiência é relevante para definir os critérios de efetividade e confiabilidade. Para Quintanilla (2005), *“uma técnica é efetiva se consegue realmente os objetivos para os quais foi planejada. Uma técnica é confiável se sua eficiência é estável (não varia significativamente no tempo)”* (p.131). Esses conceitos também ajudam a compreender o progresso tecnológico. Ainda que possa ser questionado sob a perspectiva moral, a história das técnicas deixa evidente o progressivo controle de partes da realidade exercido pelo homem. Segundo Quintanilla (ibid.), mais que um juízo moral, seria relevante compreender os mecanismos e as razões da evolução tecnológica. Nas palavras do autor, *“o progresso tecnológico é uma consequência do emprego do critério de eficiência na avaliação de tecnologias e é, portanto, um fenômeno que se pode compreender em termos de fatores internos à própria tecnologia”* (ibid., p.132). Isso revela a dimensão racional do progresso tecnológico.

Ademais, pode-se considerar dois aspectos do progresso tecnológico: o surgimento de uma nova técnica e a melhoria da eficiência de uma técnica. O primeiro, garante o controle de uma nova parte da realidade e, o segundo, possibilita um controle melhor da aplicação da técnica. Considerando-se que a humanidade insiste em avançar na direção de submeter a realidade aos seus desejos, a busca permanente pelo desenvolvimento tecnológico se torna inexorável. Como mencionado anteriormente, isso está presente na história das civilizações. Quintanilla (2005) destaca que, em geral, a maximização da eficiência pode se dar de duas formas: *“tentar controlar mais variáveis e mais*

processos relevantes, e tentar um controle mais restrito de tais processos” (ibid., p.133). Isso amplia a extensão, a complexidade e a capacidade de intervenção intencional de uma técnica, além de sua versatilidade¹⁵.

Todos esses critérios de avaliação são internos. Entretanto, existem critérios externos que podem ser aplicados na avaliação de um planejamento tecnológico e se referem a uma dimensão valorativa atribuída à tecnologia pela sociedade. Para Quintanilla (2005), tanto os valores internos quanto os externos são fundamentais na avaliação da tecnologia, uma vez que *“um projeto tecnológico pode ser factível, sumamente eficiente, efetivo e confiável e, ao mesmo tempo, não ser interessante para nenhum grupo humano”* (ibid., p.139). Quando isso ocorre, em função de custos elevados, alto risco ou questionamento moral, entre outros fatores, tal projeto não seguirá adiante. Mas, as necessidades e desejos de uma sociedade podem impor demandas ao desenvolvimento tecnológico. Nesse caso, destaca Quintanilla (ibid.), além dos critérios internos, também interfere no desenvolvimento tecnológico e, assim, na capacidade de controle da realidade, o *“valor que os grupos sociais atribuem aos diferentes objetivos possíveis e aos níveis de eficiência tecnológica alcançáveis em cada caso”* (ibid., p.139).

Assim, diferentemente dos sistemas técnicos pré-industriais, nos quais a avaliação externa era implícita, segundo Quintanilla (2005), nas tecnologias industriais interferem no planejamento tecnológico, em sua aplicação e comercialização. Isso se torna mais evidente no momento atual do desenvolvimento tecnológico, no qual *“a avaliação externa das tecnologias não só é explícita e sistemática como se situa no centro das preocupações sociais e adquiriu formas institucionalizadas e propõe contínuos problemas de caráter metodológico, organizativo e político”* (ibid., p.140). Isso se reflete na nanotecnologia, como se verá mais adiante.

A avaliação externa da tecnologia se torna ainda mais importante na sociedade atual, na medida em que afeta cada vez mais vários aspectos dessa sociedade, entre eles, o econômico, o social e o cultural. Além disso, Quintanilla (2005) destaca que, diante do rápido avanço tecnológico atual, é relevante

¹⁵ Quintanilla (2005) apresenta como exemplo um robô de braço articulado.

prever as consequências futuras de seu emprego, pois afetam diretamente a dinâmica social. É preciso considerar também que o desenvolvimento tecnológico está subordinado a decisões humanas e, portanto, pode seguir várias direções e interesses possíveis¹⁶. No entanto, é relevante avaliar quais interesses e por quais caminhos seguirão os avanços tecnológicos. O próprio Quintanilla (ibid.) faz um alerta ao afirmar que *“a necessidade da avaliação social das tecnologias é muito mais evidente do que a disponibilidade de critérios e métodos efetivos para aplicá-la, ainda que nos últimos anos se tenha dado passos positivos”* (p.140). Alguns exemplos, segundo o autor, são as avaliações de impactos ambientais e das novas tecnologias nos sistemas de produção, além da crescente possibilidade de participação dos usuários em algumas políticas de desenvolvimento tecnológico.

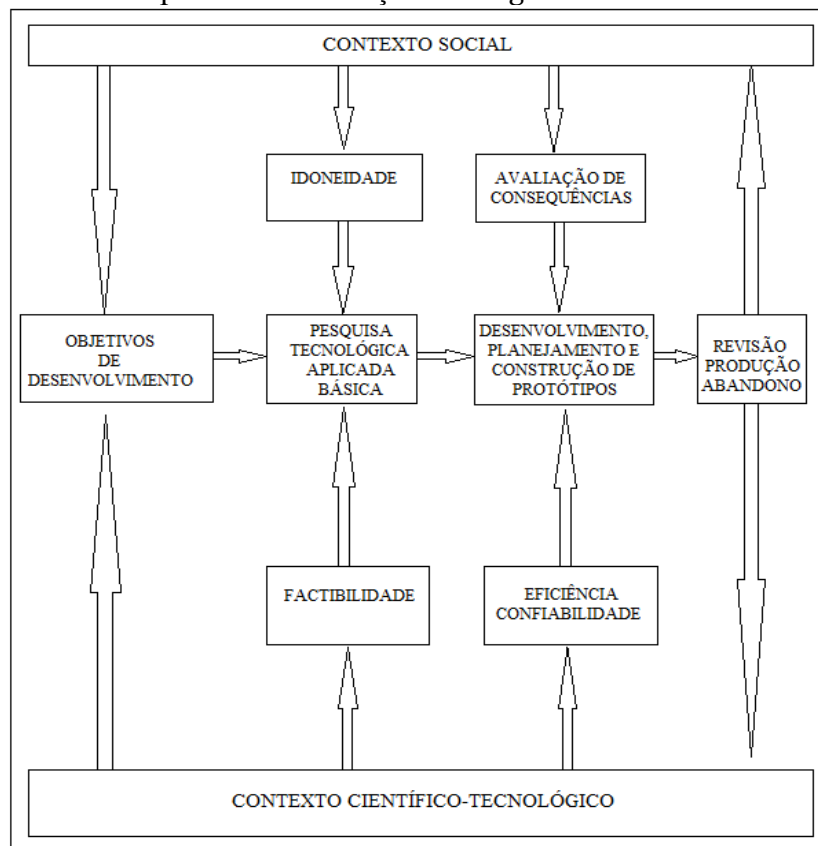
Mas, conforme Quintanilla (2005), o principal contexto de avaliação social das tecnologias são os Programas de P+D (Pesquisa e Desenvolvimento). Segundo o autor, *“um programa de P+D é um plano de ação cujo objetivo é promover a investigação científica, o planejamento e a avaliação de tecnologias”* (ibid., p.141). A sociedade atual se caracteriza pelo desenvolvimento das novas tecnologias a partir dos Programas de P+D, cuja premissa é a ampliação das possibilidades de produção de novas tecnologias por meio do avanço científico e tecnológico em áreas específicas. Assim, os programas de P+D não envolvem apenas a pesquisa científica e tecnológica, mas também aspectos políticos e processos de avaliação, interna e externa.

Quintanilla (2005) apresenta os principais elementos de um Programa de P+D no Esquema 01, considerando-se os contextos científico, político e social. Segundo o autor, objetivos sociais ou econômicos são os motores de um Programa de P+D. Tais objetivos estarão subordinados tanto às necessidades e aos interesses de determinado grupo social quanto aos recursos científicos e tecnológicos disponíveis. Além disso, o grau de amplitude do Programa pode

¹⁶ Quintanilla (2005) lembra que o Informe da OCDE (1979) aponta seis aspectos que reforçam o interesse público pela ciência e a tecnologia atuais: *“a rapidez do avanço científico e tecnológico, a novidade dos problemas que o desenvolvimento científico e tecnológico representa, a complexidade e a interdependência dos projetos tecnológicos, a irreversibilidade dos efeitos do desenvolvimento tecnológico em muitos campos, os problemas morais que despertam as novas possibilidades tecnológicas e a sensibilidade da opinião pública frente aos riscos potenciais do desenvolvimento tecnológico”* (OCDE, 1979 apud Quintanilla, 2005).

variar desde uma empresa a uma rede de cooperação internacional. Uma vez estabelecido o objetivo, um Programa de P+D comportará três atividades principais: investigação, desenvolvimento e avaliação, tanto aquelas oriundas do contexto social quanto aquelas provenientes do contexto científico-tecnológico. Ao final de um Programa de P+D restarão ao menos três possibilidades: i) revisão dos objetivos, ii) produção de algum artefato ou implementação de um sistema de ações, iii) o abandono do Programa.

Esquema 01: Avaliação de Programas de P+D.



Fonte: Quintanilla (2005, p.142).

Na avaliação de Programas de P+D é preciso considerar as peculiaridades das pesquisas básicas ou aplicadas, além da relação entre a ciência e a tecnologia. Nesse sentido, Quintanilla (2005) classifica as investigações em duas modalidades: básica e aplicada. A primeira estaria associada à explicação de fenômenos e à busca por teorias. Em alguns casos, a pesquisa básica pode ser orientada para temas estratégicos. A segunda, poderia se submeter a objetivos científicos ou tecnológicos. Para Quintanilla (ibid.), “*considera-se a pesquisa aplicada, por definição, orientada a objetivos específicos, mas estes podem ser*

objetivos de interesse estritamente científico e objetivos de interesse tecnológico” (p.143). Assim, para além da distinção entre ciência e tecnologia, haveria a ciência aplicada. Entretanto, as fronteiras entre cada um desses campos não são tão nítidas, especialmente entre a ciência aplicada e a tecnologia. Isso é relevante para o caso da nanotecnologia. Mais adiante, tais modalidades de pesquisa estarão presentes nas falas dos entrevistados.

Em relação às diferenças entre ciência e tecnologia, Cupani (2013) se apoia na filosofia de Bunge¹⁷ para destacar que tal distinção não é tão simples. Bunge também segue na direção de associar a técnica a conhecimentos pré-científicos e a tecnologia a conhecimentos científicos. Ambas implicam planificação, produção de um artefato, utilização de conhecimentos (disponíveis ou novos), recursos e valores. No entanto, Cupani (ibid.) alerta que o artefato para Bunge pode ser algo social, e não apenas uma coisa. Além disso, para Bunge, a tecnologia é caracterizada como um campo de conhecimento, pois *“não existe tecnologia onde o homem se limita a aplicar um saber-fazer ou a servir-se de artefatos sem se perguntar pela sua base teórica nem procurar o seu aperfeiçoamento”* (ibid., p.95). Essa conduta se aplicaria apenas ao técnico. Um projeto tecnológico exige uma representação do artefato, cuja ação envolve aspectos teóricos e criativos.

Outra distinção relevante, como já foi dito, é aquela referente à tecnologia e à ciência aplicada. Esta, de acordo com Cupani (2013), pode se referir à aplicação de uma ciência em outra ou a problemas de conhecimento de ordem prática. O objetivo ainda é um conhecimento, mas com uma projeção prática¹⁸. Entretanto, Cupani (ibid.) alerta que nem mesmo a ciência aplicada se reduz à mera aplicação do conhecimento científico: *“a ciência aplicada só merece esse nome na medida em que produz algum conhecimento pela sua possível utilidade”* (p.100). Em outras palavras, a ciência aplicada não é uma simples aplicação da ciência básica! Ao mesmo tempo em que as fronteiras entre a

¹⁷ Mario Bunge.

¹⁸ Cupani oferece o seguinte exemplo para ilustrar a distinção entre ciência básica, ciência aplicada e tecnologia: *“Como exemplos respectivos podemos tomar o estudo da composição de um ecossistema (ciência básica), diferente de pesquisar os efeitos dos poluentes sobre o sistema (ciência aplicada) e diferente também de projetar processos de diminuição da sua poluição (tecnologia)”* (2013, p.100).

ciência, a ciência aplicada e a tecnologia vão se tornando menos nítidas, ainda há diferenças relevantes. Uma delas é especialmente importante para a avaliação de projetos tecnológicos: “a ciência (pura ou aplicada) não julga a realidade investigada, limitando-se a descrevê-la e explicá-la. Já a tecnologia inclui uma essencial valoração dos recursos em função do objetivo e, certamente, dos produtos tecnológicos” (ibid., p.101). Isso remete, segundo o autor, para questões axiológicas da tecnologia.

O Esquema 01 pode indicar, de acordo com Quintanilla (2005), ao menos duas perspectivas para os Programas de P+D: *de baixo para cima* – o ponto de partida é a base científica e tecnológica em busca de respostas às necessidades sociais; *de cima para baixo* – a partir das necessidades sociais, definem-se objetivos que darão início às pesquisas aplicadas. Segundo Quintanilla (ibid.), “é usual que cientistas e pesquisadores tendam a ver o sistema de baixo para cima, enquanto economistas, políticos e planejadores preferam a perspectiva de cima para baixo” (p.144). Entretanto, o autor alerta que esta é apenas uma simplificação, que não corresponde plenamente à realidade do desenvolvimento científico e tecnológico. A pesquisa prossegue em todas as frentes e a definição dos objetivos nem sempre é tão clara, pois é preciso considerar tanto as necessidades sociais quanto os conhecimentos disponíveis para satisfazê-las. Por isso, o Esquema 01 destaca que os objetivos iniciais podem ser revistos ou mesmo abandonados, em função da avaliação dos resultados ou de novos problemas que podem surgir¹⁹.

Assim, conforme foi dito anteriormente, a relação entre a pesquisa científica e a tecnológica deveria ser considerada para além de uma relação de uso, ou seja, de assumir que a tecnologia é mera aplicação da ciência. Ou, ainda, que as pesquisas científicas estariam livres de valores. Além disso, Quintanilla (2005) recorda que o pesquisador atua nos campos definidos em projetos, em função dos recursos disponíveis e das prioridades eleitas. Não faria sentido o pesquisador se lançar em todas as direções possíveis da ciência. Alguns campos prioritários e potencialmente viáveis são definidos por projeto. Por apresentar tais características, Quintanilla (ibid.) afirma que “o desafio mais importante

¹⁹ Quintanilla (2005) cita como exemplo ilustrativo o desenvolvimento dos transistores.

que se coloca ao planejar um programa de P+D é compatibilizar o genuíno interesse científico e tecnológico do programa com sua utilidade social” (p.146). Para o autor, isso reforça ainda mais a necessidade de se estabelecer critérios adequadamente definidos de avaliação dos Programas de P+D. Ao destacar os problemas axiológicos da tecnologia, já evidenciados por Bunge, Cupani (2013) propõe que seria relevante questionar se *“apenas os fins são passíveis de avaliação ou se também podem ser avaliados os meios, e como fazer isso de maneira rigorosa”* (p.112). Acrescente-se a isso os aspectos comerciais inerentes à tecnologia.

Conforme mostra o Esquema 01, a avaliação externa de uma tecnologia pode ocorrer sob duas perspectivas: a partir da sua idoneidade ou das consequências de seu uso. A idoneidade está relacionada às propriedades de uma determinada tecnologia. Sua avaliação diz respeito à disponibilidade de uma determinada alternativa tecnológica e sua adequação para atender a determinadas demandas. Além da relação de custos e benefícios, devem ser avaliados também os avanços nas pesquisas que mostrem a manutenção de sua adequação ao projeto original. Fatores como eficiência, efetividade, confiabilidade e segurança, entre outros, são relevantes²⁰.

Outro aspecto da avaliação está relacionado às consequências de seu uso. Ou seja, trata-se de avaliar possíveis impactos e riscos a partir da aplicação de uma determinada tecnologia em situações concretas e específicas. Conforme Quintanilla (2005), essa avaliação já pode ocorrer na fase de planejamento de um Programa de P+D, considerando-se as consequências potenciais de seu emprego. Entretanto, o autor destaca que haveria uma dificuldade em determinar todos os potenciais riscos e impactos na aplicação de um sistema de ações, pois poderiam ocorrer consequências diretas, indiretas ou colaterais. Além disso, tais efeitos podem ocorrer em diversos níveis hierárquicos. Essa dificuldade se torna ainda maior quando se trata de uma tecnologia nova, pois experiências similares nos casos de sistemas de ações conhecidos ainda não existem para efeitos de comparação.

²⁰ Quintanilla (2005) oferece como exemplo o caso do Programa de P+D de controle da energia de fusão.

Na avaliação das consequências, Quintanilla (2005) destaca a importância em se conhecer algumas características da tecnologia a ser empregada, como a confiabilidade, a eficiência, a magnitude e o caráter reversível ou não das ações a serem aplicadas. Segundo o autor, *“quanto maior a confiabilidade e a eficiência menor será a margem de resultados inesperados e mais estreito será o leque de acontecimentos possíveis que devem ser considerados para o cálculo das consequências”* (ibid., p.148). Assim, o autor aponta três critérios para esse tipo de avaliação: os riscos, o impacto ambiental e o impacto social.

A avaliação do risco envolve aspectos subjetivos e valorações potenciais, o que dificulta estabelecer protocolos racionais. Conforme Quintanilla (2005), *“o risco associado à aplicação de uma tecnologia se refere às consequências negativas que a mesma pode ter para a vida humana, a saúde ou o bem estar da população potencialmente afetada”* (p.148). Essa avaliação se apoia principalmente na probabilidade de ocorrência de acidentes com consequências não desejadas e no potencial prejuízo causado por elas. Algumas tecnologias, por exemplo, podem apresentar baixa probabilidade de riscos, mas altíssimos prejuízos caso ocorram²¹. Além disso, é preciso considerar a percepção de risco pela população que seria afetada em caso de acidente. Isso pode produzir um estado de elevada ansiedade nas pessoas, especialmente naquelas que supostamente seriam as mais afetadas.

O impacto ambiental se refere às consequências potenciais ao entorno físico no qual determinada tecnologia é aplicada. É importante lembrar, segundo Quintanilla (2005), que variáveis estéticas, além de geológicas, químicas, biológicas ou atmosféricas deveriam ser consideradas. Entretanto, destaca o autor, a variável predominantemente adotada é a ecológica: *“trata-se de estabelecer até que ponto a introdução de uma nova tecnologia em um habitat concreto pode alterar de forma irreversível ou não alterar as condições de equilíbrio ecológico”* (ibid., p.150). Ademais, os impactos ambientais podem ocorrer em áreas distantes da sua zona de aplicação,

²¹ Quintanilla (2005) destaca o caso da Usina Nuclear de Chernobyl.

causando consequências indesejadas em escalas globais²². Isso certamente dificulta sua avaliação.

A avaliação do impacto social torna-se cada vez mais importante em razão das interferências e das mudanças causadas na sociedade. Quintanilla (2005) trata como um caso paradigmático de impacto social as novas tecnologias da informação e da comunicação. Os efeitos na dinâmica social são consideráveis. Mas, ao mesmo tempo, sua avaliação é muito difícil, pois a amplitude de possibilidades a serem consideradas é elevada. Além disso, Quintanilla (ibid.) ressalta que uma avaliação dessa natureza não dispõe de referências, como ocorre com as avaliações de risco e ambientais. Entretanto, é razoável reconhecer que os avanços tecnológicos podem gerar impactos sociais irreversíveis. Mais do que avaliar os efeitos sociais da aplicação imediata de uma tecnologia, talvez seja mais relevante, segundo Quintanilla (ibid.), avaliar “o modelo de desenvolvimento social e econômico que se busca e a contribuição da tecnologia em questão para esse modelo de desenvolvimento” (p.151). Com isso, verifica-se a necessidade de aprimorar cada vez mais os modelos de avaliação do desenvolvimento tecnológico e ganha força o papel da avaliação externa nesse processo.

1.3. As tecnologias apropriáveis

A avaliação externa dos processos de desenvolvimento tecnológico implica enfrentar alguns desafios, entre eles o que parece ser uma posição ambígua das pessoas em relação à tecnologia, oscilando entre um otimismo e um pessimismo. Ao mesmo tempo em que reconhecem suas contribuições positivas, tanto que algumas tecnologias são incorporadas pelos usuários quase de forma natural, identificam também possíveis riscos que elas podem provocar, além de fazerem surgir novas questões éticas, morais e da própria condição humana. Clássicos do cinema e da literatura, como *Blade Runner*, *I Robot*, *The Island*, *Frankenstein*, *2001: a space odyssey*, *The Terminator*, ilustram cenários em que as máquinas dominam ou se voltam contra seus criadores, questionando

²² Quintanilla (2005) oferece como exemplos a chuva ácida, o aquecimento global e o buraco na camada de ozônio na Antártida.

um suposto uso inadequado da ciência e da tecnologia ou, ainda, que princípios éticos atualmente aceitos são colocados em xeque. A aparente autonomia do desenvolvimento tecnológico e seu elevado grau de especialização, constituindo-se em um nicho exclusivo para os técnicos, resulta em uma sensação de impotência nas pessoas diante do desenvolvimento tecnológico. Quintanilla (2017) afirma que tal pessimismo se encontra também em boa parte dos filósofos que se ocupam da tecnologia²³.

Para Quintanilla (2017), essas ideias de autonomia e determinismo tecnológicos seriam os principais fatores dessa visão pessimista em relação à tecnologia, pois parece fragilizar a capacidade de intervenção consciente do homem nos avanços tecnológicos, cujas influências nas ações humanas são cada vez mais sentidas. Na contracorrente dessa tendência pessimista, Quintanilla (ibid.) se coloca como crítico do determinismo tecnológico e assume a tecnologia “*como espaço de possibilidades de realizações humanas*” (p.16), somando-se a outros filósofos, como Ortega y Gasset e Mário Bunge. Parselis (2018) recorre ao conceito de *sobrenatureza* de Ortega y Gasset para destacar que as tecnologias não apenas suprem necessidades supérfluas (ou socioculturais) mas também necessidades básicas. Isso implica, segundo o autor, que seria difícil romper com certas tecnologias sem afetar o atendimento de ambas as necessidades²⁴, o que resulta em grande dependência²⁵.

Romper com essa visão de determinismo não é simples, pois existem fatores históricos que o reforçam. Um exemplo proposto por Quintanilla (2017) são as tecnologias industriais mais importantes do século XX, que exerceram grandes mudanças na vida cotidiana das pessoas, mas que, ao mesmo tempo, estavam distantes de qualquer intervenção dos usuários²⁶. O determinismo e o pessimismo são alimentados pelo caráter alienante de tais tecnologias.

Entretanto, quando se trata de analisar a presença da tecnologia na sociedade atual, surgem outros aspectos a considerar. Nesse sentido,

²³ Quintanilla (2017) aponta Jacques Ellul como exemplo característico.

²⁴ Isso não significa que o consumo em massa inevitavelmente conduz a uma vida melhor. O modelo das tecnologias apropriáveis pode ajudar a romper essa lógica.

²⁵ Em plena pandemia provocada pela Covid-19, o papel da ciência e da tecnologia nas vidas das pessoas se mostrou evidente.

²⁶ Um exemplo dado por Quintanilla (2017) é o sistema ferroviário no século XIX.

Quintanilla (2017) reconhece que haveria tecnologias *“ainda mais ubíquas que as tradicionais tecnologias industriais e mais impenetráveis”* (p.17), mas que, ao mesmo tempo, *“incorporamo-las em nossas vidas como um prolongamento de nós mesmos, e parece que renunciamos definitivamente seu controle”* (ibid., p.18). Um exemplo dado pelo autor é a telefonia móvel. Trata-se de uma tecnologia muito recente, mas que superou todas as fronteiras (tecnológicas, políticas, sociais) e está presente em toda parte, incluindo-se regiões mais pobres. Além disso, Quintanilla (ibid.) destaca que essa tecnologia é orientada fundamentalmente aos usuários, que incorporaram seus artefatos como uma peça do vestuário cotidiano. As pessoas carregam os telefones móveis²⁷ sem se dar conta de que se trata de um produto tecnológico que concentra uma gama de conhecimentos científicos e tecnológicos avançados e que exige outras estruturas complexas para funcionar, como as redes de produção, de comunicação, de atualizações e serviços e de concorridos mercados. Essa tecnologia proporcionou ainda novas formas de interações sociais e de prestação de serviços. Por tudo isso, Quintanilla (ibid.) reconhece que a telefonia móvel *“pode ser considerada um claro exemplo de um novo paradigma de integração social das tecnologias que, por um lado, reforça a visão do determinismo tecnológico”* (p.19), mas que, por outro, não parece sofrer da mesma alienação e pessimismo aplicados aos grandes sistemas tecnológicos do século XX.

A análise de um exemplo da presença e dos significados das tecnologias atuais na sociedade proporcionado pela telefonia móvel abre caminho para Quintanilla (2017) assumir que *“o pessimismo tecnológico tem a ver com o que poderíamos chamar de caráter alienante que predomina na maioria dos sistemas técnicos e, em geral, nos processos de desenvolvimento da tecnologia atual”* (p.19). A partir dessa alienação tecnológica, o autor propõe que *“o determinismo e a autonomia aparente da técnica são um efeito dessa alienação, não sua causa”* (ibid.). Assim, Quintanilla (ibid.) se propõe a discutir como se produz a alienação tecnológica e como evitá-la. Para isso, apresenta um modelo de desenvolvimento tecnológico não alienante, que chamou de tecnologias apropriáveis.

²⁷ No Brasil, o telefone móvel é popularmente chamado de celular.

Entretanto, embora tenha proximidade com a noção de alienação proposta por Marx, o modelo de tecnologias apropriáveis estabelece seu foco principal na relação entre os artefatos tecnológicos e seus usuários. Parselis (2017) propõe o uso do termo *estranhamento*, justamente para diferenciar da ideia de alienação marxista, e evidenciar o distanciamento que algumas tecnologias geram entre os contextos de uso e de projeto/desenvolvimento. Segundo Quintanilla (2017):

[...] o usuário (não apenas o produtor ou o projetista) é, na realidade, uma parte imprescindível de qualquer sistema técnico, enquanto agente intencional que incorpora os objetivos e ações de manipulação e controle que definem o próprio sistema técnico. Mas, ao mesmo tempo, esse agente somente se constitui como tal na medida em que seus objetivos e ações se adaptam e se incluem na estrutura do sistema em seu conjunto. Essa dupla relação de dependência que torna possível a produção da alienação tecnológica. (Quintanilla, 2017, p.20)

Ou seja, ao mesmo tempo em que um operador do sistema técnico se insere em um conjunto de interações por ele produzido, em um segundo momento, deixa de ter o controle sobre essa rede de interações, resultando em uma alienação tecnológica. Para Parselis (2017), o *estranhamento* ocorre em função da quebra da relação entre o contexto de planejamento e o contexto de uso de um determinado artefato tecnológico, determinados pelos agentes intencionais do primeiro. Segundo o autor, o artefato tecnológico funciona como um mediador social entre os planejadores e os usuários. Entretanto, essa relação não é simétrica, pois, geralmente, “*pode-se entendê-la como uma mediação estereotipada que é exercida pelos usuários segundo regras definidas pelos planejadores*” (ibid., p.57). A diferença entre a alienação tecnológica e a noção de alienação marxista está no fato de que esta ocorre na relação de uso das máquinas pelo trabalhador, enquanto aquela se refere ao uso das tecnologias em geral. Além disso, Quintanilla (2017) destaca que:

As duas fontes principais da alienação tecnológica têm a ver, por uma parte, com a opacidade do planejamento dos sistemas técnicos e, por outra, com a simplificação dos critérios de avaliação que predominam nos processos de planejamento e difusão das tecnologias. (Quintanilla, 2017, p.21)

A opacidade de um projeto tecnológico ocorre quando suas funções, propósitos e funcionamento estão ocultas ao usuário. De modo geral, os

artefatos tecnológicos transmitem algumas informações a respeito de suas aplicações e estrutura. Mas, à medida que se amplia a complexidade dos artefatos, tais informações deixam de ser facilmente acessíveis aos usuários. Quintanilla (2017) oferece dois exemplos: a bicicleta e o automóvel. A bicicleta é um meio de transporte bastante simples, cujos propósitos e funcionamento são acessíveis ao usuário. O mesmo não se pode dizer de um automóvel, um sistema técnico mais opaco, portanto. Isso produziria, segundo Quintanilla (ibid.), uma frustração e, por conseguinte, uma alienação. Ainda que essa opacidade possa estar em um nível superável, prossegue o autor, *“haveria outro tipo de opacidade tecnológica que é de caráter estrutural e dinâmico e que configura um tipo de desenvolvimento tecnológico que é potencialmente alienante, ainda que não inevitável”* (ibid., p.23).

Para explicar melhor, Quintanilla (2017) recorre à ideia de *interfaces tecnológicas “transparentes aos usuários”*, no sentido de invisíveis, ilustrando-a com uma comparação entre os comandos necessários para realizar uma operação de cópia de arquivos de um computador pessoal há três décadas atrás e atualmente. No primeiro caso, o processo envolvia ações físicas de manipulação de discos e de inserção de comandos via teclado; no segundo caso, a operação é feita por meio de cliques em ícones, interpretadas por um programa e, portanto, *“transparente ao usuário”*, ou seja, essa interação não é detectada pelos sujeitos. Ao mesmo tempo em que facilita as ações e, com isso, ampliam seu uso, aumenta a alienação tecnológica²⁸. A naturalidade com que tais ações são executadas e a segurança em seus resultados contribuem para ampliar a alienação. Parselis (2017) recorda que a facilidade de operação é um critério buscado no projeto tecnológico, o que exige, especialmente em artefatos mais complexos, esconder seu funcionamento, ampliando a *“transparência”*. Vale destacar que alguns projetos tecnológicos buscam, ademais da construção do artefato, criar certa dependência no usuário, de modo que este se torne um consumidor permanente. Nesse sentido, Parselis (ibid.) alerta que, por vezes, a busca pela manutenção do usuário como cliente pode se dar de forma bastante

²⁸ O grande sucesso do Windows é atribuído justamente ao seu caráter intuitivo e de fácil manuseio pelo usuário, sem a necessidade de recorrer a comandos e procedimentos via teclado.

incisiva, seja por uma aceitação social seja por uma “imposição branda”²⁹. Quintanilla (2017) e Parselis (2017) ressaltam ainda que essa alienação tecnológica se aproxima da inconsciência em relação à técnica já denunciada por Ortega y Gasset, a partir da qual haveria uma posição irresponsável a respeito da tecnologia, tanto em seus aspectos de produção quanto morais, por exemplo. Entretanto, Parselis (ibid.) e Sandrone e Lawler (2017) salientam que tanto a opacidade quanto a transparência são propriedades relacionais, pois pressupõe um usuário, podendo não ser intrínseca ao artefato tecnológico.

Nesse sentido, Parselis (2018) propõe que seria necessário superar uma certa naturalização do fenômeno tecnológico. Para o autor, “*nosso entorno vital se encontra atravessado por um forte traço técnico, tornou-se complexo, foi se naturalizando até tornar-se invisível, e a técnica se converteu em algo incorporado*³⁰” (ibid., p.31). Necessita-se, assim, desnaturalizar a tecnologia, ou seja, torná-la objeto de questionamento.

Outro fator que poderia produzir alienação tecnológica, segundo Quintanilla (2017), é o caráter compositivo da tecnologia. Ou seja, sistemas técnicos complexos são constituídos por subsistemas e/ou estruturas mais simples que podem se comportar como caixas-pretas. Nesse caso, desde que o sistema todo funcione, os subsistemas agem como estruturas opacas ao usuário; como simples fluxos de entradas e saídas. Alguns sistemas tecnológicos atuais são compostos por um conjunto de caixas-pretas inacessíveis e incompreensíveis pelo usuário, aumentando sua alienação tecnológica. Quando o sistema todo deixa de funcionar conforme o esperado, destaca Quintanilla (ibid.), bastaria identificar qual caixa-preta está com problemas e substituí-la. Isso pode assegurar eficiência e funcionalidade, mas implica renunciar a capacidade de poder agir nesses subsistemas. O autor utiliza uma analogia que ilustra as consequências disso: “*é como se em medicina pudessemos reparar qualquer desordem orgânica substituindo o órgão doente por outro novo, em vez de tentar agir nele para que funcione melhor*” (ibid., p.26).

²⁹ Aqui caberia se perguntar sobre o papel da indústria da informação, ou seja, o mercado gerado pelos dados dos interesses de consumo, de comportamento, de entretenimento que as pessoas geram em redes sociais, sites de busca e de compras, entre tantos outros, detectando e construindo perfis de consumo dos usuários.

³⁰ O autor utiliza a expressão “extraño”.

Uma visão mais pessimista do desenvolvimento tecnológico tenderia a reconhecer essa alienação como inevitável. Entretanto, conforme já foi apontado anteriormente, Quintanilla (2017) se coloca em uma posição mais otimista em relação ao desenvolvimento tecnológico e, por consequência, não reconhece essa inevitável alienação como único caminho possível. Para o autor, o desenvolvimento tecnológico se comporta como tal porque algumas pessoas decidiram que seria assim. Haveria, portanto, outras possibilidades de decisões. No entanto, isso exigiria um modelo alternativo de desenvolvimento tecnológico. É nesse sentido que Quintanilla (ibid.) propõe o modelo de tecnologias apropriáveis. Segundo o autor:

Não se trata de tecnologias amigáveis, brandas ou “intermediárias” (ainda que não se descartem todas essas características de um desenvolvimento tecnológico alternativo), mas de tecnologias sobre as quais podemos exercer o controle e nos fazermos responsáveis por seu desenvolvimento como cidadãos ilustrados, não apenas como consumidores através do mercado. (Quintanilla, 2017, p.27)

Esse modelo implica assumir que não haveria um único caminho possível para o desenvolvimento tecnológico, ou uma única *trajetória tecnológica*³¹, mesmo considerando que as tecnologias avançam com forte influência de tecnologias anteriores, ainda que algumas inovações possam ser incorporadas. De qualquer modo, as decisões tomadas nesse processo, além de critérios técnicos, podem estar relacionadas a outros aspectos, como econômicos e sociais.

Assim, ao longo de todo o processo de desenvolvimento tecnológico, novas decisões podem ser tomadas e outros critérios de avaliação podem ser aplicados, aproximando-se ou se afastando do modelo de tecnologias apropriáveis. Os critérios de avaliação intrínsecos e extrínsecos aos sistemas tecnológicos já foram tratados no início deste capítulo. Mas, para o modelo de tecnologias apropriáveis, Quintanilla (2017) propõe um decálogo de critérios, conforme a síntese mostrada no Quadro 01, que serão tratados sucintamente a seguir:

³¹ Quintanilla (2017) entende a trajetória tecnológica como sendo “*uma sequência temporal de novos sistemas técnicos, cada um dos quais (exceto o que inaugura a sequência) no momento de sua aparição incorpora como componente ou subsistema ao menos outro sistema que apareceu em um momento anterior*” (p.28).

Quadro 01: critérios de avaliação de projetos tecnológicos.

Intrínsecos	Extrínsecos	Tecnologias apropriáveis
Factibilidade	Viabilidade econômica	Aberta
Eficácia	Idoneidade moral	Polivalente
Eficiência	Idoneidade cultural	Dócil
Confiabilidade/Obsolescência	Avaliação de riscos	Limitada
	Impacto ambiental	Reversível
	Impacto social	Recuperável
		Compreensível
		Participativa
		Sustentável
		Socialmente responsável

Fonte: Quintanilla (2017, p.29).

1.3.1. Tecnologia aberta

Inicialmente, Quintanilla (2017) ressalta que tecnologias abertas ou fechadas não são propriamente uma particularidade da modernidade. Qualquer artefato da antiguidade, por exemplo, que mantivesse oculto seu funcionamento, poderia se caracterizar como uma tecnologia fechada. Entretanto, é preciso considerar se a restrição de acesso é inerente a aspectos técnicos ou é propositalmente incorporada ao artefato. Assim, Quintanilla (ibid.) esclarece que *“uma tecnologia é aberta se não incorpora limitações de apropriação, uso e desenvolvimento derivadas exclusivamente de normas ou critérios externos às próprias necessidades funcionais do projeto técnico”* (p.30). Além disso, o autor aponta que em alguns casos as restrições de acesso ocorrem mais por questões de segurança, fator externo, do que por imposições intrínsecas da tecnologia envolvida. Exemplos disso seriam as centrais nucleares e usinas hidrelétricas. Ambas poderiam ser alvos de atentados, para além dos riscos com o manuseio de materiais radioativos no primeiro exemplo.

Ademais, no campo dos *softwares* a chamada *open technology* já existe há algum tempo, incluindo-se fundações destinadas a essa proposta³². Entretanto, é preciso diferenciar os casos em que alguns programas podem ser usados livremente por qualquer usuário e outros que, além do seu uso livre,

³² Quintanilla (2017) cita como exemplos a *Free Software Foundation* (FSF) e a *Open Source Initiative* (OSI).

possibilitam acesso ao próprio programa por meio de seu código também disponível (*open source*). Outro destaque relevante é a desvinculação entre acessibilidade e facilidade de uso. Uma não depende necessariamente da outra. Quintanilla (2017) oferece como exemplo a tecnologia do sistema operacional GNU/Linux, considerada uma tecnologia apropriável em relação a esse critério. Está aberta a todos aqueles que tenham capacidade técnica para uso e acesso. Portanto, o que constitui uma tecnologia aberta não se refere tanto a custos ou facilidade de acesso, mas que não tenha impedimentos estruturais que limitem sua acessibilidade, para uso, desenvolvimento e distribuição. Desse modo, em relação ao seu caráter aberto, Quintanilla (ibid.) propõe que “*uma tecnologia é aberta na medida em que carece de restrições de acesso para uso, cópia, modificação e distribuição impostas por critérios externos à própria tecnologia*” (p.33).

1.3.2. Tecnologia polivalente

A polivalência de uma tecnologia está associada à possibilidade de ser aplicada a distintos propósitos ou a usos alternativos. Ou seja, uma tecnologia que possa ser empregada para diversos fins e por distintos tipos de usuários é potencialmente polivalente. Para Quintanilla (2017), a polivalência pode ser considerada em duas dimensões do desenvolvimento tecnológico: intenção e extensão. A primeira se refere a usos específicos e precisos, com controle sobre uma pequena parte da realidade; a segunda, com aplicações mais amplas e com um leque maior da realidade sob seu controle.

Uma analogia interessante feita por Quintanilla (2017) são as chaves de torque para apertar porcas e parafusos. Estas podem ser fixas ou ajustáveis. As chaves fixas têm alto grau de intenção, enquanto as chaves ajustáveis apresentam elevado grau de extensão, sendo, assim, mais polivalentes. Entretanto, Quintanilla (ibid.) chama a atenção para o fato de que nem sempre é preferível uma solução técnica polivalente em detrimento de uma solução técnica específica. Determinadas situações tornarão viáveis uma ou outra. O autor cita como exemplo o caso da indústria farmacêutica, na qual seria

preferível um medicamento específico para determinado problema, pois soluções polivalentes poderiam ampliar efeitos indesejados. Usando a mesma analogia das chaves de torque, Sandrone e Lawler (2017) ressaltam que fatores externos à tecnologia também podem influenciar a produção ou não de artefatos polivalentes: pode-se optar por produzir chaves fixas em detrimento das ajustáveis para garantir, por exemplo, maior retorno econômico!

Mas, haveria outros casos em que uma solução tecnológica poderia incorporar em seu projeto um caráter polivalente. Nesse caso, pode-se pensar em duas situações: “*polivalência através da integração de técnicas ou polivalência através de usos alternativos*” (Quintanilla, 2017, p.34). Como exemplo de integração de técnicas, o autor aponta as muitas aplicações para os *smartphones*: há vários programas com aplicações bem específicas, mas que se integram ao sistema operacional do artefato principal, tornando-o multifuncional. Para o caso de usos alternativos, Quintanilla (ibid.) destaca a tecnologia *wiki*, cuja aplicação inicialmente pensada para a *Wikipedia* passou a ser utilizada em outros meios colaborativos de produção de informações. Além disso, Quintanilla (ibid.) assume que uma tecnologia aberta teria maior potencial para gerar usos alternativos, ou seja, ampliando seu potencial de polivalência. Em suas palavras,

(...) uma tecnologia é mais polivalente na medida em que seja capaz de integrar diferentes objetivos em um único sistema técnico ou de permitir usos alternativos da tecnologia por parte dos operadores. Em igualdade de condições, a polivalência aumenta o caráter apropriável de um sistema técnico. (Quintanilla, 2017, p.36)

1.3.3. Tecnologia dócil e controlável

A suposta autonomia das máquinas e a sensação de falta de controle das tecnologias está estreitamente associada à alienação, conforme foi anunciado anteriormente. A chamada *síndrome de Frankenstein* reforça essa percepção. Essa posição pessimista em relação à tecnologia decorre do receio de que um artefato tecnológico poderia realizar uma operação não prevista em seu projeto inicial e causar danos às pessoas ou voltar-se contra seus criadores, notabilizado inclusive na literatura geral e no cinema. Quintanilla (2017) resgata mais uma

vez o mito da rebelião das máquinas para ilustrar esse pensamento. Vale lembrar que questões éticas e morais costumam surgir desses mitos, ilustradas, por exemplo, nas leis da robótica de Asimov³³. Ou seja, a capacidade de controle humano sobre a tecnologia é um elemento que garante sua docilidade. Segundo Quintanilla (ibid.), “*uma tecnologia é mais ou menos dócil na medida em que seu funcionamento, seu controle e sua parada dependem eficazmente de um operador humano*” (p.38). Assim, uma tecnologia dócil tende a ser mais apropriável.

1.3.4. Tecnologia limitada

As limitações de um sistema técnico podem ser, ao menos, de duas naturezas: intrínsecas ou extrínsecas. As primeiras estão associadas à própria estrutura do sistema e se referem a imposições técnicas e/ou científicas. Ou seja, não se poderia conceber um projeto tecnológico cuja implementação implicasse violar princípios e leis científicas estabelecidas, pois se incorreria em uma impossibilidade de execução. Quintanilla (2017) recorda ainda que as limitações intrínsecas estão associadas ao critério de factibilidade, tanto material quanto operacional. Assim, além de se submeter às imposições oriundas do conhecimento científico, deveriam ser consideradas a disponibilidade dos recursos materiais necessários para a realização do projeto tecnológico, bem como a disponibilidade de operadores com capacidades suficientes para implementá-lo.

As limitações extrínsecas se referem a aspectos sociais, econômicos ou ambientais, por exemplo. Imposições de construção e uso de tecnologias por meio de instrumentos legais podem evitar riscos ou consequências indesejadas. Quintanilla (2017) ilustra essa limitação com a proibição ou restrição da produção e uso de sacolas plásticas não recicláveis no comércio. Ainda que sejam produtos técnica e economicamente viáveis, trazem consequências graves ao meio ambiente. Outro exemplo dado pelo autor é a restrição ao uso das redes sociais para incitar ou propagar atos de violências ou ofensas.

³³ Filmes como *O Exterminador do Futuro* ou *Blade Runner* são igualmente ilustrativos.

O princípio da precaução estaria associado a algum tipo de limitação do desenvolvimento tecnológico. Segundo esse princípio, recomenda-se cautela ao produzir ou aplicar determinada tecnologia sem que se conheça com suficiente segurança os potenciais riscos dela derivados. Nesse sentido, Quintanilla (2017) afirma que o princípio da precaução pode ser considerado “*uma modalidade do princípio de limitação do desenvolvimento tecnológico*” (p.40). Desse modo, segue o autor, “*devemos atuar com prudência e limitar o alcance da tecnologia, de forma que seu desenvolvimento seja compatível com os recursos materiais e humanos disponíveis e que suas consequências sociais e ambientais sejam previsíveis*” (ibid.).

1.3.5. Tecnologia reversível

A produção e uso das tecnologias resultam em mudanças sociais, econômicas ou ambientais. O caráter reversível de determinada tecnologia consiste em avaliar o quanto seria possível voltar ao estado inicial do processo a partir de um estado em que já se desencadeou a aplicação de uma inovação tecnológica. Com frequência, presume-se que as mudanças ocasionadas por esse tipo de inovação seja para melhor. Entretanto, podem ocorrer consequências não previstas e/ou indesejadas. Nesse caso, haveria a possibilidade de ajustes a um processo de desenvolvimento tecnológico em andamento ou de retomar do início, apostando em outras direções. Um projeto de desenvolvimento tecnológico que incorpore em sua estrutura um caráter reversível permitiria reverter, total ou parcialmente, o estado atual para o inicial. Ciente de que o desenvolvimento tecnológico conduz a mudanças mais ou menos irreversíveis, Quintanilla (2017) propõe que:

(...) em igualdade de condições, são preferíveis as opções tecnológicas que sejam parcial ou totalmente reversíveis, quer dizer, que seja possível restaurar o meio natural ou social no qual se tenha implementado e redesenhar *ab initio* outras opções alternativas se necessário. (Quintanilla, 2017, p.42)

1.3.6. Tecnologia recuperável

O caráter recuperável do modelo de tecnologias apropriáveis se opõe à cultura do descarte. Ou seja, de prolongar o uso e minimizar o descarte de produtos tecnológicos, superando a máxima de “usar e jogar” proveniente de uma visão capitalista de consumo. Dentro dessa lógica, alguns artefatos são considerados obsoletos não apenas porque deixaram de funcionar, podendo inclusive ser o resultado de uma obsolescência programada, mas também porque o mercado lança um novo produto com novas características (técnicas e/ou estéticas) ou que tenham perdido o valor de uso inicialmente atribuído pelo usuário.

Parece razoável aceitar que todos os artefatos tecnológicos têm uma vida útil a partir da qual seu bom funcionamento estaria em risco. Todavia, a chamada obsolescência programada é condenável, pois se trata de incorporar no projeto tecnológico um prazo de validade com fins econômicos, para assegurar a demanda de mercado, e não técnicos. Quintanilla (2017) resgata o exemplo histórico da fabricação das lâmpadas incandescentes para ilustrar essa prática, cujo limite de funcionamento foi fixado arbitrariamente em 1.000 horas. O autor destaca ainda o caso da indústria da moda, na qual a obsolescência se tornou um princípio. O mercado da informática também é reconhecidamente adepto da obsolescência forçada de seus produtos. Há ainda possibilidades de promover a obsolescência por vias indiretas. Uma delas é deixar de oferecer serviços técnicos ou peças de reposição para determinado produto tecnológico, forçando a compra de um novo. Outra forma de induzir a obsolescência consiste em fazer com que reparar um produto tecnológico tenha um custo elevado, de maneira que compensaria mais trocar por um novo. Além disso, essa prática gera uma grande quantidade de lixo tecnológico. Assim, Quintanilla (ibid.) propõe que *“se deve facilitar a recuperação e a manutenção dos dispositivos tecnológicos, proibir a obsolescência programada e incorporar ao projeto e comercialização dos sistemas técnicos as operações de gestão e reciclagem do descarte”* (p.45).

1.3.7. Tecnologia compreensível

Muitas tecnologias atuais envolvem conhecimentos técnicos e científicos bastante avançados, o que dificultaria a compreensão dos seus princípios de funcionamento por um usuário leigo. No entanto, o caráter compreensível do modelo de tecnologia apropriável se refere a projetos tecnológicos que favoreçam a compreensão de seu funcionamento o máximo possível. Em certo sentido, aproxima-se da ideia de uma tecnologia aberta. Entretanto, Quintanilla (2017) defende que *“uma tecnologia compreensível é uma tecnologia aberta que, além disso, facilita ativamente a compreensão de seu funcionamento”* (p.46). Pode-se acrescentar ainda o entendimento adequado de seu uso, o que será relevante nas análises do Capítulo 5. Uma forma de ampliar essa possibilidade é a elaboração de manuais de instrução dos artefatos tecnológicos efetivamente claros e compreensíveis aos usuários. Máquinas de uso diário pelas pessoas, como máquinas para comprar bilhetes de metrô, caixas eletrônicos de banco, máquinas de café, portas automáticas, entre outras, deveriam ser planejadas de modo que os usuários entendam sem esforço como utilizá-las.

Uma oposição às tecnologias compreensíveis seria o emprego de caixas pretas em projetos tecnológicos, impedindo totalmente o acesso dos usuários. Assim, Quintanilla (2017) sugere que:

(...) uma tecnologia apropriável deve ser uma tecnologia compreensível, dotada de um manual de operações correto e planejada de forma que se possa entender o funcionamento do sistema e de seus componentes a partir de um background cultural básico. (Quintanilla, 2017, p.47)

1.3.8. Tecnologia participativa

O caráter participativo nesse caso se refere à participação dos usuários de determinada tecnologia em seu projeto e não apenas como consumidores do produto final, ainda que neste último caso possa haver um grande peso na avaliação de mercado para comercialização de determinada tecnologia. Segundo Quintanilla (2017), essa participação poderia se dar, por exemplo, via representação política ou por meio de associações organizadas. Em relação ao

mercado, o autor destaca que poderia haver participação por meio da soma de esforços individuais que poderiam acolher ou rechaçar um determinado produto tecnológico.

Nessa perspectiva, um projeto de desenvolvimento tecnológico deveria promover e facilitar a participação das pessoas. A legislação também seria um motor da maior ou menor participação dos envolvidos. Um exemplo no contexto brasileiro é a legislação relativa à avaliação do impacto ambiental na implementação de grandes instalações ou obras de infraestrutura. A lei exige que sejam feitas audiências públicas e que seja elaborado um relatório dos impactos ambientais e aprovado por entidades governamentais. De acordo com Quintanilla (2017),

(...) as tecnologias apropriáveis devem promover a participação cidadã em seu desenvolvimento. Para isso devem se articular instituições e procedimentos que permitam aos potenciais usuários de uma tecnologia participar não apenas no processo de aceitação ou rechaço de uma oferta tecnológica pré-definida, mas também na discussão das diferentes opções tecnológicas ao longo de todo o processo de desenvolvimento. (Quintanilla, 2017, p.48)

1.3.9. Tecnologia sustentável

A ideia de desenvolvimento sustentável propõe, em linhas gerais, que as ações do presente devem ser planejadas e avaliadas de modo a não comprometer as gerações futuras. Nesse caso, as próprias avaliações das prioridades e necessidades estariam em jogo, tanto no presente quanto no futuro. Os recursos naturais ganham relevância em uma perspectiva sustentável, em especial, aqueles que não são renováveis, bem como os aspectos sociais e econômicos, *haja vista* as condições de pobreza que aflige parte significativa da população mundial. Desse modo, Quintanilla (2017) defende que o caráter sustentável deveria integrar qualquer processo de avaliação de projetos de desenvolvimento tecnológico, a fim de que não comprometa as gerações futuras.

1.3.10. Tecnologia socialmente responsável

As tecnologias podem aumentar ou diminuir as desigualdades sociais e econômicas entre pessoas, regiões ou países. No entanto, Quintanilla (2017) salienta que uma ou outra opção ocorre a partir de decisões que são tomadas. O autor apresenta como exemplo o caso da indústria farmacêutica, que pode escolher entre priorizar enfermidades de mercados potencialmente ricos ou reduzir o sofrimento de males associados às condições de pobreza. A eleição de prioridades dos projetos de desenvolvimento tecnológico pode beneficiar interesses comerciais em prejuízo de sua relevância social. Com isso, Quintanilla (ibid.) destaca que “*o modelo de tecnologias apropriáveis assume como princípio a máxima de desenvolver tecnologias que ajudem a combater a desigualdade social e contribua para melhorar a situação das pessoas menos favorecidas*” (p.50).

Ao propor esse decálogo de critérios de avaliação para um desenvolvimento tecnológico apropriável, Quintanilla (2017) ressalta que não se trata de um modelo que seja incompatível com outros valores, incluindo-se aqui a dimensão econômica expressa em valores de mercado. O problema estaria em submeter-se apenas a um paradigma economicista de desenvolvimento tecnológico, ou seja, naquele em que a dimensão econômica orienta todas as tomadas de decisões. Mas, é possível pensar em modelos que incorporem os interesses sociais aos projetos de desenvolvimento tecnológico, para além dos econômicos, que resultem em tecnologias menos alienantes. Para Sandrone e Lawler (2017), o modelo das tecnologias apropriáveis implica assumir responsabilidades no desenvolvimento tecnológico e procura resgatar “*a figura do cidadão frente à figura do consumidor*” (ibid., p.82).

Capítulo 2:

Metodologias da Pesquisa

Aprender filosofia não é aprender a servir-se de um instrumento para aumentar nosso poder sobre as coisas ou sobre os homens, mas é adquirir progressivamente a arte de desenvolver as aptidões de nosso próprio espírito a julgar e raciocinar em geral. (Folscheid e Wunenburger, 2006, p.X)

O capítulo anterior estabelece a base teórica a partir da qual se assume a tecnologia como um sistema de ações e oferece um modelo de avaliação desses sistemas por meio das tecnologias apropriáveis. Para tornar essas reflexões eminentemente filosóficas menos abstratas, os capítulos seguintes trazem dados e informações em contextos específicos em relação à nanociência e à nanotecnologia. Servem também para esclarecer os problemas que estavam presentes nas agendas de pesquisas científicas e quais soluções foram propostas.

Assim, neste capítulo serão apresentadas as escolhas metodológicas utilizadas para a obtenção de tais informações e dados, bem como os caminhos percorridos para analisá-los sob a perspectiva do problema e dos objetivos desta tese.

2.1. Aspectos teóricos da pesquisa qualitativa

As escolhas metodológicas não ocorrem apenas em função do objeto de estudo, mas também da forma como será estudado. Nesse sentido, esta pesquisa se caracteriza como tendo um enfoque qualitativo ou interpretativo. Ao mesmo tempo, não se trata de cair em um metodologismo, ou seja, na mera aplicação de

técnicas de coleta e análise de dados que se justificariam por si mesmas, sem que houvesse a necessidade das reflexões do pesquisador no processo de construção do conhecimento acerca do que se pretende investigar (Rey, 2010).

A pesquisa qualitativa, com suas origens muito próximas da antropologia e da sociologia, ganhou espaço nas ciências humanas em geral, em certa medida, como alternativa às abordagens quantitativas ou estatísticas. Bogdan e Biklen (1994) localizam no final do século XIX e nas primeiras décadas do século XX os primeiros estudos sociais com abordagens qualitativas, ainda que sua origem exata seja de difícil precisão. Além disso, pode-se dizer que compreende o estudo da cultura. Desse modo, os autores destacam que uma pesquisa qualitativa implicaria reconhecer ao menos duas culturas: *“a que se deseja conhecer e a que é própria do investigador”* (ibid., p.121). Isso implica uma aproximação entre o pesquisador e a cultura a ser estudada ou ao ambiente no qual ocorre o fenômeno a ser investigado. Todavia, isso não significa que a pesquisa qualitativa se reduza a uma pesquisa de campo.

Na pesquisa qualitativa a ação do investigador não é espontânea, ao contrário. Suas ações são organizadas e orientadas por estratégias prévias e suas interpretações e construções de significados das culturas ou realidades que estuda não estão isoladas das suas próprias concepções. Assim, o valor científico da pesquisa qualitativa está associado ao reconhecimento dos limites e potencialidades do seu alcance e à clareza das escolhas e pressupostos que a guiaram. Além disso, Triviños (1997) alerta que *“as tentativas de compreender a conduta humana isolada do contexto no qual se manifesta criam situações artificiais”* (p.122). Outro destaque do autor diz respeito ao fato de que nem todas as concepções ou significados são plenamente conscientes por parte dos sujeitos, pois podem ser o resultado de processos longos de internalização e, por essa razão, perdem seu significado original. Isso exige, segundo Triviños (ibid.), que o pesquisador considere todos esses aspectos em sua pesquisa e que conheça profundamente as referências teóricas que orientam suas ações. Nesse sentido, Bogdan e Biklen (1994) afirmam que *“a teoria ajuda à coerência dos dados e permite ao investigador ir além de um amontoado pouco sistemático e*

arbitrário de acontecimentos” (p.52). Um bom pesquisador não apenas está ciente das suas bases teóricas como as torna explícitas.

Bogdan e Biklen (1994, p.47) defendem que, em linhas gerais, uma pesquisa qualitativa teria cinco características. A primeira delas é que *“a fonte direta de dados é o ambiente natural”* em que ocorre o fenômeno a ser estudado e o pesquisador tem papel central na obtenção e registro das informações. Entretanto, Triviños (1997) alerta para a complexidade desse ambiente natural, o que deve ser considerado pelo investigador. A segunda característica é o caráter descritivo da pesquisa qualitativa, pois o pesquisador busca analisar os dados em suas riquezas de informações e ciente das influências geradas pelo contexto. De acordo com os autores,

A abordagem da investigação qualitativa exige que o mundo seja examinado com a ideia de que nada é trivial, que tudo tem potencial para constituir uma pista que nos permita estabelecer uma compreensão mais esclarecedora do nosso objeto de estudo. (Bogdan e Biklen, 1994, p.49)

Ou seja, uma boa descrição assegura o registro de detalhes que podem ser relevantes. Isso se soma à terceira característica: *“os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos”* (Bogdan e Biklen, 1994, p.49). Com isso, é possível compreender não apenas os significados e concepções compartilhadas em determinados grupos sociais, mas também como eles se constroem e como adquirem *status* de senso comum e, ainda, de que maneira afetam as ações e interações dos seus integrantes. A quarta característica de uma pesquisa qualitativa é a tendência em analisar os dados de maneira indutiva. Diferentemente de uma testagem de hipóteses prévias, em uma abordagem qualitativa *“não se trata de montar um quebra-cabeças cuja forma final conhecemos de antemão. Está-se a construir um quadro que vai ganhando forma à medida que se recolhem e examinam as partes”* (ibid., p.50). E, finalmente, a quinta característica é a importância vital dos significados construídos pelo grupo social em estudo, pois podem revelar princípios mais profundos e, por vezes, inconscientes, mas que interferem em suas práticas.

Esses significados, de acordo com Bogdan e Biklen (1994), estão sujeitos a “negociações”, na medida em que podem se modificar, pois sofrem influências das interações sociais e de experiências compartilhadas. É nesse sentido que se pode dizer que a investigação qualitativa é o estudo da cultura, conforme foi dito anteriormente. Ainda que seja difícil estabelecer uma definição consensual de cultura, assume-se que esta envolve conhecimentos acumulados e compartilhados que orientam comportamentos, práticas e interpretações de experiências. A pesquisa qualitativa, em alguns casos, é também chamada de pesquisa etnográfica³⁴, pois “*a tentativa de descrição da cultura ou de determinados aspectos dela designa-se por etnografia*” (ibid. p.57). No entanto, Triviños (1997) e Bogdan e Biklen (1994) destacam que não se trata de fazer uma simples descrição, mas de compreender como se constroem os significados e as representações comuns para apresentá-los a sujeitos externos a essa cultura como um resultado da pesquisa. Desse modo, caberia perguntar a respeito do alcance desses resultados para outros contextos.

Em relação a isso, Bogdan e Biklen (1994) destacam um conjunto de questões a serem consideradas na pesquisa qualitativa. A primeira questão se refere à possibilidade de uma abordagem qualitativa e quantitativa conjuntamente. Sobre isso, os autores alertam que haveria o risco de nenhuma das duas apresentar a qualidade desejada, pois partem de pressupostos distintos e oferecem, na maioria das vezes, informações de natureza distintas. A segunda questão diz respeito ao caráter científico da investigação qualitativa, que difere da dimensão quantificável presente nas ciências exatas, por exemplo. Para que tenham o reconhecimento devido, é importante que a pesquisa qualitativa supere a simples descrição de fatos, conforme foi tratado anteriormente.

Outra questão está relacionada ao quanto seriam generalizáveis os resultados de uma investigação qualitativa. Para Bogdan e Biklen (1994), “*quando os investigadores utilizam o termo generalização estão normalmente a referir-se ao fato de os resultados de um estudo particular serem aplicáveis a*

³⁴ Triviños (1997) admite que pode ser um exagero designar a pesquisa qualitativa como etnográfica, pois a etnografia consiste em longos períodos de inserção do pesquisador no ambiente de estudo, sendo mais próxima da Antropologia. Entretanto, assume-se a investigação etnográfica como sendo um tipo de pesquisa qualitativa.

locais e sujeitos diferentes” (p.65). A potencial generalização dependerá de vários fatores, a começar do quão distintos seriam os contextos em estudo. Quando a pesquisa se apoia em um estudo de caso, por exemplo, a generalização, geralmente, não deveria ser uma preocupação do pesquisador. Ao mesmo tempo, a pesquisa pode recorrer a outros estudos semelhantes já realizados para avaliar a representatividade dos seus resultados, ou empreender estudos menores com ênfase nos pontos centrais da pesquisa, a fim de averiguar possíveis compatibilidades ou discrepâncias.

Uma quarta questão apresentada por Bogdan e Biklen (1994) trata das opiniões e preconceitos sobre a pesquisa qualitativa e possíveis influências nos seus dados e resultados. Sobre isso, os autores salientam que:

O investigador passa uma quantidade de tempo considerável no mundo empírico recolhendo laboriosamente e revendo grandes quantidades de dados. Os dados carregam o peso de qualquer interpretação, deste modo, o investigador tem constantemente de confrontar as suas opiniões próprias e preconceitos com eles. Além do mais, muitas das opiniões e preconceitos são bastante superficiais. (Bogdan e Biklen, 1994, p.67)

Ao mesmo tempo em que Bogdan e Biklen (1994) admitem a influência da subjetividade do pesquisador qualitativo, destacam que a coleta e análise dos dados seguem protocolos pré-estabelecidos, incluindo-se a manifestação explícita dos seus pressupostos teóricos, e têm, em alguns casos, a referência de outros trabalhos semelhantes. Além disso, os resultados da pesquisa passarão, de uma forma ou de outra, pela avaliação dos pares. Os autores sugerem ainda que o pesquisador procure *“reconhecer e tomar em consideração os seus enviesamentos, como forma de lidar com eles”* (ibid., p.68).

A quinta questão interroga acerca da interferência da presença do pesquisador no contexto e/ou nos sujeitos em estudo. Bogdan e Biklen (1994) partem do princípio de que não se pode eliminar todos os efeitos do pesquisador no ambiente. No entanto, isso não significa que inexistam meios para minimizar tais influências. Como regra geral, *“os investigadores qualitativos tentam interagir com os seus sujeitos de forma natural, não intrusiva e não ameaçadora”* (ibid., p.68). Ou seja, buscam tratar as pessoas da maneira mais próxima possível dos seus contextos naturais. Assim, as entrevistas, por

exemplo, devem se parecer mais como uma conversa do que uma série de perguntas e respostas formais. A outra questão levantada por Bogdan e Biklen (ibid.) se refere aos objetivos de uma pesquisa qualitativa. Para os autores, “*o objetivo dos investigadores qualitativos é o de melhor compreender o comportamento e experiência humanos*” (p.70). Para isso, procuram “*compreender o processo mediante o qual as pessoas constroem significados e descrever em que consistem estes mesmos significados*” (ibid.). Por isso o caráter interpretativo da investigação qualitativa.

Em uma pesquisa qualitativa, a entrevista é uma das formas de coletar dados na linguagem dos próprios sujeitos que fazem parte do estudo. Para Triviños (1997), é uma das técnicas mais apropriadas para esse tipo de pesquisa, uma vez que a participação dos sujeitos é valorizada. Trata-se de dados com características descritivas e podem ocorrer ao longo de vários encontros com os entrevistados ou em reuniões previamente agendadas com essa finalidade (Bogdan e Biklen, 1994). Neste último caso, recomenda-se uma conversa inicial para estabelecer uma relação amigável entre entrevistador e entrevistado, normalmente com a exposição pelo pesquisador dos seus interesses de pesquisa, além de garantir a confidencialidade das informações obtidas.

As entrevistas variam de acordo com o grau de estruturação prévia que apresentam, podendo ser abertas (não estruturadas) ou estruturadas. As entrevistas abertas não partem de perguntas previamente estabelecidas, mas de temas que oferecem grande liberdade ao entrevistado. As entrevistas estruturadas partem de um conjunto de questões previamente construídas, ainda que admitam certo grau de flexibilidade ao entrevistado (Bogdan e Biklen, 1994). Haveria ainda um tipo intermediário de entrevista chamada de semiestruturada. Nesse caso, o pesquisador elabora um conjunto de temas prévios específicos que devem ser apresentados ao entrevistado. Em qualquer um dos casos, as falas dos entrevistados podem gerar novas questões que se realimentam, ou seja, a partir das respostas dos entrevistados, novas questões se apresentam ao investigador. No entanto, Bogdan e Biklen (ibid.) destacam que pode haver transições entre os tipos de entrevistas durante uma pesquisa qualitativa. Em geral, nas fases iniciais da pesquisa, as entrevistas podem ser

menos estruturadas e terem um caráter exploratório. Nas fases finais, é natural que se tenha uma definição maior de temas a serem aprofundados e, portanto, partir para uma entrevista mais estruturada.

As entrevistas semiestruturadas são, para Triviños (1997) as mais indicadas para a maioria das pesquisas qualitativas, na medida em que valorizam o papel do investigador e, ao mesmo tempo, oferecem *“todas as perspectivas possíveis para que o informante alcance a liberdade e a espontaneidade necessárias, enriquecendo a investigação”* (ibid., p.146). Assim, o entrevistado pode seguir sua linha de pensamento e expor suas experiências a partir do tema principal apresentado pelo pesquisador e de novas questões que podem surgir.

De qualquer forma, é essencial que o entrevistado se sinta à vontade para falar sobre os temas que lhe são apresentados. Segundo Bogdan e Biklen (ibid.), a postura do entrevistador é relevante:

As boas entrevistas produzem uma riqueza de dados, recheados de palavras que revelam as perspectivas dos respondentes. As transcrições estão repletas de detalhes e de exemplos. Um bom entrevistador comunica ao sujeito o seu interesse pessoal, estando atento, acenando com a cabeça e utilizando expressões faciais apropriadas. (Bogdan e Biklen, 1994, p.136)

No entanto, os gestos e comportamentos do investigador não podem ser excessivos a ponto de interferir nas opiniões do entrevistado. Conforme afirma Triviños (1997), as atitudes, ações e comportamentos do pesquisador são decisivas para o bom andamento da entrevista. Além disso, o início de uma entrevista pode ser marcado por apreensões e incertezas. Nesse caso, Triviños (ibid.) sugere que se inicie com temas mais gerais e de reconhecido domínio do entrevistado, além de evidenciar a importância da sua participação para o andamento da pesquisa. É preciso considerar que os sujeitos reagem de distintos modos em situações como as entrevistas. Assim, é importante que o entrevistado não se sinta avaliado, pois poderia abalar a relação de confiança. Vale o alerta: *“o entrevistador deve evitar alimentar as respostas dos sujeitos e fazê-los sentirem-se desconfortáveis relativamente aos seus pensamentos”* (Bogdan e Biklen, 1994, p.139). Nesse sentido, os autores ressaltam que em um *“projeto de entrevista qualitativa a informação é cumulativa, isto é, cada*

entrevista determina e liga-se à seguinte. O que conta é o que se retira do estudo completo” (ibid., p.136). Ou seja, raramente uma entrevista não será útil para a pesquisa. Os autores alertam ainda que:

Se a princípio não conseguiu compreender o que o sujeito está a tentar dizer, peça-lhe uma clarificação. Faça perguntas, não com o intuito de desafiar, mas sim de clarificar. Se não conseguir compreender, encare o defeito como seu. Assuma que o problema não reside na falta de sentido do que o sujeito está a dizer, mas que reside em si, que não o conseguiu compreender. (Bogdan e Biklen, 1994, p.137)

Algumas situações podem indicar, por exemplo, que as questões e/ou os temas deveriam ser reformulados. Bogdan e Biklen (1994) destacam ainda que características pessoais do pesquisador, como idade, sexo, raça, profissão, podem influenciar na relação entre entrevistador e entrevistado. Segundo os autores, isso também deve ser considerado.

Concluída a etapa de coleta de dados, a fase seguinte é a análise desses materiais. Nas pesquisas qualitativas é difícil prever quando os dados são suficientes para empreender essa segunda fase. Bogdan e Biklen (1994) salientam que *“chega-se a um ponto em que se tem dados suficientes para realizar aquilo que nos propusemos”* (p.201). É a hora de passar para a análise. Ainda que, de acordo com Triviños (1997), a coleta e análise de dados não sejam necessariamente uma sucessão de etapas isoladas, pois pode ser necessário buscar novos dados ou elas podem ocorrer concomitantemente, pode-se afirmar que:

A análise de dados é o processo de busca e de organização sistemático de transcrições de entrevistas, de notas de campo e de outros materiais que foram sendo acumulados, com o objetivo de aumentar a sua própria compreensão desses mesmos materiais e de lhe permitir apresentar aos outros aquilo que encontrou. (Bogdan e Biklen, 1994, p. 205)

Ou seja, a análise implica interpretar os dados e torná-los compreensíveis. Portanto, é a fase em que os dados são organizados em categorias e subcategorias para destacar possíveis regularidades ou padrões e os aspectos mais importantes, os quais serão apresentados como resultados da pesquisa. Esse processo de classificação dos dados está diretamente associado aos objetos de estudo e àquilo que se pretende compreender. Nas pesquisas

qualitativas, as categorias podem surgir dos próprios dados, da literatura e/ou das referências teóricas do investigador. Nesta tese, ver-se-á mais adiante que a influência maior foi desta última, pois os sistemas de codificação (ou categorias) foram pré-estabelecidos, predominantemente, pelas discussões teóricas do Capítulo 1.

Outra forma de análise dos dados em uma pesquisa qualitativa é a análise de conteúdo. De acordo com Bardin (1994) e Triviños (1997), trata-se de uma prática antiga de análise das comunicações³⁵. No entanto, no início do século XX passa a ser usada mais sistematicamente em algumas áreas como jornalismo, psicologia, sociologia, entre outras. Na década de 1950, segundo Bardin (1994), adquire formas mais organizadas de uma técnica de pesquisa. A essa altura, destaca a autora, outras áreas como a etnologia, a história, a psiquiatria, a psicanálise e a linguística passam a se interessar pela análise de conteúdo. Isso permitiu que seus aspectos epistemológicos e metodológicos se desenvolvessem, o que é relevante para evitar “*os perigos da compreensão espontânea*” (ibid., p.28). Ou, ainda, “*rejeitar a tentação da sociologia ingênua, que acredita poder apreender intuitivamente as significações dos protagonistas sociais, mas que somente atinge a projeção da sua própria subjetividade*” (ibid.).

Assim, ainda que uma descrição analítica faça parte da análise de conteúdo, não é suficiente. De acordo com Bardin (1994), a análise de conteúdo também pode envolver uma análise dos significados e dos significantes. Um primeiro passo para buscar certa objetividade e racionalidade foi a aplicação de análises categoriais ou método das categorias na análise de conteúdo. Com isso, buscava-se uma classificação e controle de frequência de elementos relevantes das mensagens. Em essência, seria um método taxionômico que trazia certa ordem e critérios à análise dos dados (ibid.). Desse modo, Bardin (ibid.) oferece uma primeira definição de análise de conteúdo. Segundo a autora: “*a análise de conteúdo aparece como um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo*

³⁵ Bardin (1994) oferece um retrospecto histórico da origem da análise de conteúdo.

das mensagens” (ibid. p.38). No entanto, essa definição ainda estaria muito centrada na perspectiva descritiva.

Para avançar além da mera descrição, Bardin (1994) afirma que “*a intenção da análise de conteúdo é a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou, eventualmente, de recepção), inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos ou não)*” (p.38). O analista, de acordo com a autora, trabalharia como um arqueólogo em busca de vestígios; ou, em suas palavras:

Tal como a etnografia necessita da etnologia, para interpretar as suas descrições minuciosas, o analista tira partido do tratamento das mensagens que manipula, para inferir³⁶ (deduzir de maneira lógica) conhecimentos sobre o emissor da mensagem ou sobre o seu meio, por exemplo. (Bardin, 1994, p.39)

Para Bardin (1994), a inferência é a fase intermediária entre a descrição e a interpretação da mensagem. Desse modo, uma análise de conteúdo não poderia se prender apenas na “letra” da mensagem, mas também nos significados que podem estar em um segundo plano. Assim, Bardin (1994) propõe a seguinte designação para a análise de conteúdo:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens. (Bardin, 1994, p.42)

Portanto, o investigador poderá lançar mão de várias ações complementares para oferecer uma interpretação fundamentada dos dados e ampliar a validade dos seus resultados.

Uma prática de pesquisa bastante próxima à análise de conteúdo é a análise documental. No entanto, nesta última a inferência é bem menos presente se comparada àquela. O propósito da análise documental é transformar as informações de modo a armazená-las para acessos posteriores, de maneira que se tenha “*o máximo de informação (aspecto quantitativo), com o máximo de pertinência (aspecto qualitativo)*” (Bardin, 1994, p.45). Nesse

³⁶ Segundo a autora: inferência é uma “*operação lógica, pela qual se admite uma proposição em virtude de sua ligação com outras proposições já aceitas como verdadeiras*” (Bardin, 1994, p.39).

sentido, ainda que tenham semelhanças, a autora estabelece algumas diferenças significativas entre a análise de documento e a análise de conteúdo:

A documentação trabalha com documentos; a análise de conteúdo com mensagens (comunicação).

A análise documental faz-se principalmente por classificação-indexação; a análise categorial temática é, entre outras, uma das técnicas de análise do conteúdo.

O objetivo da análise documental é a representação condensada da informação, para consulta e armazenagem; o da análise de conteúdo, é a manipulação de mensagens (conteúdo e expressão desse conteúdo), para evidenciar os indicadores que permitam inferir sobre uma outra realidade que não a da mensagem. (Bardin, 1994, p.46)

Portanto, ainda que possam ser usadas complementarmente, a análise documental e a análise de conteúdo são procedimentos distintos e com finalidades distintas. Além disso, Triviños (1997), apoiado em Bardin (1994), destaca que, de modo geral, a análise de conteúdo se organiza em três fases: a pré-análise, a descrição analítica e a interpretação inferencial³⁷.

A pré-análise consiste na organização do material a ser estudado e da sequência de ações a serem implementadas. Essa fase envolve também a escolha dos materiais a serem analisados, a elaboração e/ou reelaboração de hipóteses e objetivos da pesquisa e a construção de indicadores ou categorias para estruturar a análise. Ocorre também a leitura flutuante do material disponível. Segundo Bardin (1994), essa leitura flutuante é uma das primeiras ações, consistindo em tomar um primeiro contato com esses materiais. Nessa fase se avalia também a representatividade da amostra em relação ao contexto do qual faz parte. Para um universo muito heterogêneo, a tendência é que se necessite de uma amostra maior.

Na fase da descrição analítica, as escolhas dos materiais a serem analisados já foram feitas. Assim, passa-se para um estudo aprofundado, apoiado nas definições anteriores, a saber, os indicadores ou categorias e os referenciais teóricos (Triviños, 1997). Para Bardin (1994), uma vez concluídas as operações da fase anterior, *“a fase de análise propriamente dita não é mais do*

³⁷ Bardin (1994) usa a seguinte nomenclatura: i) pré-análise; ii) exploração do material; iii) tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

que a administração sistemática das decisões tomadas” (p.101). E, finalmente, a fase da interpretação inferencial possibilita a construção de relações e conexões, permitindo ao investigador apresentar interpretações e inferências, considerando-se os objetivos inicialmente delimitados para a pesquisa. No entanto, Bardin (1994) e Triviños (1997) ressaltam que essas etapas têm uma perspectiva mais organizacional do que epistemológica e podem se realimentar e/ou gerar novos problemas a serem investigados. Além disso, Triviños (ibid.) faz outro alerta ao enfatizar que o pesquisador não deveria se concentrar apenas no *conteúdo manifesto* dos dados, mas deveria considerar também seu *conteúdo latente*.

2.2. Metodologias aplicadas aos capítulos

Depois de apresentar dos aspectos gerais da pesquisa, sua ênfase qualitativa e as formas de obtenção e análise dos dados, expõe-se a seguir como foram aplicados em cada Capítulo.

O Capítulo 3 apresenta uma reconstrução histórica dos caminhos percorridos por algumas áreas da ciência e da tecnologia que resultaram em eventos fundamentais para a consolidação da nanociência e da nanotecnologia como novos campos de pesquisa. Contempla também algumas influências na agenda científica, incluindo-se decisões políticas e econômicas que, somadas ao Capítulo 4, servirão para reforçar as análises que serão apresentadas no Capítulo 5. Assim, alguns esclarecimentos metodológicos são necessários.

De acordo com Granger (2003), o conjunto de significados de um texto científico é inseparável da sua história. Nesse sentido, o autor resalta que uma filosofia das ciências deveria se aproximar de uma história das ciências, ainda que os níveis de aprofundamento de cada uma sejam distintos, pois a importância relativa da história é distinta para o filósofo e o historiador. Além disso, Granger (ibid.) identifica 3 abordagens ou níveis de história da ciência: eventos, conceitos e categorias.

Para Granger (2003), os *eventos circunstanciais* que demarcam uma ciência dependem não apenas do cientista, mas também do contexto social. A questão é o quanto esse contexto poderia interferir no conteúdo da ciência. Em relação a isso, o autor destaca que:

Eles podem modificar o tempo de seu desenvolvimento, facilitando ou dificultando o funcionamento favorável das condições materiais nas quais se ampliam os conhecimentos, e produzem um gênio. Eles podem impor ditatorialmente impedimentos ideológicos ao estudo de certos temas ou à aplicação de certos métodos. (Granger, 2003, p.68)

Em outra direção, o contexto social pode produzir oportunidades favoráveis a determinados temas de pesquisa. As guerras são lembradas como exemplos por Granger (2003). A pandemia da Covid-19 seria outro exemplo. No entanto, o autor alerta que tais contextos podem produzir condições necessárias, mas não suficientes para o avanço científico. Assim, “*a dedução da evolução de uma ciência, da produção de obras [científicas], a partir de uma descrição socioeconômica ou ideológica do contexto é sempre ilusória*” (ibid, p.68), ainda que alguns aspectos possam ter sua origem no contexto social.

A outra abordagem se refere à história interna dos *conceitos científicos*. De acordo com Granger (2003), a introdução de um novo conceito ocorre no interior de uma teoria, frequentemente, para responder a dificuldades internas de um sistema teórico anterior. O enfoque nas *categorias* consiste em identificar os objetos e os conceitos fundamentais de uma teoria ou obra científica. Essa abordagem histórica contribui, por exemplo, para o problema epistemológico da continuidade ou descontinuidade entre teorias. Para Granger (ibid.), enquanto uma história dos eventos e das categorias podem indicar uma ruptura, uma história conceitual poderá indicar uma continuidade. Assim, uma análise filosófica poderia ajudar a superar possíveis desencontros entre essas abordagens, por isso é importante considerar todos os aspectos³⁸.

Seguindo na mesma direção de Granger (2003), e partindo do ponto de vista do historiador, Braunstein (2008) também destaca a importância de uma

³⁸ Braunstein (2008) trata dos três debates clássicos da história da ciência: internalismo x externalismo; continuísmo x descontinuísmo; presentismo (ou whiggismo) x historicismo.

aproximação entre a história da ciência e a filosofia da ciência. O autor afirma que os aspectos filosóficos e críticos caracterizam uma história da ciência “à francesa”, ou uma epistemologia ao estilo francês³⁹. Braunstein (ibid.) recorre ao epistemólogo Georges Canguilhem para afirmar que “*é na medida em que ela é histórica que a reflexão filosófica sobre as ciências pode ser interessante, caso contrário, ela se limita a simplesmente repetir as ciências*” (ibid., p.16). Situação semelhante ocorreria com a história da ciência isolada da epistemologia, segundo o próprio Canguilhem (2008), pois a reduziria à mera exposição cronológica e lógica de diferentes enunciados.

Com isso, parece razoável que esta tese faça uma aproximação entre as reflexões filosóficas do capítulo precedente e o contexto histórico do surgimento da nanotecnologia. No entanto, o objetivo do Capítulo 3 não é esgotar a história da nanociência e da nanotecnologia. Trata-se de uma abordagem histórica mais associada aos eventos do que aos conceitos, para usar os termos de Granger (2003), pois não é dirigida apenas a físicos ou químicos, mas a um espectro mais amplo de formações e interesses. Para isso, foram consultados alguns documentos considerados fontes primárias; em outros casos, utilizou-se fontes secundárias, ou seja, pesquisas com abordagens históricas já publicadas.

Entretanto, conforme destaca Bloch (2001) “*os testemunhos mais insuspeitos em sua proveniência declarada não são, necessariamente, por isso, testemunhos verídicos*” (p.97). Esse alerta, como tal, poderia se aplicar, por exemplo, a autores como Harold Kroto (1992) e Joachim e Plévert (2009). O primeiro foi um dos laureados com o Nobel de Química de 1996 pela descoberta dos fulerenos, juntamente com Robert Curl e Richard Smalley. Alguns anos depois, Kroto e Smalley entraram em desentendimento em relação à precedência do modelo estrutural do Buckminsterfullereno. Christian Joachim é um físico que trabalha com pesquisas em nanotecnologia e, juntamente com a jornalista Laurence Plévert, publicaram um livro de divulgação sobre nanociências. Além disso, Bloch (2001) ressalta que não basta ao historiador constatar uma falsa informação. Seria importante conhecer as razões que teriam levado alguém a transmitir e/ou propagar uma inverdade. Alguns episódios

³⁹ Braunstein (2008) ressalta que há autores de outras nacionalidades que também estabelecem fortes ligações entre a história e a filosofia da ciência em seus trabalhos.

históricos da ciência que chegam aos meios mais comuns de divulgação são exemplos clássicos, como o célebre caso de Arquimedes e a coroa do rei Hieron de Siracusa. Martins (2000) oferece sólidas discussões para evidenciar que o episódio da banheira e dos gritos de *eureka* de Arquimedes, supostamente ao resolver o problema, são pouco plausíveis⁴⁰. Segundo o autor, o arquiteto romano Marcus Vitruvius parece ter propagado essa versão que se popularizou. Vitruvius viveu muito tempo depois de Arquimedes e não informa a fonte de sua versão, ainda que este texto seja o mais antigo conhecido que relata a suposta “experiência” do matemático grego.

No caso da nanotecnologia, uma versão que vem sendo propagada em vários textos e que é questionada por alguns historiadores é o papel de pioneiros fundadores dessa área atribuídos ao físico Richard Feynman e ao engenheiro Eric Drexler. Uma palestra ministrada na Caltech em 1959 por Feynman é citada, com frequência, como sendo o nascimento da nanotecnologia. Drexler escreveu um livro em 1986 intitulado “Máquinas da Criação”, no qual popularizou o termo nanotecnologia e descreveu seu potencial futuro. No entanto, ainda que Feynman tenha dado contribuições relevantes à física, Schulz (2018), Fernandes (2013), Joachim e Plévert (2009) e Toumey (2005, 2008) não o reconhecem como o “pai da nanotecnologia” e ressaltam que sua palestra não tratou da nanotecnologia sob a perspectiva técnica. A palestra de Feynman sequer era conhecida pela maioria dos pesquisadores que contribuíram para o surgimento da nanotecnologia. Drexler e outros cientistas participaram das iniciativas do senado norte-americano para garantir investimentos em nanotecnologia e, para isso, recorreram à palestra de Feynman para sensibilizar os políticos, conforme será tratado mais adiante. Entretanto, narrativas que atribuem a paternidade da nanotecnologia a Feynman e o pioneirismo a Drexler vêm se proliferando em várias publicações.

A história da nanociência e da nanotecnologia é relativamente recente. Parte dos pesquisadores que participaram da construção dessas áreas estão vivos e, alguns deles, ativos nas pesquisas⁴¹. Todavia, isso não torna a

⁴⁰ Martins (2000) afirma que Galileo Galilei já teria questionado essa versão que se tornou popular.

⁴¹ Harold Kroto, citado anteriormente como exemplo, faleceu em 2016.

reconstrução dessa história menos problemática. Fernandes (2013) faz um paralelo entre a história da ciência do tempo presente e o jornalismo científico investigativo/interpretativo admitindo que, em alguns casos, seriam equivalentes. A autora usa como tema de estudo para defender sua tese justamente a nanotecnologia. Em resposta a uma das críticas dirigidas ao trabalho do jornalista científico, de que seria uma história imperfeita e, portanto, sujeita a correções pelos historiadores, Fernandes (ibib.) afirma que:

(...) imperfeita não é a historiografia do jornalista, mas a historiografia do presente, seja ela produzida por jornalistas ou por historiadores. A historiografia do presente será corrigida não porque foi feita por jornalistas, mas porque o presente está sempre em construção. Assim, uma historiografia do presente feita por historiadores também poderá ser corrigida pelo trabalho de outros historiadores no futuro. (Fernandes, 2013, p.17)

Assim, essa possibilidade de revisão é inerente ao trabalho do historiador e do jornalista. Entretanto, Fernandes (2013) alerta que uma *“historiografia do presente será menos imperfeita se olhar os acontecimentos além de sua curta duração e interpretá-los em um contexto temporal mais ampliado”* (p.17). Caberia ainda ao pesquisador *“olhar os acontecimentos além de sua agitação no imediato e identificar como se relacionam com a regularidade na longa duração”* (ibid.). Na mesma direção segue Cruz (2007) ao afirmar que *“o principal aspecto do conhecimento histórico é a determinação conectiva dos fatos”* (p.47). Tanto quanto possível, o historiador deveria remeter os fatos aos seus contextos. Além disso, vale salientar que a história do passado também está sujeita a revisões, no todo ou em parte.

Dessa forma, os materiais utilizados para a elaboração do Capítulo 3 foram fontes históricas primárias e secundárias. As primárias se referem aos artigos dos próprios pesquisadores que protagonizaram eventos relevantes nos campos da nanociência e da nanotecnologia. As fontes secundárias compreendem as publicações feitas por historiadores ou trabalhos que abordam aspectos históricos da nanociência e da nanotecnologia, ainda que não se apresentem como pesquisa histórica estrita. Nesse caso, as informações centrais foram confrontadas com outras fontes, quando possível, para reduzir o grau de incertezas. Uma análise das referências bibliográficas utilizadas e dos periódicos

em que foram publicados também foi uma das ferramentas metodológicas aplicadas. Diante disso, alguns autores foram descartados.

O Capítulo 4 trata da implementação de políticas públicas no Brasil relacionadas à nanociência e à nanotecnologia. As principais fontes foram os documentos oficiais do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (fontes primárias) e as pesquisas realizadas em políticas públicas em ciência e tecnologia (fontes secundárias). Todas as orientações metodológicas aplicadas no Capítulo 3, *exceptis excipiendis*, também foram utilizadas no Capítulo 4. Entretanto, como o objetivo era reconstruir uma cronologia das principais ações dos órgãos oficiais de financiamento e gestão das iniciativas em nanociência e nanotecnologia e, secundariamente, analisar as concepções presentes nos documentos, o principal enfoque metodológico foi a análise documental, ainda que uma análise de conteúdo tenha sido aplicada. Em se tratando de documentos oficiais, públicos portanto, era de se esperar que seu acesso seria facilitado, o que não ocorreu em alguns casos. Nessas situações, as fontes secundárias foram ainda mais relevantes. Aróstegui (2006) destaca que a análise de um documento não é tão simples como pode parecer. Segundo o autor, o pesquisador “*não pode simplesmente ler um documento para captar seu sentido superficial, mas sua leitura deve estar orientada, e de fato o está, para buscar coisas concretas*” (ibid., p.521). Essa é uma condição para superar a mera descrição e avançar para uma análise nos moldes do que foi tratado anteriormente.

Além disso, conforme alerta Martins (2007, 2010), é difícil estabelecer um início com absoluta precisão das pesquisas em nanociência e nanotecnologia no Brasil, ou mesmo para a ciência e tecnologia em geral. Desse modo, é necessário estabelecer um ponto de partida evidente, ainda que acontecimentos anteriores possam ser identificados. Assim, a literatura vem adotando como marco inicial das políticas públicas do governo brasileiro em relação à nanociência e à nanotecnologia o Edital CNPq Nano 01/2001. Esse edital possibilitou a criação de quatro redes de pesquisa em nanociência e nanotecnologia. No entanto, já havia grupos de pesquisa nessas áreas atuando no Brasil bem antes dessa data e com apoio financeiro das agências de fomento.

Em alguns casos, tais pesquisas se enquadravam em subáreas, como materiais ou semicondutores. De qualquer forma, dada a relevância do Edital 01/2001 para os investimentos públicos na área, é razoável admiti-lo como marco inicial do período analisado no que se refere às políticas de Estado.

O Capítulo 5 apresenta uma análise dos dados obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), ambos localizados na cidade de São Paulo. Esses institutos foram escolhidos porque, por sua natureza, têm uma dimensão aplicada e tecnológica do conhecimento produzido bem mais acentuada do que os institutos de física ou química de uma universidade, por exemplo. São instituições de pesquisa e foram criadas para responder às demandas científicas e tecnológicas do país e do Estado de São Paulo. Certamente, as universidades também fazem isso, mas dedicam uma parcela significativa do seu esforço e recursos no ensino e na formação. Ademais, o IPEN e o IPT são referências na área de nanotecnologia.

O planejamento, realização e análise das entrevistas seguiram as orientações teóricas e metodológicas discutidas anteriormente. Nesse sentido, as entrevistas não foram guiadas por perguntas diretas, mas por temas e subtemas baseados no decálogo de critérios proposto por Quintanilla (2017) para a avaliação das tecnologias apropriáveis, conforme foi tratado no Capítulo 1. Os temas e subtemas norteadores das entrevistas foram os seguintes:

1. Possibilidade de uma tecnologia aberta;
2. Capacidade de sua aplicação integrar diferentes objetivos e usos alternativos;
3. Limites do controle sobre as nanoestruturas ou nanomoléculas;
4. Conhecimento de todas as possíveis consequências da produção e aplicação da nanotecnologia;
5. Reversibilidade, parcial ou total, e possíveis consequências do uso da nanotecnologia;
6. Previsão de durabilidade e obsolescência de produtos nanotecnológicos e sua dependência de outras tecnologias;

7. Necessidade de algum grau de compreensão dos princípios de funcionamento pelos usuários da nanotecnologia;
8. Participação dos usuários no planejamento, produção, aplicação e avaliação de produtos nanotecnológicos;
9. Presença de princípios de sustentabilidade no planejamento, produção e aplicação da nanotecnologia;
10. Previsão do alcance social ou de mudanças socioeconômicas pela aplicação e uso da nanotecnologia.

Entretanto, antes de apresentar os temas para o entrevistado, era solicitado que falasse sobre o projeto (ou projetos) em nanotecnologia no qual estava trabalhando no momento (Tema? Duração? Custos? Equipe envolvida? Cooperações? Financiamentos? Fatores essenciais para a aprovação? Itens avaliados? Especificidades por se tratar de nanotecnologia? Questões éticas envolvidas?). Com isso, conforme já foi discutido, o entrevistado se sente mais à vontade para iniciar o diálogo com o pesquisador, pois irá tratar de assuntos do seu domínio.

Além disso, antes de iniciar a entrevista, era explicado que se tratava de uma coleta de dados para uma pesquisa de doutorado em Lógica e Filosofia da Ciência e que não se pretendia avaliar os conhecimentos filosóficos ou científicos dos entrevistados, mas de compreender alguns aspectos de suas atividades. Em seguida, todos liam e assinavam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo I)⁴².

Em alguns casos, ao apresentar os subtemas norteadores, os entrevistados expressavam dúvidas, o que é natural e deve ser esperado pelo pesquisador. Após esclarecimentos, perguntas mais diretas eram feitas aos participantes para iniciar o diálogo. As falas dos entrevistados, como também era esperado, geravam novas questões. Todas as entrevistas foram gravadas com a devida autorização dos participantes e tiveram duração média de 73 minutos.

A escolha dos entrevistados se deu a partir de uma consulta aos sítios do IPT e do IPEN para identificar os projetos de pesquisa sobre nanotecnologia em

⁴² Modelo padrão exigido no Brasil para pesquisas dessa natureza.

andamento ou recentemente concluídos, bem como seus integrantes. Em seguida, todos os participantes foram contatados por meio de correio eletrônico. Ao todo, nove pesquisadores aceitaram participar voluntariamente da pesquisa e foram entrevistados individualmente em seus locais de trabalho com agendamento prévio. Nesse tipo de pesquisa, como destaca Rey (2010), a espontaneidade em participar da pesquisa é essencial, pois uma insistência excessiva, ou mesmo uma obrigatoriedade, comprometeria o interesse do entrevistado em oferecer informações relevantes.

Em relação às metodologias aplicadas nas entrevistas, vale destacar que não se trata de apenas utilizar uma técnica ou instrumento de coleta de dados, mas de criar situações e condições para que os sujeitos se expressem. Conforme afirma Rey (2010):

O instrumento representa apenas o meio pelo qual vamos provocar a expressão do outro sujeito; isso significa que não pretendemos obrigar o outro a responder ao estímulo produzido pelo pesquisador, mas facilitar a expressão aberta e comprometida desse outro, usando, para isso, os estímulos e as situações que o pesquisador julgue mais convenientes. O instrumento privilegiará a expressão do outro como processo, estimulando a produção de tecidos de informação, e não de respostas pontuais. (Rey, 2010, p.43)

Ou seja, esses instrumentos de obtenção de dados não produzem resultados, mas informações (Rey, 2010). Isso implica uma relação de interatividade na qual os sujeitos constroem novos sentidos, novas necessidades e interesses. Isso será visto mais adiante, quando alguns entrevistados afirmaram que nunca haviam pensado sobre determinadas questões que foram apresentadas.

Quando esse ambiente de pesquisa é criado, pesquisador e pesquisado atuarão de forma reflexiva em relação às suas experiências e conhecimentos, fazendo surgir argumentações, expressões e manifestações emocionais que eventualmente não haviam ocorrido até então. No caso do primeiro subtema das entrevistas, a saber, “Possibilidade de uma tecnologia aberta”, não seria o mais apropriado propor ao entrevistado uma situação ou questão do tipo: “O que você acha das tecnologias abertas?” ou “qual sua opinião sobre as tecnologias abertas?”. Em vez disso, pode-se fazer uma pequena introdução ao

tema para depois apresentar uma pergunta: “há algum tempo já se fala das tecnologias abertas, ou seja, aquelas tecnologias que não impõem qualquer restrição de acesso pelos usuários. É possível pensar em uma tecnologia aberta no caso do seu projeto de pesquisa?”. A partir de uma resposta a essa pergunta, novos questionamentos podem surgir, o que constitui uma potencial oportunidade para a obtenção de informações relevantes para a pesquisa. E, para que se conheça o contexto de trabalho dos entrevistados, são apresentadas a seguir algumas informações relativas ao IPEN e ao IPT, pois são duas instituições de pesquisa importantes no cenário brasileiro e, como se verá na sequência, possuem em suas estruturas uma ampla gama de laboratórios, equipamentos, áreas e subáreas de investigação, sendo a nanotecnologia uma entre tantas outras.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN é uma instituição pública fundada em 1956, vinculada administrativamente à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo⁴³. Está situado na cidade de São Paulo, como um enclave no campus da Universidade de São Paulo (USP)⁴⁴. O IPEN possui em sua estrutura os seguintes Centros de Pesquisa:

- Centro de Biotecnologia (CEBIO);
- Células a Combustível e Hidrogênio (CECCO);
- Ciência e Tecnologia de Materiais (CECTM);
- Centro do Combustível Nuclear (CECON);
- Centro de Engenharia Nuclear (CEENG);
- Centro de Lasers e Aplicações (CELAP);
- Centro de Metrologia das Radiações (SEGMR);
- Centro de Química e Meio Ambiente (CEQMA);
- Centro de Radiofarmácia (CECRF);
- Centro do Reator de Pesquisas (CERPQ);
- Centro de Tecnologia das Radiações (CETER).

⁴³ Todas as informações foram obtidas no sítio do IPEN [www.ipen.br].

⁴⁴ Ao lado do IPEN, também como um enclave no campus da USP, encontra-se o Centro Tecnológico da Marinha do Brasil, subordinado ao Ministério da Defesa e responsável pelo Programa Nuclear da Marinha do Brasil. Essa localização é estratégica, pois há projetos de cooperação entre a USP, o IPEN e a Marinha do Brasil.

As principais áreas de pesquisa são: Energia Nuclear, Saúde, Radiações, Materiais, Meio Ambiente, Energias Sustentáveis, Nanotecnologia, Biotecnologia, entre outras. Sua natureza multidisciplinar permite abranger muitas áreas e subáreas de pesquisas e de prestação de serviços, entre eles, aplicações das radiações e radioisótopos. O IPEN oferece os cursos de mestrado e doutorado em Tecnologia Nuclear, atualmente com 121 orientadores credenciados, e o curso de mestrado em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde, com 21 orientadores credenciados. Em 2020⁴⁵ foram titulados 33 doutores e 75 mestres. Ainda em 2020, o IPEN atingiu a marca de 3 mil titulações, entre mestres e doutores em 45 anos de criação da sua pós-graduação⁴⁶. Dentre os principais indicadores de resultados em 2020, destacam-se: 36 publicações em periódicos nacionais; 304 publicações em periódicos internacionais; 6 textos completos em eventos nacionais; 31 textos completos em eventos internacionais; 6 livros; 28 capítulos de livros; 129 tecnologias (protótipo de produtos; produto para comercialização, aperfeiçoamento de produtos, processo ou métodos de análise existentes; softwares e materiais). Atualmente, conta com 250 pesquisadores doutores, além de mestres, técnicos e servidores administrativos. Em 2004 foi criado o Núcleo de Inovação Tecnológica – NIT-IPEN, com a finalidade de desenvolver uma cultura de inovação e de aproximação com a sociedade.

Conforme será tratado mais adiante, o IPEN compõe o Programa SisNANO com o Laboratório Integrado de Nanotecnologia – LIN-IPEN, atuando em várias áreas de pesquisa e na formação de novos pesquisadores por meio dos programas de pós-graduação, de pós-doutoramento e de oferta de cursos para os níveis de graduação e pós-graduação⁴⁷. O Instituto conta ainda com vários acordos de cooperação em pesquisa e pós-graduação com outras instituições nacionais e estrangeiras, incluindo-se empresas privadas.

A cada ano o IPEN organiza e sedia vários congressos de distintas áreas de pesquisa e desenvolve também ações de divulgação de suas atividades de

⁴⁵ Dados mais recentes disponíveis.

⁴⁶ Os cursos de graduação e pós-graduação em todas as instituições públicas do Brasil são gratuitos.

⁴⁷ Essas disciplinas de graduação e pós-graduação também podem ser cursadas por alunos da USP.

pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico para diferentes públicos. Temas como segurança radiológica e tratamento de resíduos também são abordados pelo IPEN. Por possuir em suas instalações vários laboratórios de pesquisa, incluindo-se reatores nucleares e acelerador de partículas, segue normas rígidas de controle e funcionamento, tanto aquelas previstas na legislação brasileira quanto as impostas pelos tratados internacionais de produção e uso da energia nuclear. Para isso, existe uma Gerência de Radioproteção e um Serviço de Gestão de Rejeitos Radioativos.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT é uma empresa pública estadual⁴⁸ fundada em 1899 como Gabinete de Resistência dos Materiais, ganhando o nome atual em 1934⁴⁹, vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. Situa-se na cidade de São Paulo como um enclave no campus da USP. O IPT possui as seguintes unidades de pesquisa em sua estrutura:

- Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura;
- Centro de Tecnologias Geoambientais;
- Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Flúidos;
- Núcleo de Bionanomanufatura;
- Centro de Tecnologia Mecânica, Naval e Elétrica;
- Centro de Química e Manufaturados;
- Centro Tecnológico do Ambiente Construído;
- Centro de Tecnologia de Recursos Florestais;
- Centro de Tecnologia da Informação, Automação e Mobilidade;
- Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais;
- Núcleo de Estruturas Leves.

Estão distribuídos entre essas unidades 396 profissionais, além das áreas administrativas, e cada unidade conta ainda com laboratórios específicos. O IPT oferece soluções tecnológicas nas seguintes áreas: Bionanomanufatura (biotecnologia, micromanufatura, nanotecnologia); Cidades (saneamento, segurança e proteção à saúde, urbanismo); Construção Civil e Edificações (barragens, edificações, geologia e geotecnia, grandes obras, materiais e componentes); Energia (combustíveis e fontes de energia, eficiência energética); Importação e Exportação (adequação para exportação, classificação fiscal);

⁴⁸ Conforme Estatuto Social de 2021 é uma sociedade por ações.

⁴⁹ Todas as informações foram extraídas do sítio do IPT [www.ipt.br].

Indústria (alimentos, biotecnologia, cerâmica, máquinas e equipamentos, plásticos e borrachas, processos industriais, resíduos industriais); Madeira, Papel e Celulose (cupins e fungos, madeira e móveis, papel e celulose); Meio Ambiente (água, áreas contaminadas, florestas, gestão ambiental, qualidade do ar, resíduos, sustentabilidade); Metalurgia e Siderurgia (conformação de materiais, fundição, processamento pirometalúrgico); Metrologia e Sistemas de Medição (fluidos, mecânica e elétrica, química); Micro e Pequenas Empresas (apoio à exportação, laboratórios móveis); Mineração (empreendimentos e mercado mineral, processos e produtos); Petróleo e Gás (corrosão, dutos e distribuição, medição de óleo e gás, navios e sistemas *offshore*); Saúde (cosméticos e fármacos, ocupacional, odonto-médico-hospitalar, substâncias nocivas); Segurança (equipamentos de proteção individual – EPI, equipamentos e componentes, obras e estruturas, riscos ambientais e tecnológicos, segurança ao fogo); Setor Público (compras e licitações, gestão urbana, meio ambiente, mineração, transportes); Tecnologia da Informação e Comunicação (equipamentos, redes e sistemas); Têxteis, Couros e Calçados (calçados e EPIs, têxteis e confecções, têxteis técnicos); Transportes (aeronáutico, automotivo, dutoviário, embalagens, hidroviário, metroferroviário, rodovias).

O IPT oferece 3 cursos de mestrado (Computação Aplicada, Habitação, Processos Industriais), com 40 titulações em 2018. Pelas áreas de serviços e pelas pós-graduações se verifica a natureza aplicada do conhecimento produzido pelo IPT. Isso ocorre também por demanda de empresas públicas e privadas, pois sua principal missão é *“criar e aplicar soluções tecnológicas para aumentar a competitividade das empresas e promover a qualidade de vida”*⁵⁰. Nesse sentido, o IPT capta parte dos recursos em parcerias e projetos com empresas e agências financiadoras, pois apenas 34% dos recursos são oriundos do Estado de São Paulo. Em função de sua natureza aplicada e de estabelecer convênios com empresas, com contratos de confidencialidade, talvez a produção de artigos científicos não seja o indicativo mais importante para o IPT. No entanto, para efeitos de informação, tomando-se o ano de 2018⁵¹ como referência, seus indicadores de produção são os seguintes: 85 artigos científicos,

⁵⁰ Extraído de [www.ipt.br/institucional/missao_valores], em 29/09/2021.

⁵¹ Tomou-se o ano de 2018 como referência porque havia pequenas diferenças entre os dados dos anos de 2019 e 2020 nas informações disponíveis no sítio do Instituto.

109 trabalhos em eventos, 6 livros, 48 capítulos de livros, 15 textos de divulgação. As patentes desenvolvidas pelo IPT para licenciamento em 2021 são as seguintes⁵²: Dispositivo para alinhamento de feixes de luz para emissores e receptores ópticos; Equipamento de testes em alta velocidade para ensaios dinâmicos em OBU/TAGS e RFID; Sistema laser de detecção de objetos; Equipamento para análise da homogeneidade do coeficiente de *Seebeck* em termopares; Equipamento modular para determinação de fases microestruturais de aço; Equipamento para caracterização magnética de nanopartículas e método de medição; Recuperação de neodímio de ímãs NdFeB; Padrão primário para a calibração de transdutores de torque através da variação angular de braço de reação; Gestão de Árvores; Material magnético nanoparticulado para aplicações térmicas; Dispositivo magnético de inspeção em correias transportadoras de minérios.

Assim como o IPEN, o IPT organiza e sedia vários eventos técnico-científicos nas mais distintas áreas de pesquisa e executa ações de divulgação de suas produções para as empresas e para outros públicos. Além disso, conforme será tratado mais adiante, o IPT funciona como uma Unidade EMBRAPPII em Materiais de Alto Desempenho (ligas metálicas, materiais cerâmicos, materiais compósitos, materiais resistentes à corrosão, nanopartículas e materiais nanoestruturados) e em Desenvolvimento e Escalonamento de Processos Biotecnológicos (biodispositivos e biossensores, biofármacos e farmoquímicos, biomateriais, bioquímica de renováveis, biotecnologia ambiental).

Conforme foi exposto anteriormente, os pesquisadores entrevistados trabalham nesses Institutos, cujos contextos foram brevemente descritos. Entretanto, antes da análise das entrevistas, serão apresentados nos próximos capítulos alguns aspectos históricos relativos aos principais eventos que levaram ao surgimento da nanotecnologia e os esforços para sua implementação como área de pesquisa no Brasil.

⁵² Extraído do Catálogo de Patentes IPT 2021 [www.ipt.br/patentes].

Capítulo 3:

O contexto histórico do surgimento da nanotecnologia

Ao permitir a construção de dispositivos que só funcionam com uma única molécula ou alguns átomos, a nanotecnologia dá início a uma verdadeira inversão da tecnologia que vai na contracorrente de nossa ancestral tendência à miniaturização. Esses minúsculos dispositivos despertam o entusiasmo dos cientistas que procuram compreender sua nanofísica. Será possível irmos mais longe e, no futuro, enveredarmos por um novo caminho a fim de expandir a molécula, aumentar seu número de átomos, até transformá-la, por exemplo, numa máquina de calcular ou numa máquina mecânica? Dessa forma estariam resolvidos os problemas de miniaturização da microeletrônica ou da micromecânica: tudo estaria na molécula, e a molécula seria a máquina. Daí o nome de máquinas moleculares atribuído a essas moléculas monumentais – e cada vez mais monumentais à medida que aumenta a complexidade da máquina que elas encarnam. (Joachim e Plévert, 2009, p.80)

O final do século XIX e início do século XX foram marcados por importantes acontecimentos na física. Pode-se dizer que se trata de um período bem característico de crise nos paradigmas estabelecidos e de revoluções científicas, para usar os termos de Thomas Kuhn (1991). Em 1905, Albert Einstein publicou cinco artigos que seriam as bases dos principais ramos da física que estava nascendo. Não por outra razão, 2005 foi declarado o Ano Mundial da Física pela União Internacional de Física Pura e Aplicada e pela UNESCO, em comemoração ao centenário do *annus mirabilis*. Curiosamente, naquele mesmo ano de 1905 nascia em Zurique, na Suíça, Felix Bloch, que seria laureado com o Prêmio Nobel de Física em 1952, por suas contribuições no campo dos efeitos magnéticos nucleares. Mas, em 1928, Bloch publicou um

artigo que, mais tarde, teria consequências científicas e tecnológicas que influenciariam o surgimento da nanotecnologia.

Desse modo, apresenta-se neste capítulo uma síntese das pesquisas oriundas de três áreas, a saber, a física, a química e a eletrônica, associada à descrição de três eventos científicos significativos para o surgimento e consolidação da nanotecnologia como uma nova área de pesquisa. Trata-se da descoberta dos fulerenos, dos nanotubos e do grafeno. Associado a isso, alguns aspectos econômicos e políticos igualmente relevantes para os rumos da nanotecnologia são explorados.

3.1. Da física e da eletrônica para o microscópio de tunelamento

Uma explicação satisfatória da condução elétrica e térmica nos metais, e outros fenômenos relacionados, ocupou a agenda científica nas duas últimas décadas do século XIX e as primeiras do século seguinte. Note-se que, nesse período, a estrutura da matéria e a construção de modelos para o átomo também estavam em pauta. O físico dinamarquês Niels Bohr ilustra bem a conexão entre esses temas. Em sua tese, Bohr trabalhou com fenômenos relacionados ao comportamento dos elétrons nos metais (Bassalo, 1993) e, em 1913, propôs um modelo para o átomo, fazendo a junção de conceitos clássicos e quânticos (Beiser, 1987). Entretanto, as teorias a respeito dos elétrons nos metais ainda apresentavam limitações. Um desses problemas se referia ao calor específico, ou seja, à capacidade de transferência de calor de uma substância em uma variação de temperatura. Físicos importantes deram contribuições nesse campo, a saber, Albert Einstein, Max Born, Theodor von Laue, Enrico Fermi, Paul Dirac, Arnold Sommerfeld, entre outros. Uma solução para o cálculo do calor específico dos metais começou a se desenhar no final da década de 1920, quando alguns físicos adotaram o modelo de gás de elétrons ao redor do núcleo atômico, entre eles Fermi. Em linhas gerais, esse modelo de gás de elétrons considerava a distribuição dos elétrons em torno do núcleo do átomo como um gás em seu estado de mais baixa energia (Bassalo, 1993). Paralelamente a isso, havia pesquisas relacionadas às propriedades magnéticas e à resistência elétrica

dos metais. Ainda que novas soluções se apresentassem, de acordo com Bassalo (ibid.), começou a ganhar força entre os físicos a necessidade de uma abordagem quântica para os metais.

Esse foi o desafio proposto por Werner Heisenberg a Felix Bloch em seu doutorado na Universidade de Leipzig. Bloch concluiu sua tese em 1927 e, em 1928, publicou um artigo com uma solução quântica para o movimento dos elétrons nos metais, abordando também o problema da condutividade e do calor específico (Beiser, 1987; Bassalo, 1993, 1994). Esse artigo de Bloch foi fundamental para a Teoria das Bandas de Energia, o que possibilitou avançar na compreensão das propriedades condutoras e semicondutoras dos sólidos, além de outras características, abrindo caminho para progressos importantes na miniaturização dos dispositivos eletrônicos (Bassalo, 1994).

Em termos gerais, a Teoria das Bandas de Energia consiste em um modelo aplicável aos sólidos, incluindo-se os metais. Os sólidos possuem um grande número de átomos que estão muito próximos uns dos outros. Nesse caso, os níveis de energia de cada átomo se sobrepõem formando uma *banda* contínua de energia. Os elétrons de valência, ou seja, das camadas mais externas, são mais fortemente influenciados pelos átomos vizinhos, resultando em bandas mais largas. As regiões contínuas de níveis de energia para os elétrons são chamadas de bandas permitidas e aquelas regiões onde não há níveis de energia são chamadas de bandas proibidas (*gap* de energia). A ocupação total ou não das bandas dos elétrons de valência, sob algumas condições, determinará, por exemplo, se o sólido se comportará como um condutor ou um isolante⁵³.

Na mesma época, outros físicos também deram contribuições relevantes para o desenvolvimento da Teoria das Bandas, entre eles Hans Bethe e Rudolf Peierls, sendo este último também aluno de Heisenberg, em Leipzig. Bethe trabalhou com o espalhamento de elétrons em cristais e Peierls com uma generalização dos trabalhos de Bloch. Em um trabalho de 1930, Peierls demonstrou os *gaps* de energia. Essa descontinuidade nos espectros de energia

⁵³ Há outros fatores a considerar, como a geometria da estrutura cristalina e das autofunções atômicas (Eisberg e Resnick, 1988).

dos elétrons, segundo Bassalo (1994), também foi observada por Philip Morse, da *Bell Telephone Laboratories (Bell Labs)*. Alan Wilson, outro aluno de Heisenberg, descreveu de maneira mais clara os condutores, semicondutores e isolantes e associou a presença de impurezas à condutividade elétrica dos semicondutores.

Essa relação das impurezas com a condutividade dos semicondutores, corroborada por outros físicos da época, possibilitou o desenvolvimento da técnica de dopagem, que consistia em inserir impurezas em um semicondutor para torná-lo um condutor. Além disso, diferentes impurezas poderiam produzir distintas propriedades nesses semicondutores. Os físicos William Shockley e John Bardeen, ambos da Bell Labs, verificaram que a dopagem de cristais de Germânio (Ge) com determinadas impurezas permitia controlar os elétrons móveis desse semicondutor por meio da aplicação de um campo elétrico, ou seja, funcionava como um retificador (Bassalo, 1994). Em 1948, Shockley, Bardeen e Walter Brattain, produziram o primeiro transistor e, por isso e pelas pesquisas com semicondutores, receberam o Prêmio Nobel de Física em 1956 (Beiser, 1987). Bardeen ainda receberia um segundo Prêmio Nobel de Física em 1972, juntamente com os físicos Leon Cooper e John Schrieffer, pelo desenvolvimento da Teoria da Supercondutividade.

As pesquisas com semicondutores continuaram e, nessa época, já estavam evidentes suas potenciais aplicações tecnológicas. Outra contribuição relevante nesse campo foi dada pelo físico japonês Leo Esaki. Suas pesquisas com dopagem de semicondutores e com diodo de Ge, na *Sony Corporation*, levaram-no a demonstrar o efeito túnel (tunelamento⁵⁴) em sólidos e à produção do diodo túnel (diodo Esaki). Uma propriedade desse diodo é sua rápida resposta a mudanças de voltagem, com aplicações em computadores mais

⁵⁴ Trata-se de um fenômeno característico da mecânica quântica e pode ocorrer com elétrons e partículas de pequena massa. Em síntese, o efeito túnel ocorre quando uma partícula com energia E consegue ultrapassar uma barreira de energia potencial U maior que E . No momento em que atravessa essa barreira, a partícula se comporta como onda. O resultado matemático para a densidade de probabilidade da função de onda ($|\psi|^2$) após a barreira não é nulo. A partícula pode ser observada com energia total $E < U$, antes ou depois da barreira (Eisberg e Resnick, 1988; Halliday et al., 2003).

velozes. Esaki recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1973⁵⁵. A partir dessas pesquisas, com a produção de transistores e diodos, a segunda metade do século XX assistiu a um grande desenvolvimento da eletrônica. A rápida capacidade de reduzir as dimensões dos componentes eletrônicos permitiu construir artefatos menores e mais eficientes, resultando em avanços, por exemplo, nas telecomunicações e computadores. Mas, a compreensão do efeito túnel possibilitou a invenção de um dispositivo que teria grandes consequências para o surgimento da nanotecnologia: o microscópio de tunelamento, o que rendeu a Gerd Binnig e Heinrich Rohrer o Prêmio Nobel de Física de 1986.

Na década de 1950 já era possível obter “imagens” de moléculas com o microscópio eletrônico. Os microscópios ópticos tinham uma limitação técnica para a observação de objetos cujas dimensões tivessem a mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz utilizada. Por isso, moléculas não poderiam ser observadas por esses equipamentos. Os microscópios ópticos fornecem imagens diretas dos objetos observados. Entretanto, é possível obter “imagens” indiretas, como ocorre com o microscópio eletrônico. Sucintamente, esse microscópio utiliza um feixe de elétrons em substituição à luz e consiste em produzir uma corrente de elétrons entre uma agulha muito fina e uma placa na qual se produzirá uma varredura. O primeiro microscópio eletrônico foi inventado em 1931 por Ernst Ruska, engenheiro da Universidade de Berlin (Joachim e Plévert, 2009), tendo recebido o Prêmio Nobel de Física em 1986 por seu invento. O aperfeiçoamento do microscópio eletrônico avançou nos anos seguintes. Mas, a capacidade de não apenas obter uma “imagem” do átomo como de manipulá-lo só ocorreu com o microscópio de tunelamento, tornando definitivamente possível a construção de artefatos na escala nano, ou seja, a nanotecnologia.

Inicialmente interessados em estudar as falhas nas camadas isolantes de metais e semicondutores, segundo Joachim e Plévert (2009), Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, da IBM em Zurique, projetaram um equipamento que utilizava as correntes de tunelamento para produzir uma “imagem” do relevo das amostras

⁵⁵ Esaki foi laureado por seus trabalhos relacionados ao efeito túnel em semicondutores e compartilhou o Prêmio com Ivan Giaever e Brian Josephson (estes por seus trabalhos com o efeito túnel em supercondutores).

que queriam estudar. Um dos desafios, de acordo com os autores, era compreender a variação da corrente de tunelamento em função da distância entre a ponta da agulha e a superfície a ser estudada. Outro problema seria o controle preciso dos deslocamentos da agulha. Ambos foram resolvidos em 1981. Binning e Rohrer publicaram em 1982 suas descobertas. Aparentemente, o protótipo construído ainda se destinava a realizar a varredura das superfícies a serem estudadas. Entretanto, ao utilizarem seu equipamento, Rohrer e Binning obtiveram o seguinte resultado:

[...] em vez de registrar degraus regulares como esperavam para a superfície “lisa” de sua amostra, as linhas de varredura fizeram aparecer, no outono de 1982, uma série de pequenas corcovas: o perfil registrado pelo instrumento fornecia a exata topografia atômica da superfície do cristal objeto da varredura! O microscópio de tunelamento acabava de nascer [...]⁵⁶. (Joachim e Plévert, 2009, p.146)

Em um artigo com apenas quatro páginas, os autores concluem que a microscopia de tunelamento “*produz uma topografia tridimensional de uma superfície em uma escala atômica*” (Binning et al, 1982, p.60). Poucos anos depois, em 1987, James Gimzewski, da IBM em Zurique, conseguiu transportar algumas moléculas de ftalocianina com a agulha de um microscópio de tunelamento de um ponto a outro na superfície do equipamento e também obteve imagens dessas moléculas (Joachim e Plévert, 2009). Agora, era possível “ver” e “pegar” uma molécula!

No campo da eletrônica, o avanço na miniaturização de artefatos tecnológicos se torna ainda mais relevante quando se considera que a ideia de elétron como carga elementar foi proposta por Joseph John Thomson em 1898. Do elétron ao chip eletrônico se passaram pouco mais de cinco décadas. A partir da invenção do transistor, com o qual se abandonaram as válvulas termiônicas, foram criados os primeiros circuitos integrados em 1958, pelo físico e engenheiro elétrico Jack Kilby⁵⁷ da *Texas Instruments*. Nesse mesmo ano, segundo Joachim e Plévert (2009), Robert Noyce, da *Fairchild Semiconductor*,

⁵⁶ Conforme já mencionado, Heinrich Rohrer, Gerd Binning e Ernst Ruska receberam o Prêmio Nobel de Física de 1986.

⁵⁷ Jack Kilby, Zhores Alferov e Herbert Kroemer foram laureados com o Prêmio Nobel de Física de 2000 por suas contribuições para as tecnologias da informação.

fabricou o primeiro *chip* eletrônico, que consistia em instalar um conjunto de dispositivos eletrônicos em uma placa de silício, não havendo mais a necessidade de usar fios para conectar os seus componentes. Com isso, os artefatos tecnológicos poderiam ser menores, mais eficientes e mais baratos⁵⁸. Além disso, Joachim e Plévert (ibid.) destacam o uso dos chips em mísseis e foguetes, nos quais a miniaturização é de grande relevância⁵⁹. Os autores ressaltam ainda que Noyce se associou a Gordon Moore para fundarem a *Intel Corporation* e, em 1971, construíram o primeiro microprocessador. Chaves e Shellard (2005) afirmam ainda que as pesquisas sobre *laser*, fibras ópticas e polímeros eletrônicos, entre outras, também trouxeram contribuições decisivas para as tecnologias da informação e da comunicação.

Outro aspecto a destacar, conforme Chaves e Shellard (2005) e Joachim e Plévert (2009), foram as técnicas de fabricação dos circuitos integrados, em especial as gravuras das placas que servem de condutores elétricos em substituição aos fios. Em essência, trata-se da técnica de máscara e gravura que havia sido usada por James Prescott Joule para confeccionar escalas mais precisas em seus termômetros. Essa técnica, também chamada de litografia, consiste em riscar as conexões desejadas em uma placa protegida por alguma substância. Em seguida, essa placa é mergulhada em uma solução (ácido, por exemplo) que age nas regiões tracejadas da placa. De acordo com Joachim e Plévert (ibid.), para o caso dos circuitos integrados, utiliza-se fotolitografia, ou seja, recorre-se à luz para grafar os circuitos na placa. Segundo os autores, “*a resolução, isto é, a distância mínima entre dois pontos identificáveis num circuito, depende do comprimento de onda. Quanto mais curto, mais finos são os motivos reproduzidos e melhor sua resolução*” (ibid., p.36). Isso trouxe maior precisão e miniaturização na fabricação desses componentes eletrônicos. Ao mesmo tempo, trata-se de um entrave técnico para avançar na miniaturização. As técnicas mais recentes consistem em operacionalizar

⁵⁸ Joachim e Plévert (2009) ressaltam que, em 1965, os circuitos integrados continham cerca de 30 componentes e, em 2007, chegava a 250 milhões!

⁵⁹ Vale destacar que, nessa época, o Programa Espacial Americano estava em plena ascensão.

alternativas ao uso da luz, como o raio X e feixes de elétrons (Joachim e Plévert, 2009) ou o Microscópio de Força Atômica (AFM)⁶⁰ (Chaves e Shellard, 2005).

Em essência, busca-se diminuir o caminho percorrido pelos elétrons. Assim, outro obstáculo técnico para a miniaturização dos transistores se refere a fenômenos físicos que ocorrem na escala manométrica. Um deles é a *eletromigração*, que consiste no deslocamento dos átomos das linhas condutoras pelo fluxo de elétrons. Outro problema é a *corrente de fuga*⁶¹, a partir da qual as camadas isolantes dos dispositivos perdem essa propriedade na escala em questão. Joachim e Plévert (2009) destacam que a corrente de fuga é um fenômeno quântico indesejado que passou a ser considerado na fabricação dos dispositivos eletrônicos em escala nano⁶². Além disso, impurezas nos materiais utilizados se tornam muito significativas em pequenas escalas, oferecendo resistência à passagem dos elétrons. Com isso, os fenômenos quânticos também passaram a ocupar o tempo e a atenção dos engenheiros. Joachim e Plévert (ibid.) recordam ainda que justamente a ocorrência de tais fenômenos é utilizada por parte da comunidade de cientistas para definir a nanofísica. Os autores salientam também que a manifestação significativa dos fenômenos quânticos nos dispositivos eletrônicos, decorrentes da corrida pela miniaturização, serviu para que tais fenômenos fossem estudados profundamente, ao ponto de surgirem novas subáreas de pesquisa, como a eletrônica quântica e a spintrônica⁶³. Nessas novas abordagens, os efeitos quânticos deixam de ser evitados e passam a ser desejados. De fato, conforme ressaltam Chaves e Shellard (2005), “*uma descrição puramente quântica do dispositivo será imprescindível. Entrar no regime chamado quântico permite a exploração de novas formas de transferir e processar correntes elétricas ou informação*” (p.122). Há, portanto, novas linhas de pesquisa nas ciências

⁶⁰ *Atomic Force Microscope* (AFM) é um microscópio derivado dos Microscópios de Tunelamento.

⁶¹ Trata-se de uma manifestação do efeito túnel, já mencionado anteriormente.

⁶² Os autores ressaltam que fenômenos quânticos também são observados em transistores maiores que a escala manométrica, mas seus efeitos são menos significativos.

⁶³ A spintrônica utiliza o momento magnético (*spin*) do elétron como princípio de funcionamento. Em 2007, os físicos Albert Fert e Peter Grünberg receberam o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do efeito da Magnetoresistência Gigante (GMR – em inglês), contribuindo para o avanço da spintrônica.

básicas que poderão resultar em contribuições relevantes para o avanço em vários campos da tecnologia, em particular a eletrônica.

3.2. Da química aos grafenos

Além dos avanços na física e na eletrônica, Fernandes (2007) e Neri (2011) destacam uma descoberta no campo da química que consolidaria a nanotecnologia. Trata-se da descoberta do Buckminsterfulereno - o C_{60} . Harold Kroto, Robert Curl, Richard Smalley, e mais dois alunos de doutorado, Jim Heath e Sean O'Brien, publicaram em 1985 na *Nature* um artigo de duas páginas no qual descrevem sua descoberta (Kroto et al., 1985). Kroto, Curl e Smalley ganhariam o Prêmio Nobel de Química em 1996 pela descoberta dos fulerenos. Curiosamente, a experiência realizada pelos autores do artigo tinha outro objetivo e até mesmo um trabalho em colaboração entre eles era improvável.

O químico inglês Harold Kroto concluiu seu doutorado em espectroscopia molecular em 1964, na Universidade de Sheffield. Em seguida, passou três anos em estágio pós-doutoral no Conselho Nacional de Pesquisa, em Ottawa – Canadá (NRC – *National Research Council*), e no *Bell Laboratories*. Em 1967 voltou para a Inglaterra e tornou-se professor na Universidade de Sussex. Vale lembrar que naquela época o laboratório do Conselho Nacional de Pesquisa de Otawa era considerado a “meca” da espectroscopia, em grande medida pelos trabalhos do químico Gerhard Herzberg, que ganharia o Nobel de Química de 1971, por seus trabalhos sobre estrutura eletrônica e geometria de moléculas⁶⁴.

Robert Curl, químico norte-americano, doutorou-se na Universidade da Califórnia – Berkeley em 1957, utilizando espectroscopia do infravermelho para investigar a estrutura molecular da Disiloxane (Si_2H_6O). No ano seguinte, foi para Harvard para realizar seu pós-doutorado trabalhando agora com microscopia de micro-ondas. Nesse mesmo ano aceitou um posto de professor

⁶⁴ Informações obtidas em [<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry>].

assistente na Universidade de Rice, continuando suas pesquisas com espectroscopia de micro-ondas e microscopia a laser⁶⁵.

A trajetória acadêmica do norte-americano Richard Smalley foi um pouco diferente. Após graduar-se em química na Universidade de Michigan, Smalley foi trabalhar na indústria química, mais precisamente em uma fábrica de polipropileno da *Shell Chemical Company*. Quatro anos depois, iniciou seu doutorado em química na Universidade de Princeton, tendo concluído em 1973 com pesquisas no campo da espectroscopia molecular. Seguiu para um pós-doutorado na Universidade de Chicago, trabalhando agora com a espectroscopia a laser. Nesse período, Smalley conviveu com importantes espectroscopistas, como Donald Levy e Lennard Wharton, pioneiros em algumas técnicas de espectroscopia com laser. Em 1976 tornou-se professor assistente na Universidade de Rice, sendo que já conhecia os trabalhos que Curl vinha desenvolvendo na microscopia a laser⁶⁶. Assim, Smalley e Curl iniciaram uma colaboração que os levaria, juntamente com Kroto, a uma das descobertas mais importantes da nanotecnologia e, por consequência, ao Prêmio Nobel de Química de 1996. Antes disso, no entanto, algumas áreas de pesquisa sobre espectroscopia já anunciavam novas descobertas relevantes.

Kroto (1992) destaca que no início da década de 1970 seu grupo de pesquisa da Universidade de Sussex trabalhava com a química do carbono e a síntese de compostos com ligações entre o carbono e outros elementos, como o fósforo e o enxofre, e entre carbono – carbono. Além de compreender a estrutura molecular dessas substâncias, buscava-se técnicas mais eficientes de síntese e caracterização das moléculas produzidas por meio da espectroscopia de micro-ondas e de fotoelétrons. Kroto (ibid.) ressalta ainda que mantinha seu interesse pelas grandes cadeias de carbono e suas características físico-químicas, com as quais havia se familiarizado em seu doutorado. Nesse período, outro químico de Sussex, David Walton, conseguiu sintetizar longas cadeias com vinte e quatro carbonos em quantidades que permitiam, por exemplo, estudar a

⁶⁵ Informações obtidas em [<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry>].

⁶⁶ Informações obtidas em [<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry>].

dinâmica das rotações da molécula no espectrômetro de micro-ondas recém-instalado naquela Universidade.

Entretanto, Kroto (1992) afirma que nesse mesmo período alguns avanços em outra área de pesquisa chamou sua atenção: a radioastronomia. Ao estudar os gases presentes no nascimento de estrelas e planetas, os astrônomos identificaram não apenas moléculas bem conhecidas como encontraram novas moléculas. Segundo o autor, o espaço passou a oferecer uma gama de “*moléculas exóticas em um amplo espectro de ambientes físico-químicos*” (ibid., p.113). Em Sussex, uma das moléculas do interesse de Kroto era a HC_5N (do grupo dos *cyanopolyynes* HC_nN), em particular porque apresentava uma dinâmica molecular característica. Ao saber da detecção da molécula HC_3N no espaço, Kroto entrou em contato com seus colegas do NRC para procurarem a HC_5N , já que as frequências das duas moléculas eram similares. Como bem ressalta Neri (2011), a espectroscopia trabalha por meio de comparações entre as raias espectrais emitidas por uma fonte, cujos elementos ou composição química são conhecidas, e as raias espectrais emitidas pela fonte a ser estudada ou absorvidas pelo espaço entre a emissão e a recepção. Por isso, é relevante a obtenção das técnicas de síntese de moléculas a serem estudadas, bem como o conhecimento de seu espectro, como Kroto e Walton faziam em Sussex.

Assim, em 1975, a molécula de HC_5N foi encontrada no espaço, com a participação dos astrônomos Lorne Avery, Norm Broten, Takeshi Oka e John MacLeod do NRC (Kroto, 1992). Na sequência, encontraram também a molécula de HC_7N no espaço, graças à obtenção de seu espectro por um aluno de Walton em Sussex, Colin Kirby. Isso foi decisivo para outras descobertas que se sucederam e, por isso, Kroto afirma que, quando o osciloscópio detectou o sinal de HC_7N interestelar, foi um momento “*com o qual os cientistas sonham e, como um afago, compensa por todo o trabalho duro e as decepções que são endêmicas na vida*” (ibid., p.113). Na sequência, foram detectadas outras moléculas da família HC_nN .

A partir disso, Kroto (1992) passou a se interessar também pelo estudo das cadeias de carbono presentes no espaço. Segundo Kroto, “*a busca pela origem desses compostos tornou-se uma espécie de preocupação (até mesmo*

uma obsessão)” (ibid., p.114). Com os resultados de outras pesquisas sobre esse tema, Kroto admitia que a origem dessas cadeias de carbono poderia ser as gigantes vermelhas e as estrelas de carbono. Na mesma época, os astrônomos se ocupavam de um fenômeno conhecido como Bandas Interestelares Difusas, que se refere a regiões de absorção do espectro em algumas regiões da Via Láctea. Uma das questões era saber o que provocava essa absorção. Algumas hipóteses indicavam sua origem na poeira interestelar ou em moléculas formadas por elementos abundantes no espaço. Em uma aparente tendência à poeira cósmica como principal hipótese pela comunidade, Smith, Snow e York (1977) defendiam que seria precipitado abandonar a origem molecular. Em 1977, Alexander Douglas, que havia trabalhado com Kroto no NRC, publicou um artigo sugerindo que moléculas de carbono poderiam estar associadas às bandas difusas (Snow e Destree, 2011).

A essa altura, Kroto conjecturava a possibilidade de uma gigante vermelha conter moléculas de carbono e partículas com alto teor de carbono, como uma fuligem (Kroto, 1982, 1992). Em 1984, Kroto encontrou Robert Curl em uma conferência nos Estados Unidos e foi convidado a visitar o laboratório de Smalley na Universidade de Rice. Nessa oportunidade, conheceu os resultados da análise do espectro da molécula de SiC₂ (carbeto de silício) obtida por Smalley, bem como as técnicas que usava. Segundo suas palavras, *“neste experimento em particular o SiC₂ foi vaporizado e seu espectro eletrônico observado. Eu estava muito impressionado com os resultados e, mais ainda, com a técnica experimental”* (Kroto, 1992, p.114). Os resultados obtidos por Smalley chamaram a atenção de Kroto porque se aproximavam de resultados teóricos não esperados obtidos em Sussex. Além disso, Smalley e colaboradores haviam construído um espectroscópio que vaporizava amostras por meio de um feixe de laser, o *laser vaporization cluster-beam apparatus* (equipamento de feixe de vaporização a laser). De acordo com Kroto,

O que mais me entusiasmou, porém, foi pensar que pela simples substituição do carbeto de silício por grafite, poderia ser possível simular o ambiente químico que ocorre na atmosfera de uma estrela de carbono e produzir longas cadeias de carbono. Com o passar do dia, fiquei cada vez mais convencido de que a técnica era perfeita para esse propósito e naquela noite discuti isso com Curl. Por causa do seu interesse em espectroscopia de micro-ondas, ele ficou imediatamente

animado, e nós fizemos planos para um projeto em conjunto na esperança de que Smalley também pudesse ficar interessado. (Kroto, 1992, p.114)

Parece que esse momento foi o embrião do trio que ganharia o Nobel de Química de 1996. Curl e Kroto perceberam que poderiam testar empiricamente algumas ideias que haviam sido propostas por outros pesquisadores, entre eles, Alexander Douglas, mais especificamente, de que o carbono poderia ser a causa das bandas interestelares difusas. No entanto, Kroto relata que, como “*o projeto não foi considerado uma prioridade pelo grupo da Universidade de Rice naquele momento, isso teve que esperar uma vaga na sua agenda*” (Kroto, 1992, p.114). Harold Kroto retornou a Sussex e, enquanto isso, pesquisadores da Exxon, que possuíam equipamento similar ao de Smalley e trabalhavam em conjunto com seu grupo, realizaram um experimento de vaporização do grafite e encontraram uma nova família de aglomerados de carbono, de C_{30} a C_{190} (Kroto, 1992). Em relação a essa espera pelo uso do equipamento de Smalley, Kroto destaca que:

Os estudos de aglomerados de silício e germânio estavam no cardápio de Rice em agosto de 1985, devido a suas implicações para os semicondutores. Esses experimentos foram considerados importantes porque os resultados poderiam ter aplicações úteis. O projeto carbono, por outro lado, não foi pensado para ter possíveis aplicações (exceto para astrônomos) e foi completado rapidamente, causando o menor atraso possível no estudo dos semicondutores. (Kroto, 1992, p.115)

Ao que parece, interesses mais imediatos atrasaram consideravelmente os experimentos pensados por Kroto e Curl, colocando em risco a autoria da descoberta que seria reconhecida mais tarde como um dos paços mais significativos na nanotecnologia. Mas, 18 meses após a primeira visita na Universidade de Rice, Kroto finalmente iniciaria seus testes: “*Meus experimentos começaram no domingo, 1 de setembro de 1985. Trabalhei no laboratório acompanhado por dois estudantes, Jim Heath e Sean O’Brien, uma experiência estimulante; Yuan Liu também estava envolvido*” (Kroto, 1992, p.115). De fato, Kroto não queria perder tempo. Trabalharam durante a noite explorando algumas variações de reações até que “*os experimentos confirmaram imediatamente que a química nas estrelas gigantes vermelhas*

poderia ser responsável pelas cadeias de carbono interestelares” (ibid.). Nos dias que se seguiram, novos resultados promissores foram obtidos e os interesses se voltaram para o “projeto carbono”. Outros aglomerados de carbono foram identificados, com destaque para o C₆₀.

A questão agora era descobrir o que, afinal, seria o C₆₀ que se mostrava proeminente nos gráficos dos espectros de massa dos aglomerados obtidos e como seria sua estrutura molecular⁶⁷. Segundo Kroto (1992), a hipótese de uma forma esferoide começou a ganhar força no grupo: “*uma possibilidade que consideramos foi que o laser teria arrancado flocos hexagonais de carbono da superfície do grafite e que essas estruturas quentes haviam de alguma forma se enrolado sobre si mesmas em gaiolas fechadas*” (ibid., p.116). Isso explicaria também a não reatividade da molécula. Kroto (1992) afirma que imediatamente se lembrou da cúpula geodésica que havia conhecido em Montreal. Essa estrutura esférica é composta por hexágonos intercalados por pentágonos e foi projetada para a EXPO 67 em Montreal pelo arquiteto norte-americano Richard Buckminster Fuller (1895-1983)⁶⁸. Fuller se notabilizou por projetar essa estrutura arquitetônica que oferece máxima eficiência estrutural⁶⁹.

Nos dias que se seguiram, a estrutura molecular inspirada na cúpula geodésica de Fuller tornou-se consenso, levando-os a buscar mais informações sobre a geometria dessas estruturas. Trata-se de um icosaedro truncado, composto por 60 vértices e 32 faces, sendo 12 pentagonais e 20 hexagonais. Diante disso, o passo seguinte seria dar um nome ao novo composto. Kroto (1992) sugeriu buckminsterfullereno (*buckminsterfullerene*), o que foi aceito por Curl e Smalley, ainda que parecesse um pouco longo. Os demais aglomerados de carbono também identificados nos experimentos fariam parte da família dos fulerenos. O artigo escrito por Kroto, Curl e Smalley, além dos estudantes Heath e O’Brien, foi enviado para a *Nature* em 11 de setembro de 1985 e publicado em

⁶⁷ O C₆₀ foi o mais abundante, mas outros aglomerados também foram observados (Kroto, 1992).

⁶⁸ No artigo de Kroto, et al. (1985), intitulado C₆₀: Buckminsterfullerene, a imagem de uma bola de futebol é apresentada para ilustrar a forma proposta para o C₆₀. Curiosamente, Kroto (1992) recorda que inicialmente ninguém do grupo havia relacionado a estrutura da cúpula à bola de futebol. Essa indicação foi feita por um matemático que Smalley havia consultado.

⁶⁹ Kroto destaca que havia ficado impressionado com a estrutura projetada por Fuller quando visitou a EXPO 67 e que se dedicou a conhecer outros trabalhos do arquiteto.

14 de novembro do mesmo ano (ibid.). Estava descoberto o caminho para uma nova forma alotrópica do carbono puro, somando-se ao diamante e ao grafite, já conhecidos. Entretanto, conforme foi mencionado anteriormente, o objetivo do experimento feito por Kroto não era encontrar o C₆₀. O Resumo do artigo é esclarecedor:

Durante experimentos com o objetivo de compreender os mecanismos pelos quais longas cadeias de moléculas de carbono são formadas no espaço interestelar e suas cercanias, grafite foi vaporizado por irradiação a laser, produzindo um aglomerado notavelmente estável composto por 60 átomos de carbono. Em relação à qual tipo de estrutura de 60 átomos de carbono que poderia dar origem a uma espécie superestável, sugerimos um icosaedro truncado, um polígono com 60 vértices e 32 faces, 12 das quais são pentagonais e 20 hexagonais. Essa forma é comumente vista como a bola de futebol mostrada na Figura 1. A molécula C₆₀ que resulta quando um átomo de carbono é colocado em cada vértice desta estrutura tem todas as valências satisfeitas por duas ligações simples e uma ligação dupla, tem muitas estruturas de ressonância e parece ser aromático. (Kroto et al., 1985, p.162)

O objetivo principal era reproduzir o ambiente físico-químico do espaço interestelar e verificar se seria possível obter cadeias de carbono. Essa hipótese já fazia parte da literatura disponível e o próprio Kroto (1992) reconhece citando algumas delas. Entretanto, Kroto (ibid.) afirma que poucos “*deram notícias desses voos pioneiros da imaginação*” (p.119). Uma grande vantagem de Kroto, Curl e Smalley foi reconhecer a importância do que haviam descoberto. Neri (2011) ressalta que na década de 1970 já havia pesquisas acerca de moléculas estáveis de carbono, inclusive com sugestões sobre sua estrutura em forma de gaiolas. A própria forma de um icosaedro truncado havia sido proposta por Eiji Osawa e A. Haymet (Osawa, 1970; Yoshida e Osawa, 1971; Haymet, 1986). A novidade foi a obtenção de um aglomerado estável e abundante em relação aos demais, indicando possuir, pelo espectrômetro de massa, 60 átomos de carbono⁷⁰. O passo seguinte seria estudar suas propriedades. Novos experimentos foram realizados em Rice e os principais objetivos eram:

Primeiro, produzir C₆₀ suficiente para provar sem sombra de dúvida que nossa estrutura estava correta e, segundo, medir o espectro óptico do C₆₀ o qual nós tínhamos admitido ser, de alguma maneira, o responsável pelas Bandas Interestelares Difusas. Esse aspecto astronômico tinha sido, é claro,

⁷⁰ O C₇₀ também era relativamente abundante.

parcialmente responsável pelo experimento com aglomerados de carbono em um primeiro momento. (Kroto, 1992, p.119)

Nos anos seguintes à descoberta do C_{60} os novos experimentos, feitos inclusive pelos grupos de Rice e Sussex, foram favoráveis aos resultados publicados em 1985, especialmente em relação à estrutura de uma gaiola fechada para o aglomerado de carbono. Havia um desafio em propor uma estrutura para as demais moléculas com número de átomos diferente de 60. Kroto, Curl, Smalley e colaboradores haviam proposto uma estrutura para o C_{70} na forma de uma bola de futebol alongada, com 37 faces, sendo 25 hexagonais e 12 pentagonais, ou seja, 5 hexágonos a mais que a estrutura do C_{60} . A geometria para compor estruturas fechadas formadas por pentágonos e hexágonos já era conhecida dos matemáticos. Assim, em 1987, Kroto publicou um artigo intitulado “*The stability of fullerenes C_n , with $n=24, 28, 32, 36, 50, 60$ e 70* ” (Kroto, 1987). Nesse artigo, Kroto apresenta argumentos químicos e geodésicos associando a estabilidade das moléculas às formas de cúpulas (gaiolas) fechadas das suas estruturas.

Outros pesquisadores também passaram a investigar as gaiolas de carbono e suas propriedades, levando Kroto a concluir que havia uma família inteira de moléculas com estruturas em forma de gaiolas para serem estudadas (Kroto, 1992). Alguns experimentos, incluindo-se os pesquisadores de Rice, buscavam “aprisionar” outros átomos dentro das gaiolas, o que forneceria dados empíricos favoráveis ao modelo de estrutura proposto em 1985. Outros experimentos tentavam compreender o mecanismo de formação da fuligem e, por hipótese, identificar a presença de fulerenos como um subproduto. Novos experimentos apoiaram essa ideia.

Kroto e seus colaboradores de Sussex seguiram nas pesquisas sobre as estruturas dos fulerenos, incluindo-se os chamados fulerenos gigantes, com um número de carbonos muito acima dos C_{70} . Kroto trabalhou com modelos para 240 e 540 carbonos, entre outros. Em meio a tais estudos, Kroto se deparou com modelos que lembravam imagens obtidas por microscópio eletrônico de micropartículas de grafite que haviam sido publicadas em 1980 por Sumio Iijima, da Universidade do Estado do Arizona. Iijima (1980) conjecturou que as

partículas tinham estrutura de grafite com ligações carbono – carbono e algumas ligações tetraédricas. As imagens revelaram formas esferoidais concêntricas e “*contém, por vezes, camadas únicas de grafite que formam conchas fechadas com formas poliédricas*” (ibid., p.682). Entretanto, parece que Iijima não reconheceu a importância do que havia identificado. Segundo Kroto (1992), seus modelos para os fulerenos gigantes explicariam aquelas imagens obtidas por Iijima.

No entanto, ainda havia uma busca a ser feita em relação aos fulerenos: produzir uma quantidade macroscópica de C_{60} para testar seu modelo estrutural e suas propriedades com outros experimentos além do espectrômetro de massa. Além de Kroto, pesquisadores de outras instituições também assumiram esse desafio. Em 1990, Wolfgang Krätschmer, do Instituto Max Plank, seu aluno de doutorado Konstantinos Fostiropoulos, e Donald Huffman, da Universidade do Arizona, publicaram uma série de artigos nos quais descrevem, entre outros resultados, técnicas para obtenção de quantidades significativas de fulereno em fumaça de carbono por meio da vaporização do grafite. As conclusões desses trabalhos foram um alento para Kroto, Curl e Smalley:

Por essa razão, acreditamos que produzimos a primeira amostra relatada de Buckminsterfulereno em quantidades suficientes para fazer espectroscopia de absorção ultravioleta e infravermelho. Para futuros estudos das propriedades do C_{60} pode ser possível extrair grandes quantidades dessa molécula das amostras de fumaça. (Krätschmer, Fostiropoulos e Huffman, 1990a, p.169)

Em outro artigo, os autores reforçam a relevância dos resultados obtidos, afirmando que “*as várias propriedades físicas e químicas do C_{60} agora podem ser medidas e especulações relativas aos seus potenciais usos podem ser testadas*” (Krätschmer, Fostiropoulos e Huffman; 1990b, p.357). Kroto conhecia as pesquisas que esse grupo estava desenvolvendo e chegou a tentar uma aproximação, o que acabou não ocorrendo (Kroto, 1992). Os resultados obtidos pelo grupo de Krätschmer por meio de análises de espectroscopia de massa, infravermelho, difração de elétrons e de raios-X consolidavam o modelo proposto por Kroto, Curl e Smalley para os fulerenos. Daí em diante, as pesquisas que se seguiram aprimoraram as técnicas de síntese e caracterização dos fulerenos bem como os aspectos teóricos que explicavam as características

físico-químicas do modelo proposto em 1985. Neri (2011) ressalta que uma das técnicas que apresentou resultados significativos consistia em vaporizar o grafite com arco elétrico, tendo sido usada pelo grupo de Krätschmer. Além disso, seu grupo aprimorou as técnicas para separar o C₆₀ da fuligem residual formada utilizando métodos físicos, diferindo, portanto, dos experimentos iniciais feitos em Rice e Sussex, que recorriam a métodos químicos.

De acordo com Kroto (1992), seu grupo em Sussex também havia tentado o método do arco elétrico e estava próximo de conseguir produzir o C₆₀ em quantidades suficientes para uma espectroscopia de NMR (*Nuclear Magnetic Resonance* – Ressonância Magnética Nuclear). Os artigos de Krätschmer colocaram pressão sobre o grupo para obter resultados. Para o grupo de Sussex, iniciou-se uma corrida após a publicação dos trabalhos de Krätschmer:

Nós tínhamos que agir rapidamente se cinco anos de esforços não foram em vão. Uma corrida deve começar porque agora era fácil produzir o material, e não demoraria muito até outros grupos, mais bem equipados que nós, reconhecer que havia um último grande prêmio restante na história da descoberta do C₆₀ – a linha da NMR. (Kroto, 1992, p.125)

Naquele mesmo ano de 1990, Kroto e seus colegas de Sussex conseguiram produzir amostras suficientes de C₆₀ para as análises espectroscópicas e finalmente haviam obtido os espectros NMR do C₆₀ e de outros fulerenos. Esse foi um paço decisivo para conhecer as propriedades físico-químicas dessas novas moléculas e avançar inclusive em suas aplicações.

Mas, em novembro de 1991, o físico japonês Sumio Iijima⁷¹, da *Nippon Electric Company (NEC – Corporation)*, publicou um artigo na revista *Nature* intitulado “*Helical microtubules of graphitic carbono*” que despertou grande interesse dos pesquisadores de nanoestruturas de carbono e impulsionou ainda mais a nanotecnologia. Nesse artigo, de pouco mais de duas páginas, Iijima descreve “*a preparação de um novo tipo de estrutura finita de carbono consistindo em tubos em forma de agulhas*” (Iijima, 1991, p.56), destacando que “*a formação dessas agulhas, variando em algumas dezenas de nanômetros de diâmetro, sugere que a engenharia de estruturas de carbono pode ser possível*

⁷¹ Iijima recebeu o Prêmio Príncipe de Astúrias em Pesquisa Científica e Técnica em 2008.

em escalas consideravelmente maiores do que aquelas encontradas nos fulerenos” (ibid.). Iijima afirma que usou o método de evaporação do grafite por arco elétrico similar ao empregado na síntese dos fulerenos para obter uma variedade de estruturas gráficas que variam de 4 a 30 nanômetros de diâmetro e até 1 micrômetro de comprimento. Essas primeiras estruturas descritas por Iijima consistiam em tubos com mais de uma camada formada por hexágonos de carbono. Tais estruturas ficaram conhecidas como nanotubos de carbono e promoveram um avanço considerável na nanotecnologia.

Em 1993, Iijima publica na revista *Nature* um novo artigo intitulado “*Single-shell carbono nanotubes of 1 nm diameter*”, no qual descreve a produção de nanotubos com apenas uma camada de hexágonos de carbono. Iijima destaca a relevância dessa síntese para estudar as propriedades dos nanotubos e compreender melhor suas aplicações, incluindo-se as propriedades e modelos propostos para os nanotubos com mais camadas de carbono, descobertos em 1991 (Iijima e Ichihashi, 1993).

Entretanto, outros pesquisadores também haviam detectado estruturas similares às aquelas descritas por Iijima em 1993, por exemplo, o grupo da IBM da Califórnia (Bethune et al., 1993). No entanto, já havia alguns relatos publicados que descreviam estruturas similares desde a década de 1950. De fato, parece haver certa controvérsia em relação à precedência e à descoberta dos nanotubos. Monthioux e Kuznetsov, editores da revista *Carbon*, publicaram em 2006 um Editorial com a finalidade de desfazer o que entendem ser um erro histórico em atribuir a Iijima a descoberta dos nanotubos. Os editores fazem referência a um artigo de 1976 (Oberlin, Endo e Koyama, 1976) que apresentava imagens semelhantes às estruturas descritas por Iijima e Bethune. Ao mesmo tempo, reconhecem o seguinte: “*não há dúvidas que o trabalho sobre MWCNT [nanotubos de multicamadas] foi impulsionado pelo relato feito por Iijima em 1991*” (Monthioux e Kuznetsov, 2006, p.1621). Todavia, recordam que tanto o experimento de Iijima quanto de Bethune buscavam produzir fulerenos e teriam encontrado os nanotubos por acidente.

Os Editores seguem resgatando trabalhos anteriores que relatam estruturas similares aos nanotubos. Entre eles, o artigo de dois pesquisadores

russos (Radushkevich e Lukyanovich, 1952) publicados em suas línguas e, portanto, de difícil acesso. De fato, Monthioux e Kuznetov (2006) afirmam que *“a Radushkevich e Lukyanovich deveria ser creditada a descoberta de que os filamentos de carbono podem ser ocos e ter um diâmetro manométrico, ou seja, a descoberta dos nanotubos de carbono”* (p.1622). Por fim, os Editores apontam duas possíveis causas para que o artigo de Iijima de 1991 tenha sido responsável pela atenção dada daí em diante para os nanotubos e, por vezes, visto como o descobridor dessas estruturas. A primeira, refere-se ao fato de que parte da comunidade interessada nessa literatura era composta por engenheiros e, portanto, pouco preocupados com as pesquisas básicas. A segunda, diz respeito aos canais de divulgação utilizados. Iijima publicou seu artigo na revista *Nature*, bem conhecida e visitada pelos cientistas, e fez referências às pesquisas relacionadas aos fulerenos. Em suas palavras: *“com efeito, ninguém da comunidade do material de carbono daquela época estava pronto para admitir que nanotubos construídos com uma única camada de carbono poderia existir”* (ibid., p.1621).

Ou seja, a comunidade não estava procurando os nanotubos e fatores como a maturidade da ciência, incluindo-se limitações técnicas dos microscópios da época, e a incapacidade para pensar na escala nano foram, segundo Monthioux e Kuznetov (2006), fatores importantes. Curiosamente, Iijima publicou um artigo em 2002 na revista *Physica B* que se inicia com a seguinte frase: *“em 1991, eu descobri microtubos de carbono grafitico com diâmetros externos de 4-30 nm e um comprimento de até 1 micrômetro”* (Iijima, 2002, p.1). Monthioux e Kuznetov (2006) apresentam uma série de trabalhos que fazem referência a estruturas que remetem aos chamados nanotubos, incluindo-se pedidos de patentes para sua produção, que são anteriores ao artigo de Iijima e até mesmo à descoberta dos fulerenos. Um fato decisivo nessa disputa, desfavorável ao físico japonês, foi que em 2010 os físicos russos naturalizados britânicos Andre Geim e Konstantin Novoselov foram laureados com o Prêmio Nobel de Física por suas pesquisas sobre o grafeno. Sumio Iijima não foi laureado. Entretanto, Dresselhaus e Araujo (2010) destacam que os trabalhos de Iijima foram fundamentais para preparar os

pesquisadores em nanoestruturas de carbono para reconhecerem a importância das pesquisas de Geim e Novoselov sobre os grafenos.

Andre Geim fez toda sua formação em física na Rússia, trabalhou em algumas universidades da Europa e, em 2001, estabeleceu-se na Universidade de Manchester, Reino Unido. Konstantin Novoselov se graduou na Rússia, seguiu para a Holanda e fez seu doutorado sob a orientação de Geim. Acompanhou Geim para o Reino Unido e também se instalou em Manchester. Geim é um físico com sólida formação experimental e costumava construir alguns experimentos sem muitas expectativas iniciais. Novoselov, entre outros, era adepto desses experimentos⁷². Um dos experimentos feitos por Geim e colaboradores é bastante peculiar e ficou muito conhecido, antes mesmo de ser laureado com o Nobel. Trata-se de um experimento em que fizeram um pequeno sapo flutuar em um campo magnético de alta intensidade. Desde então, as imagens desse experimento são comuns em materiais didáticos sobre eletromagnetismo. Esse experimento rendeu a Geim o Prêmio igNobel de Física de 2000⁷³.

Entretanto, Geim, Novoselov e colaboradores publicaram em 2004 na revista *Science* um artigo intitulado “*Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*” (Novoselov et al., 2004). No início do artigo, os autores destacam o estado atual dos materiais utilizados na eletrônica afirmando que:

Como a indústria de semicondutores está chegando ao limite de melhorias de desempenho das atuais tecnologias dominadas pelo silício, há uma constante busca por novos materiais não tradicionais cujas propriedades podem ser controladas pelo campo elétrico. (Novoselov et al., 2004, p.666)

Em seguida, Geim e Novoselov destacam os avanços proporcionados pelos condutores orgânicos e os nanotubos de carbono e a importância que teria para a eletrônica moderna a possibilidade de se obter placas muito finas de metais para superar as limitações conhecidas, ao mesmo tempo em que ressaltam as dificuldades técnicas enfrentadas para isso. Em suas palavras: “*filmes tão finos tendem a ser termodinamicamente instáveis, tornando-se*

⁷² Informações extraídas do sítio oficial The Nobel Prize.

⁷³ O Prêmio foi compartilhado com Michael Berry [<http://improbable.com/ig-about>].

descontínuos em espessuras de vários nanômetros; até agora isso provou ser um obstáculo intransponível para a eletrônica metálica” (Novoselov et al., 2004, p.666). Após essa hábil introdução, Geim e colaboradores anunciam o propósito do seu artigo:

Relatamos a observação do efeito do campo elétrico em ocorrência natural em um material bidimensional conhecido como grafeno de poucas camadas (FLG). Grafeno é o nome dado a uma única camada de átomos de carbono densamente embalado em uma estrutura de anel benzênico e é amplamente usado para descrever propriedades de muitos materiais a base de carbono, incluindo grafite, fulerenos, nanotubos etc. (por exemplo, nanotubos de carbono são geralmente considerados como folhas de grafeno enroladas em cilindros manométricos). (Novoselov et al., 2004, p.666)

O grafeno já havia sido sintetizado na década de 1960⁷⁴ pelo químico alemão Hanns-Peter Boehm e colaboradores. Boehm et al. (1962) descrevem a produção de folhas muito finas de carbono obtidas a partir de óxido grafítico. No entanto, ainda se sabia pouco sobre tais estruturas naquela época e as técnicas para sua análise eram inferiores às aquelas disponíveis alguns anos depois. Apesar dessas limitações, Dresselhaus e Araujo (2010) afirmam que *“embora os instrumentos de caracterização em 1962 fossem primitivos se comparados com os disponíveis hoje, o trabalho de Boehm é notável por sua clareza e originalidade”* (p.6297). Em 1994, Hanns-Peter Boehm, Ralph Setton e Eberhard Stumpp, em resposta a uma nomeação do Comitê Internacional para Caracterização e Terminologia do Carbono e Grafite, apresentaram recomendações para a nomenclatura e terminologia para compostos de intercalação de grafite (Boehm, Setton e Stumpp, 1994). De acordo com os autores:

(...) não é correto falar de “camadas de grafite” quando se refere a folhas de carbono bidimensionais simples. Mesmo os termos “camadas de carbono” ou “folhas de carbono” são inadequados. O sufixo -eno é usado para hidrocarbonetos aromáticos policíclicos fundidos, mesmo quando a raiz do nome é de origem usual, por exemplo, naftaleno, antraceno, coroneno etc. Uma única camada de carbono de estrutura grafítica pode ser considerada como o membro final dessa série, portanto, o termo grafeno deveria ser usado para designar as camadas individuais de carbono em compostos de intercalação de grafite. (Boehm, Setton e Stumpp, 1994, p. 1895)

⁷⁴ Dresselhaus e Araujo (2010) também fazem referência a trabalhos anteriores a essa data.

Na sequência do artigo, os autores oferecem informações técnicas para as recomendações propostas. Assim, por que Geim e Novoselov são considerados os grandes nomes nas pesquisas sobre grafeno, a ponto de serem agraciados com o Nobel de Física?

Dresselhaus e Araujo (2010) fornecem uma importante pista. Segundo os autores, Geim e Novoselov não apenas apresentaram um processo simples para a obtenção de grafeno como ofereceram estudos detalhados das propriedades dessa nova estrutura que, até então, eram pouco conhecidas. Além disso, “*o grafeno fornece a peça que faltava no quebra-cabeça das nanoestruturas de carbono*” (ibid., p.6297). Referindo-se também aos trabalhos de Kroto, Curl e Smalley sobre os fulerenos e Iijima sobre os nanotubos, os autores ressaltam que:

Os numerosos pesquisadores que trabalham com nanoestruturas de carbono foram idealmente posicionados para apreciar a importância da publicação de Geim e Novoselov em 2004, anunciando um método simples notável para preparar monocamadas de grafeno e apresentando medidas físicas inovadoras sobre o grafeno que a comunidade de pesquisa poderia reproduzir facilmente, expandir e se encaixar no quebra-cabeças da fabricação das nanoestruturas de carbono e na estrutura mais ampla da ciência de fronteira. (Dresselhaus e Araujo, 2010, p. 6297)

De fato, no artigo de 2004, Geim e Novoselov descrevem a obtenção de grafeno por meio de uma técnica muito simples. Os experimentos realizados tinham como objetivo investigar as propriedades de condução do grafite. Em um desses experimentos, Geim e seu grupo esfoliou barras de grafite com fita adesiva comum e iniciaram um estudo desse material. Observaram que haviam extraído lâminas hexagonais de carbono. Basicamente, eles resolveram estudar materiais descartáveis. Ou seja, por muitos anos, vários pesquisadores jogavam grafeno no lixo sem se dar conta. No entanto, os estudos das propriedades dessa nova estrutura apresentada por Geim e colaboradores rapidamente despertaram a atenção de uma ampla gama de pesquisadores, pois tais propriedades anunciavam aplicações científicas e tecnológicas muito promissoras, o que se mostrou verdadeiro nos anos seguintes. Geim e seu grupo publicaram um novo artigo em 2005 (Novoselov et al., 2005) aprofundando ainda mais suas pesquisas sobre os grafenos. Com isso, e com as pesquisas que se seguiram, a

nanociência e a nanotecnologia tiveram avanços muito significativos em vários campos de pesquisa e de aplicações.

3.3. Rumo às nanomáquinas

Haveria um limite para a miniaturização dos dispositivos eletrônicos? De acordo com Chaves e Shellard (2005), essa tendência à miniaturização chegará ao limite de alguns poucos átomos. Nessas dimensões, segundo os autores, “*os fenômenos quânticos dominarão os processos físicos*” (ibid., p.118). No entanto, esse obstáculo “*pode ser pensado como uma dificuldade ou de forma otimista como uma grande oportunidade de gerar circuitos baseados em novos conceitos ou novas arquiteturas*” (ibid.). Joachim e Plévert (2009) chamam a atenção para um conhecimento que está fora dos campos específicos da física e da química: a bioquímica. Os autores apontam a década de 1960 como o período em que as pesquisas permitiram compreender muito acerca das macromoléculas, como as proteínas, as enzimas e o DNA. Essas moléculas desempenham funções muito específicas, como acelerar reações, transmitir informações ou transportar outras moléculas. Seria possível construir dispositivos similares? Naquela época não. Mas, o microscópio de tunelamento tornou isso possível.

Chaves e Shellard (2005) destacam as pesquisas do químico alemão Hermann Staudinger, que cunhou o termo macromolécula na década de 1920 e foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1953 por seus trabalhos em química macromolecular. Staudinger estabeleceu as bases para a síntese de polímeros. Isso levou, por exemplo, à síntese de polímeros orgânicos capazes de conduzir corrente elétrica na década de 1970, pelos químicos Alan MacDiarmid, Hideki Shirakawa e o físico Alan Heeger, ganhadores do Nobel de Química de 2000. Chaves e Shellard (ibid.) ressaltam que tais pesquisas contribuíram substancialmente para os avanços da eletrônica molecular e da nanoeletrônica.

A ideia de desenvolver moléculas capazes de realizar tarefas específicas já ocupava a agenda de pesquisas do século XX. Joachim e Plévert (2009)

recordam que o bioquímico Albert Szent-Györgyi⁷⁵ sugeriu, em 1947, que as proteínas poderiam se comportar como condutores de elétrons. Mas, segundo os autores, essa possibilidade tornou-se real no final da década de 1950, quando o químico Henry Taube sintetizou uma molécula e demonstrou que seria possível fazer com que um elétron se deslocasse de uma extremidade a outra da estrutura dessa molécula. Taube recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1983 por seus trabalhos acerca das reações de transferências de elétrons. E, já na década de 1970, o físico Ariele Aviram⁷⁶, dos laboratórios da IBM, e o químico Mark Ratner⁷⁷, da universidade de Nova York, construíram uma molécula que se comportava como um retificador elétrico, ou seja, permitia a passagem de elétrons em apenas uma direção. Nas palavras de Joachim e Plévert (ibid.): *“essa ideia de transformar uma molécula única num dispositivo eletrônico marcou os primórdios da eletrônica molecular”* (p.63). Tratava-se de um dispositivo eletrônico unimolecular.

Aviram continuou suas pesquisas na construção de dispositivos eletrônicos moleculares. Contudo, Joachim e Plévert (2009) destacam que havia algumas limitações. Uma limitação de ordem prática consistia em conectar fios a uma molécula. Outra, de ordem teórica, refere-se ao comportamento quântico do elétron, sugerindo a impossibilidade de localizar a onda associada e manipulá-lo. Chaves e Shellard (2005) apontam ainda dificuldades relativas ao aumento de temperatura dos condutores e do seu isolamento elétrico nas escalas em questão. Os autores ressaltam a relevância da descoberta dos nanotubos para a superação de algumas dessas dificuldades. Entretanto, um passo decisivo para a nanotecnologia foi dado em 1989, com as pesquisas de Donald Eigler e Erhard Schweizer, dos laboratórios da IBM. Eigler dispunha de um microscópio de tunelamento sofisticado e estudava a interação entre átomos de gases raros com superfícies metálicas. Segundo afirmam Joachim e Plévert (2009), a partir de algumas variações nos experimentos, Eigler observou que a varredura da agulha do microscópio deslocava alguns átomos, dependendo da

⁷⁵ Albert Szent-Györgyi recebeu o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1937, por suas pesquisas acerca da ação catalizadora da vitamina C.

⁷⁶ Christian Joachim, um dos autores do livro citado neste capítulo, trabalhou com Aviram na década de 1980. Trabalhou também com James Gimzewski.

⁷⁷ Ratner recebeu o Prêmio Feynman de Nanotecnologia (categoria Teórico) em 2001, por seus trabalhos com dispositivos eletrônicos em escala nano.

corrente aplicada. Ou seja, era possível transportar os átomos de um lugar para outro. Para registrar sua realização, Eigler e Schweizer escreveram em uma placa de Níquel a sigla IBM com 35 átomos de xenônio. A descrição dessa técnica foi publicada em um artigo na revista *Nature* em 1990. Os autores destacam o uso do microscópio de tunelamento em baixas temperaturas (4K) para posicionar átomos individualmente e afirmam que “o processo descrito é, em princípio, aplicável para moléculas também” (Eigler e Schweizer, 1990, p.524), salientando a relevância dessa técnica para a miniaturização de dispositivos. Desde então, conforme ressaltam Joachim e Plévert (2009), novas técnicas foram utilizadas e os microscópios de tunelamento passaram a ser comercializados. Um exemplo de técnica distinta da empregada por Eigler, destacam os autores, foi desenvolvida pouco depois nos laboratórios da Hitachi no Japão, que também conseguiram “escrever” com átomos em uma superfície semicondutora retirando átomos da placa em vez de deslocá-los⁷⁸.

A partir disso, o desafio seguinte seria deslocar moléculas, o que se tornou possível em meados da década de 1990, com os avanços das técnicas usadas nos microscópios de tunelamento e dos cálculos para interpretar com mais precisão as imagens obtidas. Manipular átomos e moléculas era possível. Mas, o passo seguinte seria tornar essa possibilidade aplicável, por exemplo, para produzir dispositivos funcionais na escala nano. Nesse mesmo período, as pesquisas que buscavam construir conexões elétricas com moléculas continuavam. Para isso, o movimento da ponta do microscópio de tunelamento exige extrema precisão e a estrutura das moléculas também exerce influências. Utilizando uma molécula de fulereno, Joachim e Gimzewski⁷⁹ conseguiram, pela primeira vez, realizar uma conexão elétrica com esta molécula (Joachim e Plévert, 2009).

Esse mesmo grupo de pesquisadores passou a trabalhar também com a possibilidade de controlar movimentos de rotação de moléculas. Conforme Joachim e Plévert (2009), no final da década de 1990 alguns resultados

⁷⁸ A mensagem escrita foi “PEACE 91 HCRL” (Hitachi Central Research Laboratory).

⁷⁹ James Gimzewski, Christian Joachim e Reto Schlittler receberam o Prêmio Feynman de 1997 (categoria Experimental) por seus trabalhos relativos à manipulação de moléculas. Joachim recebeu um segundo Prêmio Feynman (categoria Teórico) em 2005, por seus trabalhos teóricos a respeito do funcionamento das nanomáquinas moleculares.

começaram a aparecer e tornou-se possível provocar rotações intencionais em grandes moléculas. Segundo os autores, essas descobertas fizeram surgir a nanomecânica e pesquisadores da Alemanha e do Japão também passaram a trabalhar com o controle de rotação de moléculas. Isso permitiu vislumbrar a possibilidade de construir máquinas moleculares, como motores e calculadoras. Entretanto, além dos desafios no campo teórico para compreender os fenômenos que se manifestam nessa escala, havia a necessidade de poder controlar a rotação de moléculas pequenas ou mesmo átomos, o que implicaria conceber meios para “*transmitir ordens, energia ou permitir uma troca de informações*” (ibid., p.81). Nesse campo, o engenheiro Eric Drexler teria alguma participação, levando-o a exercer certa influência nos primeiros passos na definição das políticas norte-americanas em nanotecnologia, como se verá mais adiante. Paralelamente a isso, outros pesquisadores passaram a avaliar a possibilidade de sintetizar um circuito inteiro em uma única molécula, fazendo surgir a eletrônica molecular (Joachim e Plévert, 2009). Mas, algumas limitações técnicas para estabelecer conexões entre tais dispositivos ainda são objetos de pesquisas em andamento.

As nanomáquinas já mostram alguns avanços, mas em condições muito especiais e sob o controle de microscópios de tunelamento. Conforme Joachim e Plévert (2009), já existem experimentos que conseguem fazer moléculas se deslocarem como “nanocarros” ou “nanomotores”. James Tour⁸⁰, da Universidade de Rice, Gwenaël Rapene e Jean-Pierre Launay, da Universidade de Toulouse, Leonhard Grill e Francesca Moresco, da Universidade Livre de Berlin, são apontados pelos autores como pioneiros nesse campo de pesquisa. Entretanto, ainda é muito difícil conseguir manipular moléculas com tal precisão. Pensou-se em confiar a construção de nanomáquinas a outras moléculas, como uma “linha de produção”. Todavia, segundo Joachim e Plévert:

Uma vez que a etapa de síntese dos nanorrobôs levanta problemas, pesquisadores sugeriram desvencilhar-se dela e confiá-la às máquinas, elas também moleculares. Seu papel seria de agrupar átomo por átomo (ou grupamento químico por grupamento químico) todas as máquinas moleculares. Não se sabe como seriam fabricados esses montadores moleculares, verdadeiras fábricas de produção de moléculas de calcular, de moléculas mecânicas, ou de

⁸⁰ Tour ganhou o Prêmio Feynman de Nanotecnologia em 2008, por seus trabalhos com máquinas moleculares.

nanorrobôs. No estado atual dos conhecimentos, isso é evidentemente irrealista. (Joachim e Plévert, 2009, p.96)

Há ainda desafios a serem superados para que a fabricação dos nanorrobôs seja possível. De acordo com Joachim e Plévert (2009), persistem algumas dificuldades para a síntese de moléculas com essa capacidade, pois no caso de se trabalhar com fragmentos de moléculas, seria difícil fazer com que reagissem quimicamente. Entretanto, algumas pesquisas avançaram nesse sentido. Os químicos Jean-Marie Lehn, Donald James Cram e Charles John Pedersen receberam o Prêmio Nobel de Química de 1987 por suas pesquisas em química supramolecular com interações de moléculas com estruturas específicas. Outras pesquisas, ressaltam Joachim e Plévert (ibid.), procuram reproduzir os mesmos mecanismos de montagem presentes em vírus e bactérias. Eckard Wimmer e James Martin Hogle, entre outros, destacam-se nesse campo. Wimmer se notabilizou por haver sintetizado a macromolécula de RNA do vírus da poliomielite em 2002. A construção de máquinas moleculares parece ter rompido as barreiras do impossível, mas ainda haveria um longo caminho para torná-las funcionais. Além disso, Joachim e Plévert (ibid.) apresentam a seguinte questão:

Depois de compreendermos os mecanismos de montagem das proteínas, membranas e ribossomos em ação numa célula viva, conseguiremos reproduzir a arquitetura e a organização das menores formas de vida conhecidas? E, uma vez agregados esses componentes, essa célula artificial passará a viver? (Joachim e Plévert, 2009, p.102)

O curioso é que essas questões guardam alguma similaridade com o significado da síntese da ureia em 1828, pelo químico alemão Friedrich Wöhler. Até então, a teoria da Força Vital assumia que apenas os seres vivos teriam a capacidade de produzir produtos orgânicos. Com a síntese da ureia, um composto orgânico a partir de produtos inorgânicos, o princípio da Força Vital foi colocado em xeque. Esse e outros trabalhos de Wöhler contribuíram significativamente para o surgimento da química orgânica.

Com a possibilidade de construir artefatos átomo a átomo, Joachim e Plévert (2009) destacam que a nanotecnologia surgiu, ainda nos anos de 1980, como uma possibilidade de economia de recursos e, por essa via, de desenvolvimento sustentável. Acreditava-se que seria possível produzir componentes eletrônicos em escala nanoeletrônica, reduzindo consideravelmente a demanda por matéria-prima e recursos naturais. Segundo os autores, vislumbrava-se um novo campo: o da eletrônica molecular. Mas, para Joachim e Plévert (ibid.), esse rumo foi se modificando na segunda metade da década de 1990 por questões políticas. Os autores apontam o Programa Norteamericano intitulado “Iniciativa Nacional em Nanotecnologia” – NNI (*National Nanotechnology Initiative*), lançado em 2000, como um dos principais marcos dessa reorientação das prioridades em nanotecnologia.

Entretanto, antes do lançamento da NNI, houve uma série de debates e disputas políticas que foram se modificando ao longo desse período. Joachim e Plévert (2009) ressaltam o entusiasmo do ex-senador e ex-vice-presidente americano Albert Gore que, em 1992, teria incentivado um conjunto de debates com especialistas no senado daquele país. Um dos convidados foi o engenheiro Eric Drexler⁸¹, apontado como um dos precursores em defender a possibilidade de se criar nanomáquinas. Os autores destacam as estratégias usadas por Drexler nessa ocasião:

[Drexler] usou astuciosamente o nome de Richard Feynman, Prêmio Nobel de Física, para dar um importante aval científico a esse projeto. E, para ancorá-lo na história, exumou um discurso pronunciado em 1959, em que o ilustre físico evocava a fabricação em escala manométrica. (Joachim e Plévert, 2009, p.17)

Os autores apontam ainda outro aspecto da estratégia de Drexler: “*para provocar o orgulho nacional e estimular a concorrência, assinalou, muito a propósito, que os japoneses haviam liberado uma vultosa verba para a manipulação de átomos*” (Joachim e Plévert, 2009, p.17). De fato, o Japão direcionou recursos para projetos de pesquisa nessa área.

⁸¹ Em 1986, Drexler escreveu um livro intitulado *Engines of Creation* (Máquinas da Criação), o qual teria contribuído para a divulgação das possibilidades gerais das nanotecnologias. No entanto, Joachim e Plévert (2009) ressaltam que as ideias de Drexler acerca da nanotecnologia não eram bem avaliadas por parte considerável da comunidade científica, tendo recebido várias críticas.

Eleito vice-presidente, Gore foi incumbido de reorganizar as pesquisas em ciência e tecnologia dos Estados Unidos e, em 1994, conforme Joachim e Plévert (2009), apresentou um relatório intitulado “*Science in the National Interest*”, no qual as questões ecológicas haviam perdido espaço para o *lobby* industrial e para o papel estratégico da nanotecnologia no desenvolvimento dos Estados Unidos. Nesse período, outros cientistas passaram a ocupar posições relevantes nas políticas do presidente Clinton, entre eles, Mihail Roco, Neal Lane e Tom Kalil, os quais participaram da elaboração da NNI, concluída em 1999. De acordo com Joachim e Plévert (ibid.), o orçamento inicial de 300 milhões de dólares foi considerado pouco por alguns senadores americanos, julgando que Japão e Europa poderiam superá-los nessa nova tecnologia. Mesmo com as mudanças políticas que se seguiram, o orçamento da NNI aumentou consideravelmente nos anos seguintes. Como exemplo, os autores destacam os recursos previstos para 2008, já no governo de George Bush, de 1 bilhão e 447 milhões de dólares.

Outro nome que se destacou nas discussões acerca da nanotecnologia nas audiências do Congresso Americano foi Richard Smalley, com a autoridade de um Nobel de Química e de estratégias bem elaboradas:

Smalley era astucioso. Em todas as suas intervenções junto à Câmara dos Representantes, entre junho de 1999 e abril de 2002, tomou o cuidado de escolher problemas importantes e bem conhecidos do grande público, como a luta contra o câncer ou os recursos energéticos, para associá-los aos nanomateriais, e logo às nanotecnologias. (Joachim e Plévert, 2009, p.21)

Outra estratégia usada foi a de ampliar as áreas de pesquisa que passariam a ser chamadas de nanotecnologias. O presidente Clinton lançou oficialmente a NNI em 2000, na Universidade da Califórnia, onde Feynman havia ministrado sua conferência intitulada “*There’s plenty of room at the bottom*” (há muito espaço lá embaixo), em 1959⁸². A microeletrônica, a ciência dos materiais e a biotecnologia passaram a ser as áreas prioritárias. A partir

⁸² A conferência ocorreu em 29 de dezembro de 1959, na Reunião Anual da Sociedade Americana de Física. Uma transcrição foi publicada na revista *Engineering and Science*, em 1960, sob o título “*There’s plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of Physics*”. Richard Feynman recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1965 por suas contribuições na eletrodinâmica quântica.

disso, ressaltam Joachim e Plévert (2009), vários grupos de pesquisa trataram de caracterizar seus trabalhos em busca de recursos financeiros. Segundo os autores, “*se um laboratório de microeletrônica ou de microtecnologia na Europa temia pelo futuro de seus financiamentos, bastava-lhe autoproclamar-se Centro Europeu de Nanotecnologia, para tudo se arranjar*” (ibid., p.23). A União Europeia lançou seu programa NMP (Nanotecnologias, Materiais e Procedimentos) em 2002.

Na sequência desse movimento, outros países também criaram suas políticas para a nanotecnologia, incluindo-se o Brasil, conforme será tratado no próximo Capítulo.

Capítulo 4:

A Iniciativa Nano no Brasil

Não há um único trem do progresso, há muitos trens e muitos futuros tecnológicos possíveis, e alcançar um ou outro depende das “pessoas que tomam decisões”. Portanto, a primeira e principal pergunta é para onde queremos ir, e repensar o alcance do sujeito que deve decidir. (Cerezo, 2017, p.12)

O capítulo precedente mostra que as pesquisas mais significativas no campo da nanotecnologia surgiram, predominantemente, nos Estados Unidos, Europa e Japão. Mais recentemente, outros países se somaram à comunidade mundial com pesquisas nessa área, entre eles, a China, a Coreia do Sul e a Rússia. Ocorre que esses países têm também maior capacidade de transformar suas pesquisas em produtos e patentes, quando comparados, por exemplo, aos chamados países emergentes, entre eles o Brasil. Ainda que estes tenham alguma inserção, tanto na pesquisa básica quanto nas aplicações, há um longo caminho a ser construído para se aproximarem dos chamados países desenvolvidos.

Dessa forma, este capítulo se propõe a descrever alguns acontecimentos relevantes no contexto inicial das políticas públicas em relação à nanociência e à nanotecnologia e das pesquisas nessas áreas, a fim de compreender como o Brasil se posiciona no cenário mundial e quais ações foram implementadas para o desenvolvimento da nanotecnologia, bem como a superação dos possíveis desafios⁸³.

⁸³ Não serão apresentados os valores aplicados porque, com a variação cambial, perdem a referência comparativa.

4.1. 2001 e a Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia

Assim como os Estados Unidos e a Europa, o Brasil também teve sua Iniciativa Nacional em Nanotecnologia. Entretanto, conforme destaca Martins (2010), ainda que se possa identificar algumas ações oficiais do poder público ou das agências de fomento específicas para a nanotecnologia no Brasil, trata-se de um recorte histórico, pois é possível reconstruir um caminho a partir de eventos anteriores que podem ou não ter influências diretas no objeto de estudo em questão. Isso fica evidente no capítulo anterior. Ao menos três grandes áreas de pesquisa, com relativa independência, seguiram caminhos que levaram a descobertas que consolidaram a nanotecnologia como um novo campo de pesquisa, ainda que trabalhos anteriores anunciassem episódios pontuais que culminaram com a descoberta dos fulerenos, dos nanotubos e dos grafenos.

Na década de 1990 já havia pesquisadores e grupos de pesquisa no Brasil que trabalhavam com a nanociência e a nanotecnologia, até porque alguns deles tiveram sua formação, toda ou em parte, feita no exterior e/ou mantinham colaborações institucionais. Além disso, aquelas áreas que confluíram para a nanotecnologia também eram temas de pesquisa em solo brasileiro. Um exemplo disso foi um investimento feito em 1987 pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em projetos na área de semicondutores (Fernandes, 2007). No entanto, ações mais efetivas só ocorreram a partir do ano 2000.

Fernandes (2007) destaca que o MCT e o CNPq promoveram, em novembro de 2000, um *“encontro de 32 pesquisadores de todo o Brasil envolvidos no estudo de materiais e dispositivos em escala manométrica, que participaram da reunião de trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias”* (ibid., p.54). Segundo a autora, entre os resultados dessa reunião, foram sugeridas a criação de programas específicos para essa área e a criação de redes de pesquisa colaborativas, o que evidencia a pré-existência de grupos de pesquisadores envolvidos com a nanotecnologia. Nessa reunião foi criada uma Comissão (Comitê de Articulação) para fazer um levantamento do estado em que se encontravam as pesquisas em nanociência e nanotecnologia

no país. Em 2001, essa Comissão⁸⁴ divulgou um documento intitulado “*Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias: plano de implementação 2001-2005*”, o qual apresenta, entre outras coisas, um mapeamento das pesquisas existentes no Brasil em nanociência e nanotecnologia e sugestões para fortalecer as pesquisas nessa área (Fernandes, 2007).

Ainda em 2001, o MCT e a Academia Brasileira de Ciências lançaram o “*Livro Verde – Ciência, Tecnologia e Inovação: desafio para a sociedade brasileira*”. Na apresentação do livro, o Ministro da Ciência e Tecnologia destacou que se tratava do resultado de “*amplo debate, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, acerca do papel do conhecimento e da inovação, na aceleração do desenvolvimento social e econômico do País*” (Livro Verde, 2001, p.viii). Em seguida, afirma que:

Ao resgatar a trajetória da Ciência e Tecnologia brasileira e estimular a reflexão sobre seu futuro, o Livro Verde traz à luz os sólidos alicerces em que se fundam seus avanços contemporâneos. Explícita, sobretudo, valiosos elementos da visão estratégica que hoje orienta a sustentação e a ampliação do esforço nacional em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), como condição necessária de desenvolvimento, bem estar, justiça social e de exercício da soberania. (Livro Verde, 2001, p.viii)

Ao mesmo tempo em que o Livro Verde é uma síntese de debates ocorridos e o resultado de um trabalho de 10 meses, tinha como um de seus objetivos subsidiar os debates futuros, em especial, na Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação que ocorreria em 2001⁸⁵. Desse modo, o Livro trata de vários temas, entre eles, o sistema de CT&I do Brasil e as tendências internacionais em políticas de CT&I; a educação para a ciência, tecnologia e inovação; a formação de recursos humanos para a CT&I; qualidade de vida e desenvolvimento econômico e CT&I; desafios estratégicos em CT&I para o Brasil e, claro, nanociências e nanotecnologias.

⁸⁴ Um relatório apresentado por esta Comissão identificou, em um levantamento preliminar, 192 grupos e/ou pesquisadores que trabalhavam com nanociência ou nanotecnologia naquele momento (Fernandes, 2007).

⁸⁵ Essas ações faziam parte do Projeto Diretrizes Estratégicas para Ciência, Tecnologia e Inovação – Projeto DECTI 2001, do MCT.

Assim como ocorreu com a NNI norte americana, o Livro Verde explora temas sensíveis e de alto teor estratégico para qualquer administração pública e apresenta um tom bastante entusiasta em relação às potencialidades que investimentos em CT&I podem trazer ao país. Nesse sentido, constata-se uma forte tendência ao modelo linear de desenvolvimento científico e tecnológico, como se verifica nas citações anteriores. O mesmo ocorre para o caso da nanotecnologia. Como exemplo em relação a esse tema, o Livro Verde ressalta que:

As aplicações da nanotecnologia permeiam as áreas de novos materiais e fabricação, transporte, nanoeletrônica e tecnologia de computadores, medicina e saúde, aeronáutica e exploração espacial, energia e meio ambiente, biotecnologia e agricultura, segurança nacional e educação, e podem, portanto, ter importante impacto direto sobre a competitividade da indústria nacional em um futuro não muito remoto. (Livro Verde, 2001, p.80)

Ou seja, há um esforço para associar a nanotecnologia a áreas de pesquisa com grande potencial para sensibilizar o poder público de sua relevância, entre eles, medicina e saúde, meio ambiente, energia e agricultura. Curiosamente, até a educação é apontada como uma área em que se poderia aplicar a nanotecnologia. O documento exalta também a necessidade de repensar a formação de novos pesquisadores ao destacar que:

Um esforço considerável precisa ser feito para introduzir em nível de graduação disciplinas relacionadas a nanociências e nanotecnologias, incrementar o treinamento de técnicos e engenheiros em técnicas avançadas de análise de novos materiais, aumentar o estímulo a estudantes de pós-graduação para que venham a atuar nessas áreas (de natureza intrinsecamente inter e multidisciplinar), o que, em casos especiais, necessita envolver a formação especializada no exterior. (Livro Verde, 2001, p.82)

O documento busca abranger todas as possibilidades de captação e aplicação de recursos, incluindo-se, como evidencia o extrato anterior, a formação de novos talentos. Esse discurso estará presente em outras iniciativas da comunidade de pesquisa em nanotecnologia que se formava, aproximando-se do movimento identificado por Joachim e Plévert (2009), segundo o qual vários pesquisadores passaram a caracterizar suas pesquisas como sendo em nanotecnologia para receber recursos.

De certa maneira, essa estratégia parece ter funcionado no Brasil, pois vários programas de incentivo e chamadas públicas⁸⁶ para a nanotecnologia foram implementados na sequência. Fernandes (2007) e Martins (2007) ressaltam que já em 2001 foi lançado o Edital CNPq Nano 01/2001, considerando-o um marco nas políticas públicas de incentivo à nanociência e à nanotecnologia. Essa chamada pública tinha por objetivo apoiar “*a constituição e a consolidação de Redes Cooperativas Integradas de pesquisa básica e aplicada, organizadas como centros virtuais de caráter multidisciplinar e abrangência nacional*” (Relatório CNPq, 2001, p.22). Segundo o Relatório, foram aprovadas quatro Redes nos seguintes temas: materiais nanoestruturados; nanotecnologia molecular e de interface; nanobiotecnologia; nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados. De acordo com Gomes e Melo (2004), essas Redes envolveram mais de 50 instituições de pesquisa e 150 pesquisadores. É interessante notar que, pelos temas das Redes, os projetos aprovados tendem para a dimensão aplicada e tecnológica, ainda que o Edital faça menção à pesquisa básica. Além disso, Martins (2007) salienta que as concepções básicas presentes nesses documentos, incluindo-se o Edital CNPq Nano 01/2001, iria dominar as iniciativas do MCT nos anos seguintes.

Conforme resalta Martins (2007), as políticas públicas relativas à nanociência e nanotecnologia nascem com a perspectiva de excluir seu controle social e assegurar as decisões nas mãos dos especialistas. As Redes criadas receberam novos investimentos públicos nos anos seguintes por meio de aditivos ao Edital de 2001. Neste mesmo ano, dentro das ações do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PADCT, administrado pelo MCT por meio do CNPq, novas chamadas públicas foram lançadas no âmbito da C&T. Entre essas ações, destaca-se o apoio à implantação de Institutos de Pesquisa de Padrão Internacional, os chamados Institutos do Milênio. Esse programa tinha apoio externo, financiado “*pelo Banco Mundial e Governo Brasileiro, como ampliação do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PADCT (objeto de empréstimo do Banco Mundial ao governo Brasileiro desde 1984)*” (Relatório CNPq, 2001,

⁸⁶ Editais ou Chamadas Públicas são convocatórias anunciadas pelas agências financiadoras para temas ou laboratórios de pesquisa. Os interessados inscrevem seus projetos e passam por um competitivo processo de avaliação por pares.

p.21). Dentre os 17 projetos contemplados pelo Programa Institutos do Milênio, 4 estavam diretamente relacionados com a nanociência e a nanotecnologia (Fernandes, 2007; Relatório CNPq, 2001).

Em 2001, e nos anos seguintes, novos editais foram abertos para a C&T e para financiar áreas prioritárias de acordo com as 5 regiões do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste, Norte). Políticas públicas específicas para as regiões do país é uma das formas de ampliar a produção científico-industrial, ainda muito concentrada nas regiões Sul e Sudeste⁸⁷. Com isso, nos anos que se seguiram, foram criados alguns Parques Tecnológicos com incentivos à pesquisa em C&T. A partir de 2002 também passaram a contar com apoio financeiro as ações de *Consolidação de Serviços de Informação e Comunicação Científica e Tecnológica* e de *Difusão da Produção Científica Nacional* (Relatório CNPq, 2002). O programa *Sistemas Locais de Inovação* passou a contar, segundo o Relatório CNPq 2003, com 100% a mais de recursos em relação aos anos anteriores e lançou dois Editais, tendo contemplado projetos nas áreas de nanotecnologia e materiais avançados (Relatório CNPq, 2003). Outras áreas, como biotecnologia, saúde, ambiente e agroindústria sempre seriam contempladas nos programas e editais do MCT.

Em 2004, além da continuidade dos programas existentes para a C&T, a nanotecnologia ganha ainda mais destaque. O apoio para implementação e/ou manutenção das redes e laboratórios de nanotecnologia se somaram a outros editais, entre eles o Edital MCT/CNPq 012/2004, destinado a apoiar:

Projetos de pesquisa aplicada ao desenvolvimento ou aperfeiçoamento de novos produtos ou processos baseados em nanotecnologia, em todo o território nacional, desenvolvidos de forma cooperativa entre empresas públicas ou privadas e grupos de pesquisa atuantes na área. É dada prioridade a projetos em nanobiotecnologia, sensores, materiais nanoestruturados e materiais nanomagnéticos. (Relatório CNPq, 2004, p.119)

Uma novidade nas áreas prioritárias para financiamentos foi o Edital MCT/CNPq 013/2004, destinado a financiar “*estudos voltados para os*

⁸⁷ A região Sul do Brasil é composta pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A região Sudeste abrange os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. São Paulo é o estado que concentra o maior parque científico-industrial do país.

impactos sociais, ambientais, econômicos, políticos, éticos e/ou legais decorrentes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil” (Relatório CNPq, 2004, p.120). Os projetos selecionados foram os seguintes: i) Propriedade intelectual em nanotecnologia; ii) Nanociência e nanotecnologia aplicadas às ciências da vida: bases epistêmicas e impasses éticos; iii) Estudo do impacto econômico, tecnológico, social, ambiental e regulatório da nanotecnologia no desenvolvimento e produção de novos princípios e fármacos para o setor farmacêutico brasileiro; iv) A governança da nanotecnologia: como lidar com os desafios sociais, éticos, econômicos e ambientais através do debate público (Relatório CNPq, 2004). Vale destacar que este edital previa um orçamento equivalente a apenas 10% do Edital MCT/CNPq 012/2004.

Todas as linhas de financiamento anteriores continuaram em 2005. No entanto, uma subárea da nanotecnologia passa a ser discriminada nominalmente, a saber, a nanobiotecnologia. Isso se verifica, por exemplo, no Edital MCT/CNPq 028/2005, destinado a apoiar *“projetos apresentados por jovens pesquisadores, para financiamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em Nanociência, Nanotecnologia ou Nanobiotecnologia”* (Relatório CNPq, 2005, p.164). O mesmo ocorre com o Edital MCT/CNPq 029/2005, para apoiar redes de cooperação em *“Nanociência, Nanotecnologia e Nanobiotecnologia, e suas aplicações inovadoras em produtos e processos nanotecnológicos ou no estudo dos impactos éticos, ambientais ou em políticas públicas da Nanotecnologia”* (ibid., p.165). O Edital 028 destinava-se a jovens pesquisadores, ou seja, àqueles profissionais que tinham obtido seu doutorado há menos de 5 anos e, o Edital 029, incorporava os temas relacionados ao estudo dos impactos éticos, ambientais e das políticas públicas. Observa-se também investimentos em cooperações internacionais específicas, como foi o caso do Edital MCT/CNPq 031/2005, cuja finalidade era apoiar projetos de pesquisa em Nanociência, Nanotecnologia ou Nanobiotecnologia entre Brasil e França. Financiamentos dessa natureza também ocorreram com outros países, como Alemanha, Argentina, Espanha e Portugal, e a União Europeia.

A partir de 2006, o MCT unificou várias ações no recém-criado Programa para a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE).

Entretanto, a nanociência e a nanotecnologia permaneceram como áreas prioritárias dentro dos financiamentos em C&T e continuaram tendo editais específicos, como o Edital MCT/CNPq 042/2006, destinado a apoiar jovens pesquisadores com projetos em nanociência e nanotecnologia, e o Edital MCT/CNPq 043/2006, também para jovens pesquisadores, com a finalidade de apoiar a melhoria da infraestrutura de laboratórios de Nanotecnologia (Relatório CNPq, 2006). De 2007 em diante, agora no contexto do PITCE, permanece o apoio à nanociência e nanotecnologia sem mudanças significativas em relação aos anos anteriores. Verifica-se um pequeno aumento de editais específicos para a microeletrônica e a biotecnologia, áreas bastante próximas da nanotecnologia, a saúde, o ambiente e a agroindústria, além da consolidação das redes e institutos de nanociência e nanotecnologia que foram criadas nos anos anteriores. Observa-se também que progressivamente a inovação passa a fazer parte dos objetivos principais dos financiamentos do MCT⁸⁸.

Além do Programa Nacional de P&D em Nanociência e Nanotecnologia e do Livro Verde, lançados em 2001, o Brasil teria, nesse mesmo ano, a *Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia* (IBNN). Entretanto, segundo Fernandes (2007), tratava-se de uma revisão do documento proposto pela Comissão (Comitê de Articulação) criada pelo MCT e inspirada, conforme ressaltam Gomes e Melo (2004), na NNI norte-americana e em programas internacionais semelhantes. Esses autores tiveram uma participação relevante na elaboração desses documentos e, a respeito da IBNN, afirmam que:

A principal tarefa de uma iniciativa nacional em N&N é definir prioridades e prover os recursos apropriados para realizá-las. A iniciativa brasileira foi concebida com base nas competências existentes, tendo em vista as necessidades de curto e médio prazo e preparando um ambiente adequado para o desenvolvimento de um programa nacional de longo prazo. Em graus diferentes, pesquisa fundamental, desenvolvimento tecnológico, transferência de tecnologia, educação e treinamento deveriam ser incluídos como parte de qualquer tema a ser desenvolvido. (Gomes e Melo, 2004, p.119)

As ações do MCT seguiram, em boa medida, as orientações da *Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia*. Tanto as chamadas amplas para a

⁸⁸ O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) passou a se chamar Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em 2011. Entre 2016 e 2019, passou a se chamar Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) para, em 2020, voltar a ser MCTI.

C&T quanto as específicas para a nanociência e a nanotecnologia permitiram uma rápida instalação de redes de cooperação nacional e internacional, bem como o fortalecimento de grupos de pesquisa já existentes. Além disso, ações de indução para temas considerados estratégicos foram implementadas. Uma cronologia simples desses primeiros anos de inclusão da nanociência e da nanotecnologia na agenda de investimentos em C&T no Brasil pode ser observada no Quadro 02 a seguir:

Quadro 02: cronologia da iniciativa em nanociência e nanotecnologia no Brasil.

22 de novembro de 2000	Primeiro encontro de pesquisadores brasileiros do CNPq trabalhando no campo – Criação do Comitê de Articulação para preparar um documento com propostas.
Dezembro de 2000	Contato com atores-chave em nanociência e nanotecnologia nos Estados Unidos e Europa.
Março de 2001	Visita ao Brasil e encontro, com parte do Comitê de Articulação, do Dr. Richard Siegel, um dos consultores científicos (<i>Scientific Advisors</i>) do programa americano.
Abril de 2001	Divulgação do documento do Comitê de Articulação na página do CNPq.
Abril de 2001	Encontro do Comitê de Articulação com uma missão da França (em Campinas) – Disseminação da iniciativa brasileira em seminário internacional em Campinas (CTI).
Julho de 2001	O CNPq anuncia chamada de propostas de redes em nanociência e nanotecnologia em áreas selecionadas.
Agosto de 2001	O Dr. Celso Melo (Diretor do CNPq) apresenta a Iniciativa Brasileira N&N no <i>Workshop on International Collaboration and Networking: creating global nanotechnology networks</i> , Cancun, de 26 a 30 de agosto.
Outubro de 2001	O MCT anuncia o resultado das chamadas de propostas para o programa dos institutos do milênio: o Instituto de Nanociência, localizado em Minas Gerais, e coordenado por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais, é selecionado.
Dezembro de 2001	O CNPq anuncia os resultados da submissão de propostas: quatro redes foram formadas.
Janeiro de 2002	O MCT inicia procedimentos para definir centros nacionais de referência em nanotecnologia, com missões e locais a serem definidos.
Março de 2002	Missão da Alemanha faz visita ao Brasil para discutir colaboração internacional em nanociência e nanotecnologia.
Julho de 2002	Dr. Cylon Gonçalves entrega documento ao MCT com proposta a respeito dos Centros Nacionais de Referência em nanotecnologia.
Agosto de 2002	Encontro, no CNPq, com os coordenadores das redes cooperativas brasileiras em N&N e do Instituto do Milênio em Nanociência (UFMG).

Fonte: Gomes e Melo (2004, p.117).

Pode-se observar que um conjunto de ações em relação à nanociência e à nanotecnologia foi implementado em um curto espaço de tempo no início da década de 2000. Gomes e Melo (2004) reconhecem que a criação das quatro redes cooperativas em nanociência e nanotecnologia, além do Programa dos

Institutos do Milênio, foram decisivos para a implementação da Iniciativa N&N no Brasil.

Em maio de 2003, o MCT publicou a Portaria 252, a qual constituiu um Grupo de Trabalho (GT) para elaborar o Programa Nacional Quadrienal de Nanotecnologia, com grande participação de pesquisadores da área e que compunham as redes e laboratórios que receberam recursos públicos, além de representantes do setor financeiro, de produção e governamental. O grupo, coordenado pelo diretor do Departamento de Políticas e Programas Temáticos do MCT, produziu um texto intitulado “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia”. Esse documento traria subsídios para as questões relativas à nanociência e nanotecnologia presentes no Plano Plurianual 2004-2007 (PPA), no qual se destacam as potenciais aplicações da nanotecnologia em áreas relevantes para o país, defendendo, portanto, o permanente investimento de recursos na formação de novos pesquisadores e na criação e consolidação de laboratórios e redes de pesquisa em nanotecnologia e nanociência. Ao apresentar um diagnóstico das pesquisas no Brasil, o documento inclusive discrimina os temas de pesquisas que deveriam ser considerados naquele Programa. O PPA 2004-2007 (Brasil, 2004) prevê, por meio do Programa 1110 Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, vinculado ao MCT, investimentos para implantação de redes e laboratórios, apoio às redes e laboratórios já existentes, fomento a projetos institucionais de pesquisa e registro de patentes. O montante dos recursos, no entanto, é consideravelmente inferior ao proposto pelo GT criado pela Portaria 252; da ordem de 20% do que havia sido sugerido pelo Grupo de Trabalho.

Outro tema que vinha sendo tratado nos sucessivos documentos e relatórios relativos aos investimentos em nanociência e nanotecnologia é a participação de recursos da iniciativa privada e do envolvimento desse setor nos projetos de pesquisa e desenvolvimento. O PPA 2004-2007, ao tratar do Programa 1110, destaca que seu objetivo é “*desenvolver novos produtos e processos em nanotecnologia visando o aumento da competitividade da indústria nacional*” (Brasil, 2004, p. 364), tendo como público-alvo “*indústrias, pesquisadores, consumidores e trabalhadores*” (ibid.). No texto produzido pelo

GT em 2003 consta, como objetivo geral dos investimentos em nanociência e nanotecnologia, o seguinte:

(...) criar e desenvolver novos produtos e processos em Nanotecnologia, implementando-os para aumentar a competitividade da indústria nacional e capacitando pessoal para o aproveitamento das oportunidades econômicas, tecnológicas e científicas da Nanotecnologia. (Brasil, 2003a, p.8)

Os objetivos específicos propostos são os seguintes:

- Geração de novos conhecimentos.
- Desenvolvimento tecnológico e inovação, capacitando o país para a competição em nível internacional.
- Formação de recursos humanos em alta tecnologia, capacitando gestores, pesquisadores, engenheiros e trabalhadores ao aproveitamento das oportunidades abertas pela Nanotecnologia.
- Formação e manutenção de uma rede nacional de laboratórios e facilidades de pesquisa, associados em torno de objetivos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em Nanotecnologia.
- Execução de projetos de P&D&I⁸⁹, enfatizando os que favoreçam a interação e sinergia entre os laboratórios de pesquisa e o setor produtivo.
- Agregação de valor e tecnologia a produtos industriais, do agronegócio e serviços, criando empregos qualificados, em números significativos. Produção industrial que incorpore conceitos, conhecimentos, descobertas e desenvolvimentos da Nanotecnologia.
- Criação de empresas inovadoras. Modernização e aumento de competitividade de empresas. Aumento da participação brasileira na economia global.
- Atualização curricular de cursos nas áreas afins à Nanotecnologia.
- Informação da sociedade sobre os impactos da Nanotecnologia na vida do cidadão, as novas oportunidades e os riscos de obsolescência que ela cria para produtos e processos atuais. (Brasil, 2003a, p.9)

Pode-se observar, portanto, que os objetivos apresentados são bastante abrangentes, tratando de articular os investimentos em N&N com o desenvolvimento econômico e social do Brasil. Ou seja, as justificativas para os investimentos nessa área são apresentadas com um claro e eficiente apelo estratégico, incluindo-se a aproximação entre as instituições de pesquisa e o setor produtivo, a criação de empregos e o aumento da competitividade das empresas e da participação do país no cenário econômico mundial. Fernandes (2007) destaca que mesmo a informação dos impactos da nanotecnologia está associada às oportunidades e não aos riscos sociais e ambientais, por exemplo. A autora salienta ainda que esse documento do GT teria influenciado não

⁸⁹ P&D&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

apenas o PPA 2004-2007, mas também as ações e programas que foram propostas pelo MCT para os anos seguintes.

A comunidade de pesquisadores em nanociência e nanotecnologia também vinha trabalhando para obter recursos de outros ministérios e/ou setores, além do MCT; entre eles, destacam-se os Ministérios da Agricultura, da Defesa, das Comunicações, da Educação, do Desenvolvimento e Comércio. Fernandes (2007) ressalta ainda que o CNPq passou a lançar editais de apoio a projetos nas áreas de Petróleo e Gás, Energia, entre outros, que contemplassem a nanotecnologia dentro desses campos. Com isso, novos grupos de pesquisa foram surgindo, além das redes e laboratórios criados e mantidos nos primeiros anos que se sucederam ao lançamento da Iniciativa N&N.

A nanotecnologia passou a integrar explicitamente outras diretrizes do governo brasileiro. Isso se verifica, por exemplo, nas Diretrizes de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior de 2003 (PITCE). Nesse documento, ainda que timidamente, a nanotecnologia aparece como uma área estratégica para o desenvolvimento do país, já que a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior busca:

(...) o aumento da eficiência econômica e do desenvolvimento e difusão de tecnologias com maior potencial de indução do nível de atividade e de competição no comércio internacional. Ela estará focada no aumento da eficiência da estrutura produtiva, aumento da capacidade de inovação das empresas brasileiras e expansão das exportações. Esta é a base para uma maior inserção do país no comércio internacional, estimulando os setores onde o Brasil tem maior capacidade ou necessidade de desenvolver vantagens competitivas, abrindo cainhos para a inserção nos setores mais dinâmicos dos fluxos de trocas internacionais. (Brasil, 2003b, p.2)

Claramente há um diálogo muito próximo entre os objetivos das políticas no campo da indústria, tecnologia e comércio e aquelas justificativas para os investimentos de recursos nas pesquisas em nanotecnologia apresentadas nos documentos produzidos pelos pesquisadores mencionados anteriormente. Essas políticas destacam que a economia do conhecimento é um fator importante para o desenvolvimento industrial e para a superação do déficit comercial do Brasil. Nesse sentido, o documento reforça que *“a fronteira do conhecimento se move rapidamente, fundindo-se com áreas de futuro, como a nanotecnologia,*

biotecnologia e novos materiais” (Brasil, 2003b, p.5). Mais adiante, o documento menciona outras áreas como energia renovável, biocombustível, eletrônica, semicondutores, entre outras.

Em 2006, o MCT divulgou o documento intitulado *“Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior do Governo Federal (PITCE): balanço e perspectivas”* que, como sugere seu título, traz uma avaliação das ações que foram implementadas a partir do PITCE 2003. Esse documento afirma que estaria ocorrendo uma mudança de paradigma industrial no Brasil na década de 2000, substituindo uma visão sustentada por estruturas físicas de fabricação visando ao mercado interno pela inserção da ciência e da tecnologia na construção de uma nova matriz de produção mais competitiva, capaz de avançar para o comércio internacional. Para isso, o documento defende que seria preciso institucionalizar, entre outras coisas, uma política industrial e tecnológica integrada. Além disso, destaca a relevância de investimentos que incentivem ações de pesquisa e desenvolvimento, não apenas nas instituições públicas, mas também nas empresas, proporcionando a ampliação da capacidade de inovações nesse setor. Para esse fim, sugere que sejam criadas linhas de financiamento às empresas por meio dos bancos públicos, bem como a contratação de pesquisadores para atuarem diretamente no meio empresarial e de produção. No entanto, o PITCE 2006 ressalta que seria preciso adaptar a legislação brasileira para que tais investimentos e incentivos sejam possíveis. Nesse sentido, foram criadas a Iniciativa Nacional para Inovação (INI) e a Lei 10973/04, a chamada Lei da Inovação, que se constitui, de acordo com o documento, como uma nova referência:

(...) para a relação entre universidades e institutos de pesquisa públicos e empresas privadas, além de possibilitar ação mais positiva do Estado no apoio à inovação empresarial, pelo instrumento da subvenção econômica a empresas para o desenvolvimento tecnológico e pela possibilidade de compras tecnológicas pelo Estado. A lei permite, por exemplo, o investimento público em empresas privadas e cria estímulo para que as empresas contratem pesquisadores para seus quadros ou para que pesquisadores constituam empresa para desenvolver atividades relativas à inovação. (Brasil, 2006a, p.12)

Parte dos incentivos ocorreram por meio de renúncia fiscal do Estado. Na sequência, novas leis foram criadas para incentivar a inovação, entre elas a Lei

11.105 de 2005, ou Lei de Biossegurança, a qual trata das pesquisas de organismos geneticamente modificados e das células-tronco (Brasil, 2006a)⁹⁰. Dentro dessas iniciativas, semicondutores, fabricação de chips de aplicações específicas, microeletrônica, fármacos, biocombustíveis, biodiesel e nanotecnologia são consideradas áreas prioritárias, dada sua potencialidade para o desenvolvimento do país. Em relação à nanotecnologia, o Relatório destaca que:

Um Programa Nacional de Nanotecnologia é, por definição, maior do que ações relacionadas à ciência. O CGEE⁹¹ coordenou uma prospecção sobre nanotecnologia, apontando os segmentos mais promissores para o desenvolvimento de vantagens comparativas dinâmicas pelo Brasil. No âmbito da Iniciativa Nacional para Inovação está havendo a aproximação de setores produtivos com os desenvolvimentos de nano – articulação nano e álcool, nano e cosméticos etc. – visando aumentar as chances de transformar oportunidades científicas em realidades comerciais. (Brasil, 2006a, p.47)

Verifica-se, assim, que a nanotecnologia é reconhecida como área de pesquisa, desenvolvimento e inovação capaz de contribuir para ampliar as capacidades comerciais do país. Com isso, algumas ações de aproximação entre empresas e pesquisadores foram implementadas, conforme apontam os Relatórios do CNPq mencionados anteriormente. É relevante destacar, no entanto, que algumas empresas envolvidas em pesquisas sobre nanotecnologia são estatais, entre elas a Petrobras⁹². Algumas dessas ações estimularam as agências de fomento dos estados brasileiros, com destaque para a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ), como se verá mais adiante.

⁹⁰ Vale lembrar que nesse período estavam em evidência o *Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás*, incentivado pela descoberta de grandes reservas de petróleo em águas profundas no litoral brasileiro, e o *Programa Espacial Brasileiro*, o qual ganhou notoriedade com a ida do primeiro astronauta brasileiro à Estação Espacial Internacional em 2006.

⁹¹ CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do MCT.

⁹² Petróleo Brasileiro S.A. é uma empresa estatal de economia mista, fundada em 1953.

4.2. Rumo ao SisNANO

Nos primeiros 5 anos da década de 2000 também fizeram parte da agenda de investimentos do MCT na área de nanotecnologia, além do que foi informado anteriormente, a modernização do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), a atualização do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o apoio ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), à Embrapa Instrumentação Agropecuária, ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), à cooperação com a África do Sul, Austrália, Japão, Reino Unido e a criação do Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia (CBAN) (Brasil, 2006b). Merece destaque especial o LNLS, sendo um dos principais centros de pesquisa em nanotecnologia do país. Em 2008 foi criado o Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes⁹³, com recursos oriundos do MCT e da FAPESP, constituindo-se em mais um laboratório a integrar a estrutura do LNLS. E, em 2011, foi criado o Laboratório Nacional de Manotecnologia (LNNano) a partir da junção de outros laboratórios do LNLS. Em 2018, foi inaugurado o Sirius; um novo acelerador de partículas também do tipo síncrotron, integrando-se às instalações do LNLS.

Entretanto, Martins (2007) salienta que as concepções que orientaram as políticas públicas relativas à nanociência e nanotecnologia no Brasil já haviam se desenhado no Edital CNPq Nano 01/2001 e permaneceram nos demais documentos e ações. De acordo com o autor,

A concepção hegemônica encontrada em todas as ações relativas ao desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia no Brasil a partir do Edital CNPq Nano n. 01/2001 é a de que quem é capaz de contribuir para a identificação, qualificação e solução dos problemas relevantes a esse desenvolvimento são aqueles que estão na academia fazendo nanociência e nanotecnologia, aqueles que estão fazendo políticas públicas em nanociência e nanotecnologia no âmbito do Estado brasileiro e o setor empresarial (o parceiro que sempre se busca). (Martins, 2007, p.13)

Considerando que, desde o início, a ideia era identificar os grupos de pesquisa que trabalhavam com nanociência e nanotecnologia e buscar formas de garantir-lhes recursos, constituindo redes de cooperação e equipando

⁹³ Cesar Lattes foi um importante físico brasileiro.

laboratórios, as afirmações de Martins (2007) parecem corresponder à realidade. Acrescente-se a isso o permanente incentivo à aproximação entre os setores produtivos e empresariais com a pesquisa realizada nas instituições públicas. Assim, o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia se consolidaria no Brasil sob o controle exclusivo dos especialistas, afastando-se de qualquer controle.

Para Martins (2007), os editais e demais documentos oriundos do MCT para a nanociência e nanotecnologia, via de regra, justificavam seus investimentos para incrementar as pesquisas científicas e tecnológicas e a competitividade do Brasil no cenário internacional e destacavam a importância em aproximar os setores públicos e privados para ampliar a capacidade tecnológica das empresas brasileiras. Isso conduziria, portanto, a um modelo linear de inovação: *“as novas tecnologias levam às inovações; estas necessariamente implicam aumento da competitividade de empresas, indústrias, países, o que, por sua vez, assegura o crescimento econômico, que vai redundar em mais bem-estar social”* (Martins, 2007, p.15). Assim, segundo o autor, as políticas em nanociência e nanotecnologia incorporavam uma concepção de política social. No entanto, Martins (ibid.) ressalta que essa política social supostamente sustentada pelo desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia não teria ocorrido, pois o entendimento da natureza social das pesquisas estaria na percepção de que os investimentos e inovações para tornar mais eficientes e competitivos os meios empresariais e industriais, que fazem parte da sociedade, incluiriam o campo social. Portanto, não havia uma preocupação com temas sensíveis à população, como emprego e renda, saúde, meio ambiente ou a exclusão socioeconômica oriunda desse desenvolvimento. Martins (2010) reconhece que as ciências humanas não foram contempladas nas ações e chamadas públicas do MCT em relação à nanociência e à nanotecnologia⁹⁴.

⁹⁴ Exceção ao Edital MCT/CNPq 013/2004, destinado a financiar *“estudos voltados para os impactos sociais, ambientais, econômicos, políticos, éticos e/ou legais decorrentes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil”* (Relatório CNPq, 2004, p.120). Martins (2007, 2010) afirma que os recursos empenhados nesse edital eram insignificantes se comparados àqueles destinados à pesquisa básica em nanociência e nanotecnologia.

Outra característica das políticas em nanociência e nanotecnologia percebida por Martins (2007) é o reconhecimento de que essas áreas seriam uma via inexorável de desenvolvimento: *“não há questionamentos a serem feitos a esta trajetória tecnológica, a priori admitida como a mais eficiente, encerrada como one best way (o melhor caminho)”* (p.15). Em síntese, Martins (ibid.) aponta que os primeiros anos das políticas em nanociência e nanotecnologia no Brasil, e da ciência e tecnologia em geral, ocorreram sob a exclusão do controle social, um modelo linear de desenvolvimento tecnológico e de inovação e o pressuposto de um caminho com prioridade absoluta para alcançar resultados positivos, tanto nos campos da ciência e da tecnologia quanto na esfera econômica e social. Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) ressaltam que *“a avaliação das implicações sociais da nanotecnologia foi incorporada apenas de forma retórica e marginalizada na execução da política”* (p.27). Acrescentam ainda que as questões de risco e regulamentação da nanotecnologia não receberam a devida atenção nas orientações e políticas da primeira década do milênio. De fato, as autoras afirmam que esses temas geraram tensões entre os principais agentes que exerciam influências nas políticas públicas em nanotecnologia.

Em 2008, o MCT edita a Portaria 429, de 17 de julho de 2008, criando o Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, os quais substituiriam o Programa Institutos do Milênio. Em seu Art. 2º, a Portaria estabelece que:

Os Institutos Nacionais serão formados por uma instituição sede, caracterizada pela excelência de sua produção científica e/ou tecnológica, alta qualificação na formação de recursos humanos e com capacidade de alavancar recursos de outras fontes, e por um conjunto de laboratórios ou grupos associados de outras instituições, articulados na forma de redes científico-tecnológicas. (Brasil, 2008a, p.1)

Esse Programa seria coordenado pelo MCT, mas outros ministérios também participariam do seu financiamento e gestão, a saber, Ministério da Educação, Ministério da Saúde, Ministério das Minas e Energia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, além da FAPESP, FAPERJ, e as agências de fomento à pesquisa dos estados de Minas Gerais, Pará, Amazonas e Santa Catarina. O conselho gestor seguiu a mesma linha apontada por Martins

(2007, 2010), ou seja, cientistas, gestores dos ministérios, representantes das agências estaduais (que são cientistas) e empresas. A Portaria MCTI 577, de 04 de junho de 2014, reeditou o Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, sem mudanças significativas em relação à Portaria de 2008.

No entanto, em outubro de 2016, o MCTI editou a Portaria 4574, na qual ocorreu uma mudança na composição da Comissão de Coordenação do Programa, a qual passa a contemplar, entre os quatro representantes da comunidade científica, “*um representante da área das ciências exatas e das engenharias, uma (sic) das ciências da vida, um das ciências humanas e sociais e um da área de inovação*” (Brasil, 2016b, p.1). Trata-se de uma mudança significativa, ainda que modesta.

A partir da Portaria 429 de 2008, o MCT lançou o Edital 15/2008, com o objetivo de formar os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. As agências estaduais foram parceiras no financiamento das propostas aprovadas e o Ministério da Educação, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)⁹⁵ disponibilizou recursos para a atribuição de bolsas para a formação de pesquisadores. Além de promover a cooperação entre grupos de pesquisa e incentivar a inovação tecnológica, o Edital 15/2008 determinava que as propostas de projetos a serem submetidas deveriam abranger áreas estratégicas e/ou de fronteira da ciência e evidenciar uma aproximação com os sistemas produtivos e a sociedade; em síntese:

Cada Instituto deve ter um programa bem definido, com metas quantitativas e qualitativas, compreendendo três missões: pesquisa, formação de recursos humanos, transferência de conhecimentos para a sociedade. Para aqueles voltados a aplicações da ciência, tecnologia e inovação deve ser atendida uma quarta missão de transferência de conhecimentos para o setor empresarial ou para o governo. (Brasil, 2008b, p.9)

Esperava-se ainda que as propostas evidenciassem sua contribuição para as metas presentes no Plano de Ação 2007-2010: Ciência, Tecnologia e Inovação

⁹⁵ A CAPES é a agência federal responsável pelo financiamento dos programas de pós-graduação (mestrado e doutorado) e da maior parte das bolsas de estudo no Brasil, incluindo-se pós-doutorado. É também a agência reguladora dos programas de pós-graduação. O CNPq e algumas agências estaduais também oferecem bolsas para mestrado, doutorado e pós-doutorado.

para o Desenvolvimento Nacional (PACTI 2007-2010). Assim, os temas preferenciais seriam: Biotecnologia; Nanotecnologia; Tecnologias da Informação e Comunicação; Saúde; Biocombustíveis; Energia Elétrica, Hidrogênio e Fontes Renováveis de Energia; Petróleo, Gás e Carvão Mineral; Agronegócios; Biodiversidade e Recursos Naturais; Amazônia; Semi-árido; Mudanças Climáticas; Programa Espacial; Programa Nuclear; Defesa Nacional; Segurança Pública; Educação; Mar e Antártica e Inclusão Social (Brasil, 2008b). Os temas Educação, Mar e Antártica e Inclusão Social não faziam parte das áreas estratégicas previstas no PACTI 2007-2010 e a biotecnologia e a nanotecnologia são tratadas como *áreas portadoras de futuro*, deixando evidente sua prioridade.

Uma novidade no Edital 15/2008 foi a concepção de transferência de conhecimento para a sociedade, segundo a qual, além das publicações científicas, esperava-se que os Institutos tivessem *“um programa ambicioso de educação em ciência e difusão de conhecimento, conduzido por seus pesquisadores e pelos bolsistas a ele vinculados, focalizando preferencialmente no ensino médio e na educação científica da população em geral”* (Brasil, 2008b, p.9). Nesse sentido, o PACTI 2007-2010 previa, não como área estratégica, mas como uma das linhas de ação a popularização da ciência e da tecnologia, a melhoria do ensino de ciências e o desenvolvimento social. Essa repentina preocupação com o ensino de ciências, ainda que tangencial, tanto no PACTI quanto no Edital 15/2008, estava associada também a uma política de atração de novos talentos para a ciência e a tecnologia, incluindo-se os alunos dos níveis escolares básicos. Seguindo as observações feitas por Martins (2007), a saber, compreender as políticas em ciência e tecnologia como políticas sociais, o PACTI 2007-2010 afirma o seguinte:

Também serão desenvolvidas, em articulação com outras instituições públicas, ações voltadas para o desenvolvimento de tecnologias de utilização social, em particular em áreas como habitação, saúde, saneamento básico, agricultura familiar e de cooperativas populares para geração de emprego e renda, bem como de proteção ao consumidor-cidadão. (PACTI, 2007, p.61)

As ações propostas pelo PACTI 2007-2010 para o chamado desenvolvimento social, encontram-se no item intitulado “Tecnologias para o

Desenvolvimento Social”, e se referem à criação de centros vocacionais tecnológicos, inclusão digital, atenção aos desenvolvimentos regional e local, pesquisas aplicadas à segurança alimentar, ao desenvolvimento agropecuário e agroindustrial e capacitações em ciência, tecnologia e inovação (PACTI 2007-2010). Trata-se, portanto, de ações gerais que deveriam, supostamente, ser contempladas nos projetos a serem submetidos nas chamadas públicas envolvendo pesquisas em ciência e tecnologia, e em nanociência e nanotecnologia em particular. No entanto, Martins (2010) reafirma que, apesar dessa preocupação com o desenvolvimento social e com o ensino de ciências, as decisões políticas relativas aos rumos do desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia excluem os agentes sociais ou entidades representativas que não sejam aqueles associados ao meio empresarial, acadêmico e governamental. Ademais, Martins (ibid.) ressalta que haveria certa dissonância entre o MCT e os demais ministérios no que se refere aos recursos e ações aplicadas em nanociência e nanotecnologia, o que reduziria as políticas de governo nessas áreas às políticas do próprio MCT.

Em 2010, o MCT realizou a IV Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. Essas conferências têm por objetivo oferecer subsídios para as políticas de Estado para a ciência, tecnologia e inovação. As propostas apresentadas nessa conferência foram reunidas no Livro Azul (Brasil, 2010), sob a coordenação do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do MCT. Nesse documento, fica evidente o protagonismo do MCT nas definições das políticas públicas, conforme ressaltou Martins (2010). O Livro-Azul aponta os seguintes desafios para o Brasil:

O primeiro desafio é dar continuidade ao processo de ampliação e aperfeiçoamento das ações em CT&I tornando-as políticas de Estado. Em segundo lugar, precisamos expandir com qualidade e melhorar a distribuição geográfica da ciência. O terceiro desafio é melhorar a qualidade da ciência brasileira e contribuir, de fato, para o avanço da fronteira do conhecimento. Em quarto lugar, é preciso que Ciência, Tecnologia e Inovação se tornem efetivos componentes do desenvolvimento sustentável, com atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas empresas e incorporação de avanços nas políticas públicas. O quinto desafio é intensificar as ações, divulgações e iniciativas de CT&I para o grande público. E, finalmente, o sexto desafio é melhorar o ensino de ciências nas escolas e atrair mais jovens para as carreiras científicas. (Brasil, 2010, p.19)

Ou seja, o mesmo discurso presente nos documentos do MCT se repete nos textos que orientam as políticas de Estado em ciência e tecnologia, acompanhando, inclusive, a tendência em aproximá-la de uma política social. Um exemplo disso está na seguinte afirmação: *“É das inovações baseadas numa economia do conhecimento da natureza que o País poderá gerar a riqueza a ser utilizada na superação das carências sociais que nele ainda perduram”* (Brasil, 2010, p.27).

Especificamente em relação à nanociência e à nanotecnologia, estas permanecem, juntamente com a biotecnologia, como tecnologias portadoras de futuro, reforçando sua relevância na indústria dos próximos anos e na obtenção de novos materiais. Todos esses documentos são muito eficientes em explorar temas sensíveis à administração pública. O Livro Azul associa, por exemplo, as pesquisas em nanotecnologia, além de outras áreas, às operações em plataformas de petróleo e à indústria naval. Isso é muito relevante, na medida em que o Brasil estava iniciando a exploração de petróleo na camada pré-sal e havia incrementado o projeto de construção de submarinos, convencionais e nucleares, com tecnologia nacional. Temas como energia nuclear, vigilância por satélites e radiofármacos, entre outros, também são recorrentes.

Nos anos seguintes, novos editais e chamadas públicas foram lançadas pelo MCT. Plentz e Fazzio (2013) destacam o Edital MCT/CNPq 74/2010, que visava a ampliar as redes cooperativas em nanociência e nanotecnologia, e o Edital MCTI/CNPq 17/2011, destinado a criar redes cooperativas de pesquisa nas áreas de nanotoxicologia e nanoinstrumentação. De acordo com o Relatório de Gestão Institucional de 2011, ainda que se faça menção à pesquisa básica, o objetivo era priorizar os projetos que resultassem em produtos (Brasil, 2012). O Edital MCTI/CNPq 20/2011 era bastante específico, pois apoiava projetos na área de nanobiotecnologia *“com vistas à obtenção de produtos finais para o mercado, nas áreas de medicamentos, vacinas e sensores, em cooperação com a República de Cuba”* (Brasil, 2012, p.98). Nesse Edital havia indicação de que os projetos deveriam se ocupar também de investigar os potenciais riscos e impactos da aplicação de tecnologias de base nanobiotecnológica. O Edital MCTI/CNPq 21/2011, similar ao anterior, apoiaria projetos da área de

nanotecnologia em cooperação entre Brasil e México, nas áreas de Agronegócio, Eletrônica, Energia, Materiais, Meio Ambiente, Nanobiotecnologia, Saúde, Sensores e Reguladores (Brasil, 2012). Outros editais seguiram na mesma linha, direcionados a áreas específicas e/ou a acordos de cooperação entre o Brasil e outros países. A nanotecnologia também foi contemplada no Programa de Apoio à Cooperação Científica e Tecnológica Trilateral entre Índia, Brasil e África do Sul – Programa IBAS - 2011.

Uma alteração relevante que ocorreu a partir da segunda década de 2000 na agenda dos temas de pesquisas sempre presentes nos editais e programas do MCT em relação à nanotecnologia foi o crescente interesse em nano-toxicologia. Sobre isso, Plentz e Fazzio (2013) afirmam que:

O objetivo é capacitar o Brasil para se empenhar no processo de avaliação de riscos e realizar a regulação do uso e aplicação de nanotecnologias. Há intensa atividade nessa área como parte do esforço recente para regular o uso de nanotecnologias gerando publicações científicas e também com normas específicas. (Plentz e Fazzio, 2013, p.24)

Os autores ressaltam que até então o melhor material disponível relativo aos cuidados em trabalhar com a nanotecnologia era um manual de práticas gerais de segurança com nanomateriais elaborado pelo Instituto Nacional para Segurança Ocupacional e Saúde dos Estados Unidos da América.

Em 2012, o MCTI editou a Portaria 245, a qual instituiu o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias – SisNANO. Trata-se de uma importante iniciativa do MCTI para aproximar e ampliar o acesso dos pesquisadores dos setores público e privado na utilização das estruturas dos laboratórios de nanotecnologia. O SisNANO integra o Programa Brasileiro de Nanotecnologia (PBN), sendo, portanto, sua gestão e suporte financeiro de responsabilidade do MCTI. Em síntese, o SisNANO consiste em um acordo de cooperação entre instituições, públicas ou privadas, que já possuem estruturas laboratoriais de pesquisa em nanotecnologia e o MCTI, com duração de 24 a 60 meses. Entretanto, a participação desses laboratórios no SisNANO ocorre por meio de concorrência em chamadas públicas, submetendo-se a um conjunto de exigências e avaliações anuais. A Portaria MCTIC 2376, de maio de 2019, tornou

obrigatório aos laboratórios interessados em compor o SisNANO, ou manter-se com vínculo, a existência de projetos em parcerias com empresas. De acordo com Plentz e Fazzio (2013), 50 propostas foram submetidas na primeira chamada pública e 26 foram aprovadas e indicadas para compor o SisNANO. Entre as instituições aprovadas encontram-se o Laboratório Integrado de Nanotecnologia – LIN/IPEN e o Núcleo de Bionanomanufatura do IPT de São Paulo, instituições nas quais trabalham os pesquisadores entrevistados para esta tese.

Outra fonte de recursos para projetos de pesquisa e desenvolvimento em ciência e tecnologia, e em nanociência e nanotecnologia em particular, são os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia, vinculados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Trata-se de recursos oriundos de vários ministérios e visam a garantir a permanência de investimentos em setores considerados estratégicos para o país, tendo como meta aproximar os centros de pesquisa públicos e privados dos setores produtivos. Cesar Jr. (2010), Plentz e Fazzio (2013) e Fernandes (2007) destacam que as áreas de nanociência e nanotecnologia receberam recursos substanciais dos Fundos Setoriais, incluindo-se ações relevantes, como a implementação do SisNANO. Invernizzi, Korbes e Fuck (2012) ressaltam também a participação do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) no apoio a empresas que trabalham com nanotecnologia e biotecnologia. Esses recursos se somaram àqueles já mencionados. Nessa primeira década de ações em relação à nanociência e à nanotecnologia, verificou-se, conforme já foi apontado, um apelo econômico para garantir investimentos na área, muito similar ao que ocorreu nos Estados Unidos, conforme destacaram Joachim e Plévert (2009).

4.3. A nanotecnologia e a indústria nacional

Nos anos seguintes à implementação do SisNANO, a nanotecnologia continuou a figurar como área estratégica para o avanço científico-tecnológico e, segundo a concepção vigente, para o desenvolvimento econômico e social do

país. Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) ressaltam que isso fica evidente nos Planos Plurianuais de 2012-2015 e de 2016-2019. No Relatório Anual de Avaliação do PPA 2012-2015, ano-base 2015 (Brasil, 2016b), dentro do Programa Ciência, Tecnologia e Inovação, recebe destaque os investimentos em áreas capazes de fazer avançar as pesquisas nos meios empresariais, mantendo a tendência de buscar a aproximação entre instituições de pesquisa e as empresas. Nesse sentido, *“foram priorizadas tecnologias transversais, como biotecnologia e nanotecnologia, que possuem aplicações nos mais diversos setores”* (Brasil, 2016b, p.193). E, complementa, afirmando que *“para a economia brasileira dar o salto tecnológico necessário, é fundamental fortalecer e ampliar os instrumentos públicos de fomento à inovação”* (ibid.). Essa inovação, segundo o Relatório, ocorreria nas empresas. Por essa razão, o documento afirma que *“diversos esforços foram envidados no período 2012-2015 com o intuito de aumentar o número de empresas com atuação em nanotecnologia”* (ibid. p.204). Uma das principais ações para atingir essa meta foram, segundo o Relatório, os investimentos em estruturas para a pesquisa, sendo que:

O mais importante pilar da IBN é a criação do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO), sistema de laboratórios multiusuários direcionados à pesquisa, desenvolvimento e inovação em nanociência e nanotecnologia. O SisNANO permite que empresas e laboratórios interajam, estimulando o uso e produção com base nanotecnológica pela indústria nacional. (Brasil, 2016b, p.204)

Isso fez com que o MCTI se ocupasse também de ações relacionadas à regulação da nanotecnologia, pois cada vez mais produtos com base nanotecnológica poderiam se apresentar ao mercado. Entretanto, ver-se-á mais adiante que as pesquisas em nanotecnologia nas empresas ainda é um desafio a ser superado. O mesmo ocorre com a inovação. Na primeira década de ações encabeçadas pelo governo Federal verifica-se que: *“os cientistas, ao assumir o discurso da inovação, apresentam-se como porta-vozes do setor produtivo, legitimando seus interesses científicos em termos do potencial da nanotecnologia para o desenvolvimento econômico”* (Invernizzi, Foladori e Quevedo, 2019, p.26). As autoras ressaltam ainda que a forte ênfase que a inovação ganhou no discurso internacional, em especial na primeira década do

milênio, ofereceu uma oportunidade para consolidar o papel da ciência na inovação e no desenvolvimento, e a nanotecnologia, dado seu potencial, ganhou espaço na agenda política. Esse ambiente favorável permitiu inclusive impor certa urgência nas ações que garantissem investimentos na área.

No entanto, Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) destacam que, apesar da nanociência e nanotecnologia serem tratadas sempre como áreas estratégicas para o desenvolvimento do país, os investimentos não foram estáveis, tendo alguns períodos de escassez, notadamente a partir de 2013. De acordo com as autoras:

O posicionamento discursivo da nanotecnologia como uma área estratégica da PCTI – vista como um meio de inserção competitiva do país na economia do conhecimento, e como portadora de benefícios nas áreas de saúde, ambiente, energia, agricultura, entre outras – contrasta com a instabilidade do orçamento e a necessidade de luta constante por recursos. (Invernizzi, Foladori e Quevedo, 2019, p.32)

É relevante destacar que, como é esperado, outras áreas da ciência e da tecnologia também buscam recursos, o que gera certa disputa entre elas. Nos anos de 2013 e 2014, de acordo com Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019), iniciou-se uma queda nos investimentos oriundos do MCTI para a ciência e a tecnologia. As autoras fazem uma relação entre os períodos de condições mais favoráveis para a previsão e captação de recursos para a nanociência e nanotecnologia e a presença de pesquisadores, na maioria físicos, em cargos importantes no MCT e MCTI na primeira quinzena do século XXI, incluindo-se o período entre 2005 e 2011, no qual o Ministro da Ciência e Tecnologia, Sérgio Machado Rezende, era um físico-engenheiro⁹⁶. De janeiro de 2012 a março de 2014, o Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação foi o físico e matemático Marco Antonio Raupp⁹⁷. No entanto, o cenário econômico nacional já estava em um período desfavorável.

⁹⁶ Rezende foi também secretário de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do estado de Pernambuco, de 1995 a 1999. Foi professor universitário.

⁹⁷ Raupp ocupou também os cargos de diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de 1985 a 1989, e de presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), de 2009 a 2011. Foi professor universitário.

Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) ressaltam ainda que parece ter havido “*um distanciamento entre um projeto ambicioso para desenvolver no país uma tecnologia emergente e as condições concretas para efetivá-lo*” (ibid. p.32), o que revelaria um descompasso entre as propostas e planos e o contexto real. O Relatório do PPA 2012-2015 corrobora essa análise ao destacar que:

O cenário econômico do Plano Plurianual 2012-2015 foi construído tendo em vista a manutenção e intensificação do modelo de desenvolvimento da última década. Buscou-se conciliar crescimento econômico com geração de emprego, estabilidade macroeconômica e redução da desigualdade e da pobreza. Entretanto, o crescimento econômico que era previsto não se concretizou. Como consequência, houve contingenciamento de recursos, sobretudo nos últimos dois anos, que impactou na gestão e na execução de algumas metas. (Brasil, 2016b, p.191)

Além da queda dos recursos disponíveis, constata-se uma percepção frágil do modelo econômico que sustentaria os investimentos desejados. O distanciamento entre o proposto e o real também se observa nos grandes objetivos dos Planos Plurianuais e Programas do MCTI. O Relatório do PPA 2012-2015 destaca, por exemplo, que um dos grandes objetivos do governo era “*fomentar a economia verde e criativa; e contribuir para a erradicação da pobreza e redução das desigualdades sociais*” (Brasil, 2016b, p.191). Entretanto, os editais e chamadas públicas não dialogam efetivamente com esses objetivos, conforme já foi tratado anteriormente.

O Relatório do PPA 2012-2015 chama a atenção para um dos grandes desafios para o Brasil se aproximar dos países desenvolvidos no que diz respeito à ciência e à tecnologia: “*nos últimos 30 anos, a matriz de C&T mundial se tornou mais densa e complexa. Isso significa que houve um forte estreitamento entre a produção científica dos países e o desenvolvimento de novas tecnologias*” (Brasil, 2016b, p.192). No entanto, o próprio documento reconhece que o Brasil obteve avanços na produção científica mundial, mas não obteve os mesmos resultados na produção tecnológica. O mesmo ocorre, de acordo com o Relatório, em relação à inovação.

Na passagem do PPA 2012-2015 para o PPA 2016-2019 não ocorrem mudanças significativas em relação à nanociência e à nanotecnologia. O PPA

2016-2019, ano base 2016 (Brasil, 2017), menciona os nanossatélites dentro da política espacial brasileira e aponta a implementação do SisNANO como uma das principais ações dentro do campo das nanotecnologias orientadas pelo MCTI. O Relatório do PPA 2016-2019, ano base 2019, mantém a nanotecnologia como área estratégica (Brasil, 2019a). Entretanto, surgem especialidades que não estavam presentes nos Planos Plurianuais anteriores e são tratadas com destaque, tais como nanoemulsão para proteção de frutas e hortaliças, vitamina C nanoencapsulada, geotecnologias e nanossatélites. Nos relatórios do PPA 2016-2019, anos base 2018 e 2019, verifica-se que há poucas referências à nanotecnologia, se comparado aos relatórios anteriores. O Relatório do ano base 2017 ainda traz o discurso de investimentos no desenvolvimento tecnológico e inovação nas empresas, sendo a nanotecnologia uma das áreas consideradas relevantes no enfrentamento desse desafio.

Em 2013 é lançada a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), em substituição à Iniciativa Brasileira N&N de 2001. Em 2019, o MCTIC publicou a Portaria 3459, de 26 de julho de 2019, que institui a IBN. Todavia, não há mudanças substanciais nas ações a serem implementadas para a área em relação à Iniciativa de 2001, com os mesmos destaques em relação à importância da nanotecnologia para o desenvolvimento econômico e social do país, além do científico e tecnológico. Um marco regulatório e um Programa Nacional de Nanosseguurança passam a integrar os eixos estratégicos da IBN em acordo com o Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação 2018-2022. Ainda que inicialmente tenha ocorrido certa resistência dos grupos que influenciaram as políticas em nanotecnologia, essa era uma exigência que se impunha às ações orientadas pelo MCTI, na medida em que produtos que utilizam essa tecnologia passaram a ser disponibilizados no mercado, nacional e internacional.

O MCTIC lançou, em 2019, o Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação para as Tecnologias Convergentes e Habilitadoras - PACTI 2019, tendo o Volume I dedicado ao Plano de Ação em CTI para Nanotecnologia. O documento afirma estar em perfeita consonância com a Estratégia Nacional de

Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022 - ENCTI 2016-2022, tendo a seguinte meta:

(...) orientar a implementação das ações para a área de nanotecnologia, de forma a contribuir com o desenvolvimento econômico e social do País. Por se tratar de um tema transversal, ela perpassa praticamente todos os setores industriais, em todas as etapas de produção, desde o processo de fabricação até a utilização pelo usuário final e seu descarte. (Brasil, 2019b, p.7)

Ou seja, a associação direta da ciência e tecnologia com o desenvolvimento econômico e social continua presente nos documentos do MCTIC. Ao fazer referência ao ENCTI 2016-2022 e à nanotecnologia, O PACTI 2019 reforça a *“importância desta área do conhecimento para o atingimento da autonomia nacional em termos econômicos, industriais e de desenvolvimento social – pilares da soberania de um país em um mercado globalizado”* (Brasil, 2019b, p.7). No entanto, esse documento traz alguns pequenos avanços ao mencionar uma preocupação com o desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável e com todas as etapas dos processos de fabricação, conforme mencionado no extrato anterior, incluindo-se o descarte. O documento também ressalta que foram incorporadas nas ações do Plano a busca pela consolidação de um marco legal e diretrizes de biossegurança para as atividades que envolvam a nanotecnologia. Outra novidade são as chamadas tecnologias convergentes e habilitadoras. Sobre isso, o PACTI 2019 esclarece o seguinte:

Nas Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, comumente conhecidas como *Key Enabling Technologies* (KET), o termo “convergente” refere-se à habilidade das tecnologias combinarem esforços para sustentar um maior desenvolvimento tecnológico, e o termo “habilitadora”, à capacidade da tecnologia em direcionar avanços tecnológicos disruptivos e, conseqüentemente, uma mudança cultural. Esse conjunto de tecnologias tem o poder de causar mudanças radicais, transformando a humanidade e sua cultura, bem como a tendência de gerar um ciclo acelerado de desenvolvimento e um impacto profundo em todos os campos de conhecimento, beneficiando o aumento do desempenho humano, seus processos e produtos, a qualidade de vida e justiça social. (Brasil, 2019b, p.8)

Verifica-se, portanto, que permanecem as mesmas concepções de modelo linear do desenvolvimento tecnológico, de um caminho inexorável a ser seguido e da associação da tecnologia com o desenvolvimento social, replicando o que já

havia sido apontado por Martins (2007, 2010) nos Planos Anteriores. Evidencia-se também no extrato acima um certo determinismo tecnológico. Na sequência, o PACTI 2019 destaca que:

A forma para se alcançar esses objetivos é aliar o conhecimento gerado na academia – que, desde a sua concepção, tenha buscado como meta a solução de problemas em processos, produtos e serviços científicos, tecnológicos e inovadores – com a capacidade gerencial e transformadora da economia do setor industrial, tendo como base a demanda mercadológica e social. Portanto, a estratégia básica deste Plano é a promoção da aproximação e integração entre a academia e a indústria. (Brasil, 2019b, p.8)

A estratégia adotada também é a mesma dos Planos e Programas anteriores: aproximar a academia da indústria. Essa integração é defendida de maneira contundente no documento e as ações a serem implementadas pelo MCTIC nesse sentido estarão sob a gestão da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI). Também ganha força a urgência da inovação como possibilidade de agregar valores aos recursos naturais do país. Para isso, o documento ressalta a necessidade de promover uma cultura de empreendedorismo e inovação na sociedade e destaca a necessidade de buscar recursos externos ao MCTIC. Nesse aspecto, o documento é bastante diretivo ao assumir que *“a estratégia orçamentária da SEMPI/MCTIC reforça que a geração de conhecimento (na academia) deve ser direcionada pela demanda (da indústria)”* (Brasil, 2019b, p.14). Assim, a agenda de pesquisas financiadas pelo governo federal estaria subordinada aos interesses da indústria e do mercado.

Para reforçar a necessidade da aproximação entre academia e indústria, além de uma resposta às demandas de mercado, o PACTI 2019 afirma que o mercado de base nanotecnológica está em ascensão e movimenta recursos da ordem de trilhões de dólares⁹⁸. Com isso, defende-se que o Brasil empreenda um esforço para integrar esse mercado promissor. Nesse sentido, o Plano ressalta a importância de criar e consolidar acordos de cooperação internacional com países e centros proeminentes nas várias áreas da nanotecnologia. Os principais acordos de cooperação em curso, segundo o documento, ocorrem

⁹⁸ O Banco Mundial e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são as principais fontes dessas estimativas econômicas citadas no documento.

com Argentina, China, União Europeia, Portugal, Espanha e BRICS⁹⁹, com destaque para o Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia, criado em 2005, e o Centro Brasil China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia, criado em 2012. Esses acordos levaram o Brasil a investir também na nanosseguurança, tanto nos aspectos ocupacionais quanto ambientais e jurídicos. Essa necessidade ganhou força em 2014, quando o Brasil passou a integrar o Projeto NANoREG, iniciativa proposta pela União Europeia que envolve pesquisas para a regulamentação internacional em nanotecnologia.

No entanto, o PACTI 2019 aponta a questão regulatória e a carência de recursos humanos capacitados como os grandes desafios para o país avançar na nanotecnologia e contribuir para o desenvolvimento econômico e social de maneira sustentável. De acordo com o documento,

A falta de um marco regulatório e de uma estrutura para transferência de tecnologia que forneça a segurança necessária tanto para o pesquisador, em relação ao risco de propriedade intelectual, quanto para o produtor, em relação aos aspectos sanitários, ambientais e, em última instância, jurídicos, inviabilizam uma sinergia efetiva entre os dois atores do sistema de PD&I. (Brasil, 2019b, p.40)

Essas deficiências, segundo o Plano, diminuem o interesse em investimentos de capital em nanotecnologia no Brasil, dificultam a importação de matéria-prima e a inserção de nanomateriais e nanoprodutos nos mercados de consumo. Ao mesmo tempo, o Brasil vem se alinhando com as ações internacionais de regulação das nanotecnologias e dos nanoprodutos. Sua participação no Projeto NANoREG e adesão aos protocolos da OCDE, entre outras organizações internacionais, têm sido fundamentais (Brasil, 2019b).

As chamadas públicas para projetos em nanociência e nanotecnologia que se seguiram ao PACTI 2019, e mesmo antes, incorporaram a tendência em atribuir um peso maior às demandas da indústria e do mercado. A Chamada Pública CNPq/MCTIC 01/2020 – Empreendimentos e Soluções de Base Tecnológica na Área de Grafeno, por exemplo, tinha por finalidade financiar projetos de *“pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação que*

⁹⁹ BRICS – Bloco de cooperação econômica formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

visem gerar empreendimentos e soluções de base tecnológica, tendo sua funcionalidade principal oriunda ou potencializada pelo Grafeno” (Brasil, 2020, p.1). Além disso, os projetos deveriam ter como objetivo *“a geração de Produto Mínimo Viável – MVP¹⁰⁰ e modelo de negócio validado e devem ser executadas por equipes empreendedoras ou Startups que se encontrem em estágio inicial”* (ibid.). Dentre as temáticas preferenciais da proposta, encontravam-se: soluções para o sistema único de saúde brasileiro; aumento da produtividade no agronegócio; soluções para petróleo e gás; conectividade urbana e internet das coisas; soluções na produção e purificação do grafeno; inovações em tecnologias da informação e da comunicação. Ou seja, a prioridade é a inovação tecnológica e o empreendedorismo e suas viabilidades econômicas para buscar soluções práticas em áreas estratégicas.

Essas mesmas orientações se encontram na Chamada Pública CNPq/MCTIC 18/2019 – Programa Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias – SisNANO 2.0, cuja finalidade foi selecionar os institutos e laboratórios que comporiam o SisNANO em sua segunda fase de implementação. Entre seus objetivos, além da promoção da pesquisa em nanotecnologia, encontra-se o incentivo ao *“empreendedorismo de base tecnológica em nanotecnologia”* e *“estimular a interação entre academia e o setor produtivo para o desenvolvimento de soluções tecnológicas baseadas em nanotecnologias”* (Brasil, 2019c, p.1). Esse, aliás, é um dos grandes objetivos do próprio Programa SisNANO, ou seja, a aproximação entre a pesquisa e os setores de produção. Por isso, um dos principais critérios de avaliação das propostas é a *“relevância das linhas de pesquisa e seu impacto econômico e social para o país”* (ibid., p.9). Braga (2013) afirma que as políticas em relação à nanotecnologia e as políticas industriais estão estreitamente vinculadas desde 2004 nos Programas e Planos do Governo Federal. Isso se repete nas políticas públicas atuais, conforme foi mencionado anteriormente.

Uma ação que consolidou essa aproximação entre academia e indústria ocorreu em 2013 com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), sob a gestão do MCTI. Sua missão institucional

¹⁰⁰ *Minimum Viable Product* (MVP) – trata-se de um conceito típico do empreendedorismo e se refere à versão mais simples e barata de um produto que possa ser comercializado.

consiste em *“contribuir para o desenvolvimento da inovação na indústria brasileira, por meio do fortalecimento de sua colaboração com institutos de pesquisas e universidades credenciadas”* (EMBRAPII, 2016, p.2). Para isso, a EMBRAPII realiza uma avaliação e posterior credenciamento de instituições de pesquisa que encaminham propostas para a entidade. Uma vez aprovadas, as instituições passam a ser credenciadas como Unidades ou Polos EMBRAPII (UE), reconhecidos como *“centros de inovação com grande capacidade técnica para resolver as demandas das empresas por soluções tecnológicas e inovações”* (ibid., p.5). Com esse *status*, as unidades podem submeter projetos de pesquisa e inovação, sempre em conjunto com empresas, e, caso o projeto seja aprovado, receberá uma terça parte dos recursos totais para a execução do projeto. O restante é de responsabilidade da empresa e da unidade. Os recursos oriundos da EMBRAPII não exigem reembolso, ou seja, são investimentos destinados à pesquisa e inovação. Com isso, a EMBRAPII espera, entre outras coisas, diminuir os riscos de investimentos das empresas.

A EMBRAPII contava com 42 unidades credenciadas até 2017. No entanto, o Relatório Anual 2020 (EMBRAPII, 2021) destaca que, até aquela data, havia 61 unidades credenciadas, sendo 224 novos projetos contratados por 219 empresas, em 2020. Houve um aumento de 25% de projetos em relação ao ano anterior, sendo que 30 deles estavam associados a equipamentos utilizados no tratamento da Covid-19, como respiradores, kits para diagnóstico, equipamentos de proteção individual, entre outros. O relatório destaca ainda que áreas estratégicas como Rede de Inteligência Artificial e Rede de Grafeno continuaram a crescer, bem como os acordos e protocolos de cooperação com vários países.

Como meta para as ações futuras da EMBRAPII, destaca-se o apoio ao *“ciclo completo de desenvolvimento, desde a fase pré-competitiva até a etapa pré-comercial, incluindo o apoio financeiro para alavancar a capacidade de acesso ao mercado daquele novo produto ou serviço”* (EMBRAPII, 2021, p.39), reduzindo, com isso, os riscos tecnológicos e mercadológicos. Há também a previsão de oferta de serviço de assessoria e consultoria nos processos de inovação. Em relação à Rede de Inovação em Grafeno, o objetivo para os

próximos anos, de acordo com o Relatório Anual 2020, é ampliar a capacidade de aplicações tecnológicas do Grafeno nas 15 unidades contratadas, a fim de fortalecer a indústria do setor.

Como desafios a serem superados, o Plano Diretor 2017-2019 da EMBRAPPII aponta que, apensar dos avanços científicos e de várias instituições de pesquisa terem a capacidade de se tornarem Unidades EMBRAPPII, falta experiência para o desenvolvimento de projetos em parcerias com as empresas e a indústria. Ao mesmo tempo, poucas empresas têm estruturas e investimentos em pesquisa e inovação. Assim, em seu planejamento estratégico, há previsão de associar-se ao BNDES para disponibilizar recursos às empresas interessadas em desenvolver projetos de PD&I. Paralelamente a isso, a EMBRAPPII oferecerá suporte e formação para a proposição e gestão de projetos que envolvam empresas e academia, conforme destaca o Relatório Anual 2020. Com isso, espera-se ampliar a capacidade de inovação das empresas brasileiras tornando-as mais competitivas no mercado internacional.

Outra iniciativa que teve repercussão nas políticas de nanociência e nanotecnologia foi a criação da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) pela Lei 11.080, de 30 de dezembro de 2004 e regulamentada pelo Decreto 5.352, de 24 de janeiro de 2005. Em seu art. 2º, o Decreto estabelece que *“compete à ABDI promover a execução de políticas de desenvolvimento industrial, especialmente as que contribuam para a geração de empregos, em consonância com as políticas de comércio exterior e de ciência e tecnologia”* (Brasil, 2005, p.1). De acordo com Braga (2013), a ABDI se caracteriza como uma ponte de ligação entre os setores público e privado, pesquisa e produção. Para isso, a Agência disponibiliza estudos estratégicos acerca de vários temas relacionados à inovação e às políticas industriais, bem como ao desenvolvimento científico e tecnológico. Especificamente em relação à nanotecnologia, Braga (ibid.) destaca que a ABDI organiza eventos de apoio ao Programa de Nanotecnologia, atuando também *“como repositório de informações e dados sobre a nanotecnologia no Brasil e no mundo”* (ibid. p.181). Nesse sentido, a ABDI elabora e disponibiliza aos interessados um

grande número de estudos, relatórios e coletâneas relativas aos mais variados temas, entre eles a ciência e tecnologia e a indústria nacional¹⁰¹.

Entre as publicações sobre nanotecnologia, destaca-se o texto intitulado “*Nanotecnologias: subsídios para a problemática dos riscos e regulação*” (ABDI, 2011). A publicação salienta que cada vez mais produtos produzidos em base nanotecnológica, seja em sua produção seja em sua composição, estão sendo disponibilizados no mercado. Assim, conforme já foi apontado anteriormente, exige-se uma regulação consistente para esse novo segmento. Ademais das questões de segurança na produção e no consumo ou uso da nanotecnologia, tornam-se relevantes também as questões relacionadas aos riscos ambientais e à própria percepção pública sobre seus riscos e benefícios. O texto afirma ainda que as pessoas, de modo geral, conhecem pouco sobre nanotecnologia e isso poderia ser um obstáculo para a aceitação de produtos com essa matriz tecnológica. De acordo com a publicação,

(...) para a nanotecnologia receber grande aceitação e ser adotada, cada nova descoberta precisa ser amplamente percebida como algo que venha a satisfazer uma necessidade crítica para uma ampla audiência. Mesmo assim, as taxas de aprovação variam – alguns indivíduos adotam rapidamente as mais recentes inovações, enquanto muitos são mais lentos ou resistentes às mudanças. (ABDI, 2011, p.16)

Assim, entende-se que a percepção pública em relação à nanotecnologia deveria ser considerada nos marcos regulatórios, pois a sensibilidade pública não segue a mesma lógica do expert e/ou do cientista (ABDI, 2011). Paradoxalmente, o texto da ABDI ressalta que ainda não existe no Brasil pesquisas em larga escala a respeito da percepção pública sobre a nanotecnologia. Paralelamente a isso, ainda não se conhece plenamente os riscos oriundos da produção, manuseio ou consumo de produtos de base nanotecnológica para estabelecer critérios plenamente adequados para a avaliação dos riscos.

Em razão desse cenário, a ABDI defende que a avaliação dos riscos e impactos da nanotecnologia se transforme em objeto de pesquisa e, por

¹⁰¹ Todas as publicações estão disponíveis no sítio www.abdi.com.br/conhecimento.

consequência disso, que as agências financiadoras contemplem também projetos nessas áreas. A ABDI se soma à literatura internacional especializada para ressaltar a importância de investimentos nas pesquisas em nanotoxicologia, a fim de que se conheçam os reais riscos inerentes aos materiais nanoestruturados e à nanotecnologia em geral. No entanto, conforme destacam Martins (2007, 2010), Invernizzi, Korbes e Fuck (2012), poucas ações foram implementadas pelo MCTI para financiar e/ou incentivar pesquisas sobre tais temas. Invernizzi, Korbes e Fuck (2012) ressaltam também que há grupos de pesquisa no Brasil que trabalham com toxicologia, impactos sociais, econômicos e ambientais, marcos regulatórios e normas jurídicas relacionadas à nanotecnologia, mas não foram contemplados por chamadas públicas específicas das agências de fomento. São iniciativas dos pesquisadores interessados nesses temas e que buscam recursos em chamadas públicas gerais.

Essas iniciativas do MCTI e das agências de fomento, conforme será visto no capítulo seguinte, influenciam as práticas e as concepções dos pesquisadores.

Capítulo 5: Análise dos Dados

Em minha opinião as tecnologias são como são porque há pessoas que tomam decisões para que sejam assim. E o que podemos conjecturar à luz das análises filosóficas e sociais é que se poderiam tomar decisões distintas sem renunciar por isso a impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a aproveitar suas benéficas consequências sociais e econômicas. (Quintanilla, 2017, p.27)

Os capítulos anteriores apresentaram as bases teórico-metodológicas da pesquisa e os contextos histórico e político-econômico da nanotecnologia e das ações implementadas no Brasil para desenvolver essa nova área. A partir disso, conforme foi tratado no Capítulo 2, serão expostos e analisados os dados obtidos por meio das entrevistas com os pesquisadores dos institutos, a fim de estabelecer uma aproximação entre culturas, a saber, do autor desta tese e daqueles que trabalham cotidianamente com projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Trata-se, portanto, de uma reconstrução, com vistas a investigar as concepções e significados compartilhados por um grupo social sob as perspectivas já estabelecidas, em especial, as reflexões filosóficas que compõem o Capítulo 1. Entretanto, cabe ressaltar que tais concepções e significados, ainda que possam ser frutos de longos processos de interiorização, podem não ser totalmente conscientes e estão sujeitas a mudanças.

Considerando que se trata de uma reconstrução, além do caráter descritivo de uma pesquisa qualitativa, deve-se privilegiar um olhar para o conjunto. Por essa razão, a integralidade das transcrições está no Anexo B. Os extratos das declarações apresentadas a seguir são literais, com pequenas correções de vícios de linguagem que não modificam seu conteúdo e facilitam a

leitura. Expressões colocadas entre colchetes [] servem para omitir informações que poderiam identificar o entrevistado. Com a mesma finalidade, foi omitido o gênero dos participantes, tratando-os genericamente no masculino. Cada participante foi identificado com a letra P (pesquisador), seguido de um número para diferenciá-los. Além das categorias de análise, oriundas do decálogo proposto por Quintanilla (2017) para as tecnologias apropriáveis, foi acrescentado um item final com algumas declarações relevantes que surgiram nas entrevistas a respeito das práticas dos pesquisadores.

Outro aspecto importante a considerar diz respeito à fase de trabalho dos entrevistados dentro do processo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Os próprios pesquisadores a chamam de *fase de bancada*, ou seja, a fase desenvolvida em laboratório e/ou em ambientes controlados, cuja produção tem caráter inicial e não atinge a escala comercial.

5.1. Uma tecnologia aberta

Ao iniciar cada uma das entrevistas, conforme sugere Triviños (1997), os pesquisadores foram convidados a falar sobre os seus projetos de pesquisa em nanotecnologia, atuais ou recém-concluídos. Além de diminuir o grau de incertezas dos momentos iniciais da entrevista, essa abordagem permite que os entrevistados tratem de temas gerais de seus domínios e forneçam dados importantes para gerar novos questionamentos eventualmente não previstos pelo entrevistador. Isso se confirmou em todas as entrevistas.

Em alguns casos, ao iniciarem suas exposições sobre seus projetos, alguns entrevistados revelaram uma característica marcante em projetos de P&D em tecnologia, conforme se verifica na fala a seguir:

“Primeiramente, todos nós pesquisadores temos um contrato de confidencialidade com o próprio [Instituto]. Então, a partir do momento em que a gente é contratado, já temos um contrato de sigilo de tudo o que a gente trabalha com o [Instituto]. Em paralelo, sempre que a gente recebe uma empresa, assim como eu estou te recebendo aqui, a gente recebe um pesquisador de uma empresa que quer apresentar uma demanda e discutir possibilidades, a gente pode, antes mesmo de qualquer conversa, assinar um [contrato] com a empresa.” (P1)

Ou seja, qualquer projeto de pesquisa nesse caso já nasce ao abrigo de restrições em relação à sua divulgação, tornando o conhecimento tecnológico produzido uma propriedade exclusiva dos contratantes. Distancia-se, portanto, de uma tecnologia aberta. Vale dizer que essa imposição legal eventualmente não se restringe ao artefato tecnológico produzido, como se observa nos exemplos a seguir:

“Se a pessoa é concursada, beleza, já é funcionário; ele tem que seguir as regras de sigilo do Instituto. Se a gente precisa de uma mão de obra específica para um projeto, a gente contrata ele via CLT¹⁰².”
“É por tempo determinado para aquele projeto. Então, ele já entra no projeto sabendo que ele não vai poder publicar, que aqueles resultados são de propriedade do [Instituto] e da empresa.” (P5)

A necessidade de um controle das informações para assegurar o cumprimento dos contratos de sigilo impõem restrições inclusive nas participações dos projetos, levando a contratar pesquisadores com atuações específicas e cientes das limitações para publicar seus resultados. Isso traz outra consequência em relação aos alunos de pós-graduação, segundo P5:

“Não envolve. A gente não tem bolsistas de mestrado e doutorado nesses projetos, justamente para não ter esse conflito; porque você tem o aluno de mestrado num projeto que ele não vai poder publicar nada. O que ele vai fazer?” (P5)

No caso desses projetos de P&D em tecnologia, objetos de contratos de sigilo, a participação de alunos de pós-graduação também se torna problemática segundo P5, pois poderia ter implicações em suas carreiras pela impossibilidade de publicar, o que é frequentemente exigido para obter financiamentos e contratações. Dessa forma, evita-se que sejam prejudicados.

No entanto, os pesquisadores também enfrentam essa dificuldade em administrar as imposições do contrato e a necessidade de cumprir metas, entre as quais estão as publicações científicas. Em relação a isso, dois dos entrevistados destacaram que:

¹⁰² Trata-se de um conjunto de leis que permite a contratação por tempo determinado.

“Então, é importante. Por isso que a [diretoria] tem ficado em cima dessa cobrança, porque todo ano, chega no fim do ano, a chefia tem que apresentar para a [diretoria] um planejamento do próximo ano e lá tem os indicadores. Então, lá ele tem que colocar um número mínimo do que a gente vai entregar no próximo ano, publicações, tudo.” (P8)

“Então, a gente tem publicações, a gente tem patentes, é uma meta. A gente sempre busca, se possível, patentear em parceria com a empresa. Para nós, é importante.” (P5)

Os pesquisadores dos Institutos, assim como os docentes das Universidades em geral, são avaliados pelo impacto de suas publicações. No caso apontado pelos entrevistados, há basicamente duas possibilidades: a primeira, refere-se a pesquisas que envolvem alunos de pós-graduação ou projetos financiados pelos próprios Institutos, sem a participação de empresas privadas. A segunda, consiste em negociar com a empresa contratante a possibilidade de publicar resultados parciais ou mesmo uma parte do conhecimento produzido. Duas declarações ilustram essas alternativas:

“[...] as pesquisas que a gente faz com pós-graduandos, no âmbito das coorientações e no âmbito que a gente chama de projetos de capacitação, são tecnologias que a gente publica artigo, que a gente disponibiliza para empresas. Se a empresa tiver interesse em olhar aquela tecnologia, investir ou dar continuidade, porque, às vezes, a gente não vai até o fim [...]” (P5)

“Agora, um projeto de um cliente pode até ser publicado, mas tem que ter um consentimento, tem que ter um acordo, provavelmente algum termo autorizando essa publicação. Mas, fora isso, a gente não pode publicar.” (P8)

As restrições impostas pelos contratos com as empresas terão que ser administradas pelos pesquisadores, pois é uma meta dos institutos em seus projetos de P&D tecnológico a aproximação entre a iniciativa privada e as instituições de pesquisa, inclusive para a busca de recursos, tendo sido muito enfatizada nas políticas públicas relativas à nanociência e à nanotecnologia, conforme foi exposto no capítulo 4, desde suas fases iniciais, apontando que uma das metas seria tornar a indústria nacional mais competitiva no cenário mundial (Livro Verde, 2001). Na mesma perspectiva foram criadas as Unidades EMBRAPII.

Outro aspecto relevante nos projetos de P&D tecnológicos também presentes nas políticas públicas em nanociência e nanotecnologia são as patentes. O PPA 2004-2007 (Brasil, 2004), no âmbito do Programa 1110 Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, ressalta a previsão de investimentos na consolidação de redes, de laboratórios e de registro de patentes, entre outros. Trata-se, portanto, de uma necessidade para os institutos de pesquisa. Todavia, isso pode gerar outros obstáculos para os pesquisadores:

“[...] nada vai ser publicado sem o consentimento da empresa e, se for publicado, muito provavelmente, a gente omite algumas informações que é o diferencial da tecnologia para não ferir o contrato de sigilo. Então, patente, por exemplo, também vai ser depositada em comum acordo; às vezes, não é interessante para a empresa. Ela prefere ter o sigilo industrial. Então, dentro desse contexto de projetos com empresas do setor privado, sempre tem que ter o consentimento do que vai ser divulgado.” (P1)

A declaração de P1 descreve duas situações que podem gerar conflitos. No caso das patentes, é uma demanda dos institutos de pesquisa, pelas razões já apontadas. No entanto, a empresa pode não concordar, pois não atende os seus interesses. Em relação às publicações, mesmo que haja uma concordância, pode-se impor a exigência de omissão de dados, o que poderia resultar em conflitos com os avaliadores de um artigo submetido para publicação. P1 foi questionado em relação a isso e sua resposta foi a seguinte:

“Se do lado de lá ele responder: ‘olha, bacana, mas essas informações precisam estar mais bem descritas’. Aí a gente acaba tendo que, novamente, voltar, sentar com a empresa, entender que aquela informação pode ser aberta ou não e, caso realmente isso aqui eu não posso falar e a revista fala ‘sem essa informação eu não consigo publicar’, a gente não publica, o sigilo vem primeiro.” (P1)

Nos casos em que não seja possível um consenso entre pesquisador e empresa, a resposta está dada: “o sigilo vem primeiro”. Certamente, tanto as empresas quanto os institutos de pesquisa possuem um *know how* técnico elevado na elaboração e avaliação dos contratos firmados, o que pode reduzir alguns desses obstáculos. Ao mesmo tempo, o próprio P1 ressaltou que, principalmente em projetos de longa duração, pode ocorrer a produção de

conhecimentos relevantes em ações secundárias que teriam potencial para serem publicados. Segundo suas palavras:

“Não necessariamente aquele conhecimento que foi gerado ele vai ser usado no produto do cliente, porque durante 3 anos você gera muita informação, muita coisa bacana de se publicar, mas como ciência de base, conhecimento de base, não como aplicado. Dá para publicar sem ferir a questão do sigilo.” (P1)

Tendo-se tomado conhecimento dessas particularidades dos projetos de P&D tecnológicos e, em especial, o cuidado com o que pode ser publicado, incluindo-se a omissão de alguns dados, os entrevistados foram questionados se isso seria uma prática corrente nos artigos científicos, tanto na esfera nacional quanto no cenário internacional. Mais especificamente, se os procedimentos e dados apresentados nessas publicações poderiam ser reproduzidos por outros pesquisadores ou algumas informações e etapas dos processos são suprimidas deliberadamente, seja por razões de confidencialidade contratual seja por registros de patentes ou sigilo industrial. Entre as respostas dadas, destacam-se:

“É, muitas vezes nem falam; muitas coisas nem falam. Realmente, acho que um dos grandes problemas da gente, da forma como é feita a pesquisa hoje, eu acho que essa ânsia por publicação, que está sendo feita a salami science¹⁰³, que todo mundo tem falado e acaba não se ajudando. É mais uma competição do que contribuição.”

“Outra coisa que eu ficava muito bravo era o cara publicar aquele artigo lindo e maravilhoso na Nature. Só que colocava uma vesícula e, as que estavam do lado, estavam completamente diferentes.” (P4)

“Então, alguns artigos você consegue repetir a experiência no laboratório, outras não. Às vezes, tem alguns segredos que a gente, no jargão da parte científica, a gente fala ‘pulo do gato’. Então, às vezes tem isso sim. [...] existem muitas coisas que a gente tem dúvida se aquilo lá, de fato, é real e possível de obter.” (P6)

Uma parte dos entrevistados relatou dificuldades, em alguns casos, para compreender todo o processo descrito nos artigos, o que sugere a supressão de algumas informações relevantes. Além disso, as declarações anteriores levantam outras questões igualmente importantes. A primeira, refere-se a um fatiamento do conhecimento produzido em vários artigos, mais como uma imposição das

¹⁰³ *Salami Science* ou *salami slicing*, em linhas gerais, é uma prática que consiste em fracionar os resultados de uma mesma pesquisa em vários artigos científicos, privilegiando critérios quantitativos de produção em detrimento de aspectos qualitativos.

exigências do meio acadêmico do que um real propósito de divulgação de resultados significativos, conforme apontou P4, gerando mais *competição do que contribuição*, em suas palavras. A segunda, compartilhada por P4 e P6, consiste em duvidar das informações publicadas. Ou seja, não se trata apenas de omissão, mas de questionar a qualidade dos resultados apresentados. Sobre isso, P6 destacou que algumas revistas passaram a adotar novos procedimentos:

“[...] as revistas científicas estão mudando a política de publicação. Você é obrigado a enviar seus dados básicos, não o seu resultado em si. Como você chegou naquele resultado? Então, tem um protocolo que você vai enviar para aquela revista para mostrar que é possível chegar naquele resultado.” (P6)

Se as revistas científicas estão tomando providências para garantir a validade dos dados apresentados nos artigos publicados, parece ser um forte indicador de que as preocupações levantadas por P4 e P6 são reais e, se nada for feito, poderia colocar em risco inclusive a credibilidade da própria revista.

Seguindo mais especificamente para a questão das tecnologias abertas, ao exporem suas concepções sobre o tema, alguns entrevistados defenderam a necessidade de assegurar o acesso livre aos artigos científicos como um ponto de partida essencial, o chamado *open access*. Sobre isso, dois pesquisadores destacam que:

“Agora, pensando aberta, a parte de conhecimento aberto, como seria no caso do software, por exemplo, para mim, o que a gente tem hoje são os artigos serem open access. As revistas estão com o tempo contado, com os dias contados, porque não faz mais sentido você deixar fechado. Se você deixa, indo por esse lado, eu acho que, talvez pensando um pouco mais alto a questão de open access, a tecnologia aberta seria você ter uma forma de fazer todo o seu estudo, deixar todo o seu estudo disponibilizado, desde as amostras que você usou, até todos os resultados em uma planilha que todo mundo pudesse usar e continuar talvez o projeto.” (P4)

“Então, existe uma discussão, aliás ela está super em alta ultimamente, do open access. Você restringe bastante se continuar essa restrição orçamentária e a gente começa a perder os que já estão tendo uma redução das assinaturas há um tempo, não é de agora. A gente já está sofrendo com isso há alguns anos, mas se começar a acelerar, isso vai ser fatal.” (P7)

Antes de considerar as tecnologias abertas em relação aos artefatos tecnológicos, P4 e P7, além de outros entrevistados, ressaltaram a importância

de manter o conhecimento produzido com acesso livre. P4 inclusive é bastante coerente com sua fala anterior, ao criticar a prática da publicação como uma competição, em detrimento de uma contribuição para o conhecimento. No entanto, há que se considerar os problemas já apontados em relação às omissões de informações em alguns artigos, o que dificultaria a continuidade da pesquisa. Além disso, o chamado *open access* tem algumas versões que não são totalmente livre de custos¹⁰⁴. Em alguns casos, Universidades, instituições de pesquisa ou os autores pagam pelo acesso ou pela publicação. Esse foi o alerta de P7, ao apontar que as restrições de recursos podem implicar a impossibilidade de arcar com os custos para manter a assinatura, ou *open access*, das revistas científicas. Nos últimos anos têm surgido alternativas ao acesso restrito das publicações, como o *arXiv*¹⁰⁵, citado por um dos entrevistados:

“Um exemplo disso é aquele arXiv. É um sistema de você colocar os preprints. Hoje está muito na moda. Isso já tem há muito tempo na área de engenharia e de física, há muito tempo. Agora, tem o bioRxiv há alguns poucos anos. Eu ainda não entendi como funciona isso. Eu coloco lá e aí? Depois vai para a revista? Não vai? Eu não posso ir para a revista depois, quer dizer, eu posso desde que a revista aceite o creative commons¹⁰⁶, mas eu tenho que pagar o open access dela.” (P7)

Trata-se de algumas iniciativas que vêm ocorrendo no mundo para tornar mais acessível o resultado das pesquisas científicas e tecnológicas que, de outra forma, estariam restritas ao acesso das revistas. No entanto, as agências de fomento e as Universidades e institutos de pesquisas não reconhecem as publicações nessas plataformas com o mesmo *status* de artigos publicados em revistas indexadas e com rígidos critérios para publicação. Trata-se apenas de universalizar o acesso. Os questionamentos apresentados por P7 seguem nessa direção.

¹⁰⁴ Para mais informações, consultar [<https://www.aguia.usp.br/apoio-pesquisador/acesso-aberto-usp/entenda-o-que-e-acesso-aberto/>]. Acesso em 14/06/2022.

¹⁰⁵ Criado pelo físico Paul Ginsparg em 1991, trata-se de um arquivo/repositório de *preprints* nas áreas de física, matemática, ciência da computação, estatística, engenharia elétrica, entre outras. É mantido pela Cornell University [arXiv.org]. Uma iniciativa similar para a biologia é o bioRxiv [biorxiv.org].

¹⁰⁶ É uma iniciativa que busca flexibilizar a utilização de publicações protegidas por propriedade intelectual.

Outro aspecto que pode dificultar o acesso amplo ao conhecimento científico e tecnológico produzido é o registro de patentes, conforme já foi mencionado anteriormente. Porém, as Universidades, os institutos de pesquisa e as agências de fomento incentivam a geração de patentes. Isso está presente nos documentos analisados no Capítulo 4 e nas declarações dos entrevistados:

“[...] uma das coisas que o [Instituto] olha também é a parte de patentes, propriedade intelectual, porque a gente precisa disso.” (P8)

“Então, todo mundo já sabe como é que vai ser a questão da propriedade intelectual antes de começar o projeto, ou pode ser feito depois, isso também depende de cliente para cliente. O [Instituto] busca, é uma das metas anuais inclusive, número de publicações de artigos, número de depósito de patente. Então, é uma coisa que a gente busca.” (P1)

Desse modo, parece haver um permanente conflito entre a intenção dos pesquisadores em tornar o conhecimento produzido amplamente acessível e as exigências institucionais e contratuais para o registro de patentes e, por consequência, maior restrição aos resultados e produtos. Em alguns casos, isso pode levar os pesquisadores para dentro de um “jogo” que se retroalimenta. O relato de um dos entrevistados é esclarecedor:

“É um item forte na avaliação, ainda mais nessas que saem com empresas, que a FAPESP tem um negócio de empresa, mas quando você avalia, e quando eu escrevo eu falo: tem patente. Então, os avaliadores da FAPESP, quando eles avaliam meu currículo eles falam: ah, ele tem um bom currículo porque ele tem patente.” (P9)

Ao ser questionado se não seria um aspecto positivo para um projeto informar que os resultados produzidos seriam abertos para os interessados, já que a FAPESP administra recursos públicos, P9 respondeu o seguinte:

“Acho que a FAPESP nem gosta, a FAPESP gosta que patenteie. Todo projeto que você escreve sai assim: vai sair patente? Quando você avalia [projetos], eles perguntam: tem patente?” (P9)

As agências financiadoras são indutoras de práticas que exercem pressão sobre os pesquisadores, pois estes necessitam de recursos para seus projetos de pesquisa. Dessa maneira, segundo P9, parece que as agências não incentivam uma ciência aberta. Vale destacar que o processo para o registro da patente é

demorado e caro e, em alguns casos, depende de empresas interessadas em transformar a patente em produto em escala comercial, exigindo novas negociações de contratos e novos investimentos. Tudo isso acaba gerando certo desestímulo entre os pesquisadores, conforme evidenciam os exemplos a seguir:

“Então, por isso acho que vão ser minhas três últimas patentes. Eu vou começar a escrever os artigos que, no final, é o que realmente eu quero apresentar.” (P9)

“Tenta fazer para diagnóstico. E, aí é uma outra batalha, uma outra coisa, que é uma certificação e tal. O diagnóstico in vitro não para, as pessoas ficam doentes, precisa fazer, então direciona para lá. Então, isso tudo me desestimula. Eu acabei abandonando essa parte de inovação. Eu falei: bom, nós vamos fazer, para o meu currículo é bom ter lá uma patente, mas vou vender para quem?”

“Individualmente é bom, mas é uma montanha de dinheiro público para fazer um produto que vai virar o que? Então, vou continuar publicando que pelo menos fica livre, todo mundo que quiser acessar, acessa.” (P7)

Os longos caminhos burocráticos e a legislação complexa foram citados por alguns dos pesquisadores como fatores que desestimulam a busca pelo registro de patentes, pois toma muito tempo e o retorno é incerto. Por essa razão, há uma opção pelas publicações de impacto e as patentes passam a ocupar o *status* de ações eventuais e não sistemáticas. Além disso, mesmo quando se obtém êxito na concessão da patente, não há garantias de que se transforme em um produto comercializável e chegue até a população. Somados às declarações anteriores, os extratos a seguir ilustram bem essa situação:

“Por exemplo, quando a gente deposita uma patente, a gente não tem a patente ainda de verdade, a gente tem o depósito da patente que fica incubada lá 18 meses e, depois que ela é publicada, se é aceito. E, aqui no Brasil também é um problema, porque a gente não tem revisor de patente. O INPI¹⁰⁷ tem essa dificuldade, porque não tem pessoas especializadas para trabalhar nessa questão. Então, às vezes, para uma patente ser concedida leva muitos anos. Você deposita, ela é publicada, mas ela não foi concedida, ela fica lá numa fila para ser avaliada. Até ela ser concedida, já foi. De repente, quando for concedida, a tecnologia já mudou.” (P8)

“E, depois da patente, vira o produto. Eu acho que aí que fica difícil, porque eu estou falando aqui do meu lado, daqui de dentro, do portão de dentro da pesquisa acadêmica. A gente tem como fazer, a gente tem como direcionar a pesquisa para um produto, tem como fazer. Mas, o produto que não é

¹⁰⁷ Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), responsável pelo registro e concessão de marcas e patentes, entre outras atribuições.

diretamente para o consumidor final. O grande público, ele depende de nichos, vender para empresa, complica.” (P7)

Ao tratar mais especificamente dos artefatos tecnológicos e considerando todo o contexto restritivo apresentado até aqui, a maioria dos pesquisadores entrevistados assume que seria difícil pensar em uma tecnologia aberta. Um dos entrevistados justifica sua percepção ao identificar um predomínio do enfoque comercial, ao afirmar que:

“Voltando para o desenvolvimento de produto, como está? Eu acho, assim, eu vejo pouquíssimas, normalmente são startups, mas pouquíssimas trabalhando com o sistema mais aberto. A grande maioria quer o produto e quer gerar lucro, porque é uma característica de uma empresa isso aí. Não estou fazendo juízo de valor, o jogo é esse. Não tem como dar de graça o produto. Inclusive eu tentei trabalhar, algumas eu trabalhei, funcionou bem, outras eu tentei trabalhar e fica muito complicado por causa dessa parte que é tudo muito segredo.” (P7)

A perspectiva predominantemente comercial associada a restrições no compartilhamento de informações, levaram P7 a desacreditar, em alguns casos, na possibilidade de trabalhos cooperativos e em uma tecnologia aberta. Outro entrevistado destacou que existem no mercado algumas nanoestruturas que já podem ser compradas e, a partir delas, construir novos artefatos nanotecnológicos para diferentes aplicações. De acordo com suas palavras:

“Eu não sei, porque eu acho que, assim como o software, a pessoa tem que ter um conhecimento mínimo para usar a nanotecnologia. Mas, pensando assim, mais abertamente, eu acho que, da mesma forma que hoje nós conseguimos comprar nanopartícula para, por exemplo, incorporação de imunoproteínas, por exemplo, para fazer um teste, um diagnóstico específico, se eu tenho uma empresa, eu preciso dessa proteína e desse nanoparticulado, então, não sei se isso estaria aberto. Mas, seria meio que usar uma tecnologia e incorporar uma nova aplicação talvez, e vender um novo produto. Mas, não sei se isso seria considerado aberto. (P4)

A nanopartícula nesse caso pode ser considerada um artefato tecnológico que poderia ser incorporado a um sistema técnico complexo. Portanto, uma vez adquirido, estaria disponível para uso. No entanto, dispor de todas as informações para construir essa nanopartícula com características de qualidade equivalente não parece ser o caso quando se consideram todas as declarações e

percepções anteriormente apresentadas. A nanopartícula poderia inclusive funcionar como uma caixa-preta. Entretanto, conforme Quintanilla (2005), não deixa de ser uma novidade técnica por meio de adaptações e modificações de uma tecnologia já conhecida. Outro entrevistado compartilha uma posição semelhante a P4 ao afirmar que:

“Na verdade, para construir algo na escala manométrica, seja funcionalizar uma superfície, uma superfície com nanoestrutura, seja construir uma partícula, mas a gente está falando da manipulação da matéria. Existem vários protocolos, processos, que são de domínio público, então, qualquer pessoa pode ir lá, acessar e tentar reproduzir isso em um laboratório, com os devidos cuidados de segurança, mas não acho que é uma coisa que tem uma parte que é aberta, outra que é fechada, que depois isso vai sendo explorado. Acho que é muito da competência dos grupos desenvolvendo a experiência com cada um daqueles processos.” (P3)

Tanto P4 quanto P3 falam a partir da perspectiva do pesquisador, não do usuário. Ambos defendem que é possível utilizar o conhecimento disponível, sejam as técnicas sejam os artefatos ou mesmo o conhecimento científico-tecnológico, para produzir *avanços tecnológicos* (Quintanilla, 2005), tanto pela modificação de uma ou mais técnicas existentes quanto pela criação uma nova técnica. Entretanto, conforme foi tratado no Capítulo 1, a noção de *tecnologia disponível* proposto por Quintanilla (ibid.) nesses casos é relevante, bem como a distinção entre *saber fazer* e *saber como fazer*, pois poderiam trazer resultados muito distintos.

Observa-se, portanto, que os pesquisadores apontaram vários obstáculos para uma tecnologia aberta nos moldes propostos por Quintanilla (2017), ao menos no estágio e nas condições atuais. Imposições contratuais, registros de patentes, sigilo comercial e industrial, publicações limitadas são alguns dos óbices descritos pelos entrevistados. Ao mesmo tempo, nenhuma ação na direção contrária desse cenário foi evidenciada.

5.2. Uma tecnologia polivalente

As últimas declarações do item anterior sugerem que as estruturas nanotecnológicas, como o grafeno, o nanotubo, as nanofibras e as

nanopartículas, têm um potencial para a polivalência ao serem incorporadas a sistemas tecnológicos complexos. Estes, no entanto, podem ter aplicações muito específicas. Esse amplo leque de possibilidades ocorre, em parte, por se tratar de um campo de pesquisa relativamente novo. Conforme foi discutido no Capítulo 3, a obtenção de quantidades suficientes do C₆₀ para análises espectroscópicas só ocorreu em 1990 (Kroto, 1992) e os estudos mais detalhados das propriedades do grafeno ocorreram em 2004 (Dresselhaus e Araújo, 2010). Dois entrevistados chamaram a atenção para esse cenário, destacando que:

“[...] o primeiro ciclo da nanotecnologia se a gente for pensar, 2000 a 2010, acho que foi muito para entender os fenômenos da matéria, das estruturas, de como produzir. Eu acho que agora a gente está numa era mais de começar a formar produtos com essas coisas. Acho que depois, na próxima década, a gente tem uma coisa mais de novas estruturas ou de convergência desses sistemas para criar coisas mais novas.” (P8)

“Nós estamos fascinados ainda com as aplicações. Ah, então a gente pode usar na válvula, dá para usar no carreador, a gente pode usar para bateria, então a gente está pensando nas coisas que ainda está trazendo de novidade.” (P9)

É certo que as pesquisas em nanotecnologia se encontram em uma fase de descobertas de novas aplicações e isso tem despertado tanto os interesses científicos e tecnológicos quanto os econômicos, o que amplia as possibilidades de inovações, prática já incorporada nos projetos de P&D tecnológicos, segundo aponta Quintanilla (2005). Esse otimismo se reflete em algumas declarações, como ilustra a fala a seguir:

“[...] imagina que a gente desenvolve uma nanoestrutura e essa nanoestrutura ela pode ser usada em óleo e gás, veterinária, cosmético, em têxtil. Vou te dar um exemplo típico: você pega uma nanoestrutura contendo um filtro solar. Você pode pegar essa nanoestrutura e colocar num creme para a pessoa. Você pode colocar num tecido. Você pode colocar numa lona de caminhão, num [produto] que vai ao sol. Você pode colocar numa tinta de parede que sofre com intempéries. Você pode colocar numa peça de plástico que sofre intempérie com radiação ultravioleta. E, nós estamos falando de uma mesma tecnologia.” (P5)

A percepção positiva em relação à nanotecnologia é evidente em P5, assim como nos demais entrevistados. Uma das razões para essas múltiplas aplicações, segundo o próprio P5, é o fato de poder manipular a matéria na escala nano e descobrir novos comportamentos dessa matéria, como também

ressaltou P8 acima. Além disso, os exemplos dados por P5 sugerem que as aplicações podem ocorrer em produtos que aparentemente não teriam relação imediata. Ao ser questionado sobre isso, P5 respondeu que:

“Quando você olha na essência, tem uma correlação científica, mas a hora que você é usuário você não correlaciona um cosmético com uma tinta de parede. Mas, no fundo é alguma coisa que você está cobrindo uma superfície.” (P5)

Todos os exemplos dados têm como problema filtrar e/ou retardar os efeitos da radiação. Nesse sentido, há uma aproximação com a ideia de polivalência por meio da *integração de técnicas* proposta por Quintanilla (2017). Uma das declarações ilustra bem essa convergência:

“Tem coisas que são bem específicas, mas, por exemplo, esse projeto que eu falei que foi cooperativo, existe uma plataforma que serve para você usar de diferentes maneiras, colocando diferentes ativos. Por exemplo, você gera uma nanopartícula que pode ser incorporada numa matriz polimérica, para fazer uma aplicação que dá para outra, pode no futuro vir a fazer, no momento você só tem um compósito, mas de repente esse compósito pode fazer parte de outro produto, de repente um sensor, ou alguma coisa que você muda nessa partícula.” (P8)

As afirmações de P8 revelam algumas possibilidades de aplicações da nanotecnologia. Pode-se criar uma nanoestrutura que servirá de base para aplicações distintas a partir, por exemplo, do ativo a ela incorporado. Ou, ao contrário, pode-se desenvolver diferentes nanoestruturas para incorporar um ativo já conhecido; ou ambos. Em todos os casos, entretanto, não se trata de mera aplicação, pois envolve a produção de um conhecimento, passando pelas etapas básicas de um processo tecnológico, como se verá mais adiante. Outra declaração de P8 complementa essa análise:

“E, agora eu tenho um outro projeto também na área de compósitos que a gente está envolvendo nano-partículas, mas a gente incorpora nanopartículas já prontas do mercado, eu não estou sintetizando as nanopartículas, porque o enfoque é formular essas composições. Então, o produto do cliente é a formulação que interessa, já está numa escala para fazer produto final mesmo para aplicação.” (P8)

Os nanocompósitos mencionados em algumas declarações são materiais que incorporam ao menos um componente na escala nano, o que resulta em

propriedades distintas ou mais eficientes do que o mesmo material em escalas maiores. Os dois exemplos dados por P8 tratam da produção de compósitos. No primeiro, cria-se uma nanopartícula que pode ser incorporada em outros materiais e, no segundo, ocorre a composição com uma nanoestrutura já conhecida. Em outros casos, a escala nano por si mesma oferece vantagens. As nanopartículas de prata, por exemplo, ampliam a superfície de interação com o meio, tornando sua propriedade bactericida mais eficiente quando comparada à prata em outra escala. Outras vantagens são ilustradas pela fala a seguir:

“Geralmente, você cria uma partícula para inserir um ativo, um insumo, alguma coisa dentro, para ter um determinado efeito. Ou, você quer uma partícula que seja sítio específica como no caso, por exemplo, você quer atuar no tratamento de uma célula tumoral. Eu vou ter que criar essa nanopartícula, mas você tem que ter algo na superfície dela que vá ter afinidade pela célula cancerígena.”

“Você só melhora a atuação do fármaco, por exemplo, porque você pode tomar o fármaco. Você quer diminuir uma dosagem. Você pode tomar um fármaco que vai te destruir tanto as células benignas quanto a maligna e aí, se você encapsula e gera essa capsula que vai ter afinidade pela célula maligna, você vai preservar as benignas.” (P3)

A nanopartícula, no exemplo apresentado por P3, permite que sejam utilizadas doses menores de um fármaco e, ao mesmo tempo, que sua ação seja otimizada, pois será conduzido diretamente até a célula doente. Nesse caso, o fármaco utilizado pode ser o mesmo de tratamentos convencionais. A vantagem é que a nanopartícula pode ser construída de modo que tenha maior afinidade química com a célula cancerígena. No entanto, ainda que tenha múltiplas possibilidades de aplicações, a nanotecnologia tem custos elevados, o que limita seu emprego. Um dos pesquisadores chamou a atenção para esse fato ao destacar que:

“Então, você vai ter que usar nanotecnologia para algumas coisas. Para uma aplicação um pouco mais rotineira, talvez não. Mas, por exemplo, o filtro de barro, o que você tem lá num filtro de barro? Você tem nanopartículas de prata. Você tinha antes prata, evoluiu para nanopartículas de prata. A prata é bactericida. Na forma nano ela é mais eficiente ainda.”

“[...] você vê muito médico saindo do hospital, sai do consultório, de jaleco e vai no restaurante, então ele está levando bactérias e trazendo bactérias. Uma forma que hoje o pessoal estuda é justamente de no tecido você depositar prata para, de uma certa forma, matar muitas dessas bactérias. Então, isso é tudo a nanotecnologia que proporciona. Agora, o custo disso é altíssimo.” (P6)

Essa declaração de P6 se soma às falas de P8 e P9 no início deste item ao afirmarem que muitas aplicações para a nanotecnologia estão sendo pesquisadas, pois é uma área relativamente nova. Mais uma vez, o caráter polivalente da nanotecnologia fica evidenciado. Nesse caso, inclusive, pode-se assumir que a polivalência ocorre também a partir de *usos alternativos*, conforme propõe Quintanilla (2017), pois é um mesmo sistema técnico aplicado em situações distintas daquela originalmente proposta. Outros exemplos podem esclarecer o grau de polivalência da nanotecnologia, como este apresentado por P1 a seguir:

“Um dos produtos que tem se utilizado de uma dimensão da escala manométrica são as nanofibras. Então, você tem uma manta, normalmente polimérica, só que o diâmetro daquela fibra, diferentemente de um TNT, de um tecido de uma roupa, ela tem uma dimensão manométrica. Então, isso entrega propriedades interessantes em termos de área de contato com potencial de liberação de um ativo. Então, já existem aplicações utilizando esse conceito de nanofibra em diferentes áreas. Você pode utilizar nanofibras desde um sistema de filtração até um sistema de liberação controlada, uma máscara facial. Então, você gera uma manta só que ela contém um ativo na sua fibra. Você pode utilizar aquilo como uma máscara facial, onde você vai dormir e, durante a noite, fica liberando um ativo.” (P1)

As áreas de fármacos, cosméticos e materiais parecem ser as que se apropriam rapidamente da nanotecnologia. Particularmente em relação aos fármacos e cosméticos, P1 ressalta que seu Instituto é muito procurado por empresas do ramo e algumas tecnologias aplicadas são comuns, ainda que sejam áreas distintas, como já havia sido indicado por P5 anteriormente. Segundo P1:

“Uma temática que eu particularmente tenho trabalhado bastante é a encapsulação. A gente utiliza diferentes rotas de síntese, físicas ou, às vezes, químicas, físico-químicas, para encapsular um ativo de interesse, seja um ativo de cosmético, uma fragrância, por exemplo, ou um fármaco; ou um ativo que vai, um agroquímico que vai ser aplicado no solo, nas plantas.”
“Então, o princípio geral é o mesmo: eu tenho um ativo, eu quero protegê-lo e liberá-lo na hora que eu quero. Então, para isso eu encapsulo, protejo ele do meio em que ele está inserido. E, eu coloco diferentes gatilhos, depende da aplicação, diferentes gatilhos para ele ser liberado, seja um esforço mecânico, seja uma temperatura, seja uma variação de pH do meio.” (P1)

Apesar de partir de um princípio geral comum, ou seja, um sistema tecnológico conhecido, as inovações incorporadas nos exemplos dados por P1 se

referem às rotas de síntese das cápsulas e dos gatilhos que irão liberar o ativo. Trata-se de uma polivalência por meio da integração de técnicas.

A polivalência da nanotecnologia foi consensual entre os pesquisadores entrevistados. Em meio a essa ampla gama de aplicações da nanotecnologia, principalmente em campos como os fármacos e os cosméticos, com altos índices de consumo, dois entrevistados destacaram algumas consequências desse movimento. Ambos se referem tanto à inovação tecnológica quanto ao *marketing* de venda e a estratégias de mercado. Segue o primeiro exemplo:

“[...] cosméticos, às vezes, você vai em alguma perfumaria e você vê um produto lá. Aí, vem a mocinha que nem sabe o que é nanotecnologia e ela [fala] assim: ‘ah, esse creme de cabelo tem nanotecnologia’. Só que, assim, parece que a nanotecnologia é um ingrediente x específico.” (P8)

Trata-se de uma observação relevante, pois parece que a nanotecnologia foi acrescentada na “receita” do creme como um ingrediente a mais e não como uma nova tecnologia que melhora a capacidade de absorção do creme e/ou amplia o tempo de contato do produto com o cabelo, por exemplo. Mais preocupante que reduzir a tecnologia a uma mera aplicação da ciência é entendê-la como um simples aditivo. O segundo exemplo, aponta na mesma direção:

“Muitas empresas chegavam: ‘ah, eu quero desenvolver um produto nano’. Mas, o que é nano? A empresa nem sempre sabia o que era nano. Ela só queria ter nano no rótulo.” (P3)

Nesse caso, P3 ressalta que as empresas nem sempre entendem qual seria o valor agregado em seu produto ao utilizarem a nanotecnologia. Como contraexemplo, P3 citou uma empresa líder de vendas para explicar seu sucesso:

“[...] ela usa o benefício da tecnologia para ter um produto melhor e o produto melhor simplesmente vende mais. Ela não precisa ter nano no rótulo, porque o que tem dentro da caixinha, a qualidade, e essa qualidade, essa melhoria de performance, ela advém da tecnologia, mas eu não preciso explicitar isso para o público leigo.” (P3)

Outros entrevistados mencionaram exemplos de produtos que incorporam a nanotecnologia como instrumento de *marketing*, como roupas, tênis e outros equipamentos esportivos, conforme será tratado mais adiante. Com isso, agrega-se altos valores de venda, ainda que as vantagens em suas performances sejam discutíveis. No entanto, essa prática consolida a versatilidade da nanotecnologia.

5.3. Uma tecnologia dócil e controlada

Enquanto a polivalência da nanotecnologia se mostrou consensual entre os entrevistados, seu controle divide opiniões. Nessa fase de bancada em que atuam os entrevistados, conforme foi mencionado no início do capítulo, as principais incertezas se referem ao pleno conhecimento das consequências e dos riscos do uso da nanotecnologia. Ou seja, do controle de todo o processo, desde sua idealização, passando pelos testes, produção, uso e descarte ou recicle.

Um dos entrevistados chamou a atenção para o uso em excesso da nanotecnologia tomando como exemplo as nanopartículas de prata sem que se conheça plenamente seus riscos. De acordo com o pesquisador,

“[a nanotecnologia] pode ajudar mercadologicamente falando; não sei, assim, talvez nas vendas: ‘ah, tem nanopartícula de prata e não sei o que’. Acho que isso pode contribuir. Mas, também tem o lado que hoje em dia as pessoas estão olhando com mais calma que é a questão de ninguém saber quais os efeitos colaterais desse monte de prata nanoparticulada que nós estamos utilizando, por exemplo. Então, eu acho que mais fora do país, nos Estados Unidos e na União Europeia, acho que está sendo discutido mais essa parte da toxicidade; a questão ambiental da nanotecnologia como um todo.” (P4)

Há uma preocupação de P4 com o uso em excesso e, por vezes, desnecessário da nanotecnologia em uma variedade de produtos, mais por uma questão comercial do que técnica. Como isso, poderia ocorrer uma sobrecarga de descarte desses materiais no ambiente. Conforme foi tratado no Capítulo 4, a ABDI (2011) já havia alertado para esses problemas e para a necessidade de investimentos e incentivos em pesquisas nessa área. No entanto, Martins (2007, 2010) e Invernizzi, Kobes e Fuck (2012) destacam que as políticas públicas de

financiamento das pesquisas em nanotecnologia promoveram poucas iniciativas nesse sentido. Isso se reflete nas declarações dos entrevistados. Em relação ao conhecimento dos riscos para a saúde humana, por exemplo, um dos pesquisadores afirmou que:

“É, na realidade, eu não sei se existem os estudos. Eu acho que deve estar muito no início; sabe que tem algum efeito, mas não totalmente, digamos assim, a noção total do que poderia acarretar.” (P6)

Em seguida, P6 chamou a atenção para a falta de uma legislação específica para isso, ainda que a nanotecnologia tenha sido uma área relativamente privilegiada pelos financiamentos, o que se aproxima das afirmações feitas por Martins (2007, 2010) e Invernizzi, Kobes e Fuck (2012). Segundo P6,

“Parece que existe uma prioridade do tema nas agências governamentais. Então, teoricamente, existe um apoio para isso. Agora, a legislação e regulamentação, ainda não. Não existe. Tinha alguma coisa lá no Congresso Nacional, mas acho que não foi aprovado, porque o pessoal não sabe que tipo de problemas a nanotecnologia pode trazer para o ser humano.” (P6)

Na mesma direção, outro entrevistado, ao ser questionado se é possível garantir que um determinado ativo encapsulado, por exemplo, faria apenas aquilo que se quer que ele faça, ou seja, se haveria o controle de todo o processo, respondeu o seguinte:

“Às vezes, é difícil caracterizar as estruturas, por exemplo, quando a gente trata de materiais encapsulados. Não é a linha que eu participo diretamente, mas são cápsulas que contém um ativo lá dentro. São fármacos, um agro, e você ter certeza que aquilo está lá dentro, às vezes, é um desafio fazer esse tipo de caracterização. Eu acho que um pouco os cuidados com a manipulação, a gente não tem uma legislação que fale da questão da segurança. Caminha nesse sentido de estarem estudando, mas a gente não tem muito bem identificados os riscos à segurança.” (P8)

Na sequência de sua declaração, P8 afirma que: *“essa certeza, eu acho que não tem ainda”*. Associando-se às declarações anteriores, P8 concorda que alguns riscos podem não ser do conhecimento dos pesquisadores no estado atual da área. Entretanto, P8 e outros entrevistados esclareceram que já existem alguns protocolos e regulamentações para testes específicos de toxicidade e

permeabilidade, por exemplo, para a aprovação de determinados produtos para serem comercializados. O mesmo ocorre com a manipulação de materiais na escala nano nos laboratórios de pesquisa. Alguns cuidados devem ser tomados, pois há riscos potenciais, como o descrito a seguir:

“[...] se você tem um corte no dedo e esse metal nobre entra na sua circulação sanguínea, que tipo de problema ele pode causar? Sabe-se que é difícil a cicatrização, que a gente já viu algumas pessoas com cortes e sem luva ter problema de cicatrização. A platina ela vai catalisar as próprias reações do nosso organismo, vai ser um catalisador. Então, pode causar algum problema mais drástico.” (P6)

Nesse caso, os problemas podem advir da manipulação dos nanomateriais. Paschoalino, Marcone e Jardim (2010) destacam a existência de pesquisas mostrando que algumas nanopartículas ou nanoestruturas são nocivas para humanos, por exemplo, a nano-partícula de prata, como questionou P4 anteriormente. Além disso, já existem estudos e protocolos que permitem algum controle e avaliação dos riscos desses produtos. Um dos fatores relevantes nesse processo é o tamanho das partículas, conforme ressalta um dos pesquisadores:

“O tamanho é muito importante. Uma coisa é você fazer uma estrutura de 200 nanômetros, outra coisa é você fazer uma estrutura de 2 nanômetros. Como eles vão se relacionar com o meio biológico? Com o meio ambiente? Com o ecossistema? É completamente diferente. E, isso vai refletir no processo produtivo, no controle de efluentes, seja líquido ou gasoso. Como é que vai ser o descarte desse material? Que tipo de aparato de segurança quem manipular vai ter? então, isso tem um monte de gente estudando. Criou até um subtema, que é a nanotoxicidade.” (P5)

Ainda que não tenha uma legislação ampla que trate da produção e comercialização de nanoproductos, conforme foi apontado por vários pesquisadores e discutido no Capítulo 4, existem no Brasil alguns protocolos já consolidados e que são usados pela ANVISA para a liberação ou não de produtos na escala nano para a comercialização, o que exige algum controle em sua produção, segundo esclarece um dos entrevistados:

“Então, existe aí uma limitação por parte da ANVISA, que é uma característica de produto que ela tem que ser seguida por questões de segurança. Projetos onde a gente tem interface com sistemas vivos, pessoas ou animais, aí a gente tem que ter alguns cuidados em termos de até que dimensão eu vou; eu posso

reduzir. Mas, de maneira geral, os projetos não seguem uma ordem, uma sequência de ações muito diferente do que tem em qualquer outro projeto de pesquisa. São mais essas restrições, em se tratando de sistemas vivos, que a gente tem que ter, mas são, na verdade, controláveis. A gente consegue controlar até que ponto reduz o tamanho de uma partícula, por exemplo.” (P1)

Para aqueles fatores que são objeto de controle das agências reguladoras já existe um conjunto de testes reconhecidos pela comunidade de técnicos e de cientistas que são, na maioria das vezes, compatíveis com regulações internacionais. Como foi tratado no Capítulo 4, o Brasil é signatário de vários acordos de comércio que envolvem o cumprimento de protocolos técnicos, como o Projeto NaNoREG e a OCDE. Dessa forma, testes dessa natureza fazem parte dos Projetos de P&D em nanotecnologia. P1 apresenta o exemplo a seguir:

“(...) existe um ensaio de permeação cutânea que ele é seguido para avaliar até que camada da pele aquele ativo permeou. Então, por exemplo, a gente encapsulou um ativo e precisa saber até que camada da pele ele permeia, se ele é liberado, se não é liberado, qual o tempo de liberação, qual é a cinética. Existe um ensaio para isso.” (P1)

Ou seja, essas partes do processo são bem controladas. Mas, essa é uma etapa do projeto de P&D em ambiente controlado e restrito. Talvez, o problema persista quando se pensa nas etapas de uso e descarte dos produtos pelos consumidores. No entanto, para a aprovação pelas agências oficiais, parece que já há inclusive um grau de responsabilidade da empresa em cumprir os protocolos. Uma das declarações ilustra essa percepção:

“Então, a gente tem que ir varrendo esse universo e dando segurança para aquilo que você está desenvolvendo. Por vezes, as agências regulatórias aprovam sim, mas você tem que mostrar que tem, você, as empresas, os grupos precisam mostrar que têm o domínio sobre as propriedades daquele material, que conhecem, foram feitos testes e tem essa rastreabilidade.” (P3)

A ANVISA é a principal agência reguladora no Brasil, mas há outros órgãos regulatórios pelos quais algumas pesquisas precisam buscar aprovação. Alguns exemplos podem ser observados na seguinte fala:

“A gente faz algumas avaliações de segurança também, mas segurança a gente não avança em todas as frentes que deveria avançar. A gente avança até

atividades in vitro; a gente não tem biotério para avaliar desempenho e segurança in vivo, por exemplo, se precisar.”

“Da indústria de agro, por exemplo, eles têm um protocolo que é junto ao Ministério da Agricultura. A gente já teve. O parceiro teve que tirar um certificado para poder fazer as pesquisas.”

“O que a gente aqui, às vezes, se envolve também é com a questão da biodiversidade brasileira. Quando a gente vai usar algum material da biodiversidade, você tem o registro específico.” (P5)

O entrevistado apontou mais dois órgãos reguladores para atividades específicas, a saber, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério do Meio Ambiente, para as certificações das pesquisas nas áreas de agro e da biodiversidade, respectivamente. Há ainda a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa e a Comissão de Ética no Uso de Animais, do Ministério da Saúde, para o qual devem ser submetidos todos os projetos de pesquisa que envolvam pessoas e animais. Além disso, cada instituto de pesquisa e Universidades possuem seus comitês de ética na pesquisa, para os quais também devem ser solicitadas certificações para realizar a pesquisa.

Verifica-se que existe um conjunto amplo e bem estabelecido de protocolos de segurança na fase de P&D em ciência e tecnologia que abarca a nanotecnologia, ainda que a legislação careça de maior avanço, segundo alguns dos entrevistados, na regulamentação específica para a nanociência e a nanotecnologia. Os processos nessa fase parecem ser bem controlados, ainda que as etapas que extrapolam o controle restrito dos laboratórios demandem estudos. Sobre isso, Paschoalino, Marcone e Jardim (2010) ressaltam que as preocupações em relação *“à toxicidade das nanopartículas reside principalmente no fato de que estas nunca foram produzidas e utilizadas em produtos comerciais em tão larga escala como atualmente”* (p.421). Portanto, seus efeitos ambientais e para a saúde humana e dos animais ainda são relativamente pouco conhecidos.

5.4. Uma tecnologia limitada

A parte final do item anterior já indicou algumas fontes de limitações extrínsecas aos sistemas tecnológicos, a saber, as agências de controle e os

protocolos de segurança. Entretanto, existem também limitações intrínsecas, tanto aquelas relativas à própria estrutura do sistema (Quintanilla, 2017) quanto aquelas originadas em fatores extrínsecos. Há também limitações impostas pelo risco em potencial. O exemplo a seguir ajuda a esclarecer:

“O grafeno de carbono que é polêmico. O nanotubo de carbono, se inalar isso e for no cérebro, o que pode acontecer? Estruturas que são condutoras, como que é a toxicidade disso? Acho que isso é um pouco mais sério mesmo. Porque também a gente não tem isso em escala industrial.” (P8)

Trata-se de um princípio de precaução, pois é razoável supor que uma estrutura como os nanotubos, altamente condutora de eletricidade e com dimensões compatíveis com as estruturas orgânicas cerebrais, pode causar danos neste órgão. P8 salienta que não se trata apenas das dimensões nano, mas das características dos materiais. Outros materiais, por sua vez, mesmo nas dimensões nano, não apresentam riscos, conforme destaca a seguinte declaração:

“Devem ter grupos preocupados. Agora, eu acho que ainda não tem dados suficientes, estudos suficientes para evidenciar isso. Mas, acho que essa parte de nanotubo de carbono, esse tipo de material, deve ter maiores riscos. As argilas são extraídas da natureza, o que elas têm a mais ali é um agente químico de modificação, não é nada altamente tóxico, ou outras partículas inorgânicas que recebem modificações também, já é usada em outras coisas que não a nanotecnologia. Agora, nanotubos de carbono, grafite, as nanopartículas de prata, não sei também o quanto elas podem ser nocivas. Mas, eu sei que com os nanotubos de carbono tem um pessoal que se preocupa bastante com o que pode acontecer se for absorvido pelo corpo.” (P8)

Ou seja, não é o fato de estar na escala nano que implicaria maior risco, mas nas propriedades que surgem ou são otimizadas nessa dimensão que podem ampliar a possibilidade de riscos no manuseio e na aplicação descuidada desse material. Vale lembrar, conforme foi discutido no Capítulo 3, que a nanotecnologia justamente se aproveita de novas propriedades que surgem, ou são otimizadas, na escala nano e que não são observadas em escalas maiores, ainda que seja o mesmo material. Alguns dos entrevistados mencionaram que isso deveria estar mais controlado na legislação, inclusive trabalhista, pois poderia colocar em risco os técnicos que atuam nos laboratórios. A declaração a seguir é ilustrativa:

“Essa parte de cosméticos tem, você tem nanopartículas de ouro que vão servir para combater as rugas das mulheres e combater uma série de coisas. A questão é o ouro no meio ambiente, dependendo das condições do meio, ele vai catalisar as reações também. Qual é o efeito desse material no meio ambiente? Então, é recolhido esse material? Essa é uma questão, uma legislação que não está definida. [...] Eu acho que falta um controle, falta uma legislação e falta uma definição de quais condições que você vai poder trabalhar em termos da nanotecnologia, desde o tamanho das nanopartículas, desde quanto que você vai poder usar desses materiais.” (P6)

Nesse caso, P6 ressalta que o uso da nanopartícula de ouro é eficiente no tratamento com cosméticos, mas pode causar danos ao meio ambiente. Aponta ainda a carência de uma legislação e de protocolos específicos e confiáveis. Esse exemplo dado por P6 aproxima-se do que foi apresentado por Quintanilla (2017) ao referir-se à “*produção e uso de sacolas plásticas não recicláveis*” (p.39) que, apesar de serem viáveis sob a perspectiva técnica e econômica, causam danos ao ambiente e, no caso do Brasil, têm seu uso desestimulado ou, em outros países, proibido. Trata-se, portanto, de uma limitação extrínseca. P6 aponta outros riscos em relação à nanotecnologia:

“É, então, dependendo de como ele for descartado no meio ambiente, ele vai provocar um efeito que a gente não sabe qual vai ser na flora ou na fauna. [...] O problema é você ingerir a nanotecnologia também. O pessoal sabe que se você ingerir ela vai catalisar as reações do organismo. Então, vai provocar uma mutação nas células e isso pode ser transferido geneticamente de geração para geração. Você pode gerar uma espécie deformada.” (P6)

Esse é outro risco: tornar-se um catalisador mais eficiente de reações químicas eventualmente indesejadas. As consequências eventuais parecem não ser plenamente conhecidas. Nesse caso, o princípio da precaução deveria prevalecer ante o uso descontrolado. Outro pesquisador dedicou-se a estudar se o óxido de grafeno, material com o qual trabalha, apresenta riscos reais, conforme afirma a seguir:

“Agora eu sei, eu fiz o estudo, então tem uma certa quantidade que a gente mexe que é tóxica, quando a gente funcionaliza a toxicidade diminui muito. Então se vier um outro projeto falando que não é tóxico, eu tenho estudo aqui. A quantidade que é tóxica, mas a quantidade que a gente mexe é bem menor. Não é como o nanotubo. O nanotubo é mais tóxico que o óxido de grafeno.” (P9)

Nesse caso, o risco está relacionado mais à quantidade utilizada do que à escala ou ao material. Uma das motivações do pesquisador em avaliar o grau de certeza em relação ao risco em trabalhar com o óxido de grafeno se deu porque um de seus projetos não havia sido aprovado em razão do risco em potencial. Segundo P9,

“E, quando eu entrei com o óxido de grafeno, o primeiro projeto aqui no [Instituto] eles não deixaram trabalhar. Eles falaram não, porque é tóxico.” (P9)

O princípio de precaução foi acionado nesse caso, ainda que tenha ocorrido por desconhecimento da literatura já existente. Ao que levou P9 a estudar e constatar que era seguro seguir com seu projeto, desde que a quantidade utilizada ficasse nos níveis aceitáveis de toxicidade. O estudo do risco no caso da nanotecnologia envolve aspectos muito particulares, o que remete a limitações intrínsecas e retoma a questão da toxicidade. Um dos entrevistados destacou que:

“[...] o aspecto toxicológico hoje ainda tem uma discussão na literatura: nanotoxicologia é uma disciplina? Está dentro de toxicologia? Ou é uma disciplina a parte? Porque a métrica de dose, a forma de avaliação do risco e exposição é completamente diferente da toxicologia clássica, porque eu não posso tomar uma métrica por massa, porque aqui o conceito de massa mudou completamente. O que vai mandar é a área superficial, morfologia da partícula.” (P3)

Nesse caso, P3 chama a atenção para o fato de que os protocolos de avaliação do risco deveriam considerar as propriedades que se manifestam mais fortemente na escala nano e que as abordagens tradicionais podem ser insuficientes. Além disso, P3 ressalta que, mesmo no contexto da escala nano, há outros elementos a considerar, conforme afirma a seguir:

“700 nanômetros é nanométrico; 10 nanômetros é nanométrico. Os efeitos são completamente diferentes. A persistência no meio, a permeabilidade em membranas, permeabilidade em sistemas biológicos, também é diferente. Então, tudo isso tem um impacto na toxicidade do material. Aí, para produto, não tem um protocolo padrão. Então, existem sugestões e diretrizes na literatura, seja internacional seja nacional, e para produto eles pedem no mínimo que você demonstre, evidencie, os aspectos de segurança do material, para finalidade de registro, e aí você tem que estar coberto por testes.” (P3)

Ou seja, mesmo dentro da escala nano, há comportamentos que podem variar em função das dimensões das nanoestruturas, o que implicaria testes diferentes em função do seu manejo e aplicação, pois protocolos de segurança também devem ser considerados. E, apenas para registrar mais um exemplo de material que apresenta comportamentos distintos quando está na escala nano e, ao mesmo tempo, pode resultar em situações perigosas, P5 lembra que:

“O alumínio numa macroescala a gente põe no fogo, faz panela. Se você transformar em nanopartícula de alumínio ele é extremamente oxidante. Ele pega fogo muito fácil. Quem trabalha com estruturas de alumínio sabe que precisa ter cuidado porque aquilo é explosivo. Então, normalmente, o cara faz em atmosfera inerte, que não tem oxigênio e tal.” (P5)

Essa é mais uma limitação interna que afeta o manejo da nanoestrutura de alumínio, pois implica instalações e condições especiais de trabalho. Em relação a isso, outro entrevistado ressaltou que:

“A gente utiliza os EPI¹⁰⁸ necessários para cada atividade. Por exemplo, no laboratório a gente tem algumas diferentes atividades, cada uma delas requer um tipo de equipamento de proteção individual. Eu, por exemplo, com uma rota de produção de nanomateriais, que é o de nanofibras, onde apenas uma das dimensões é nanométrica. Então, você tem uma fibra, nesse sentido ela não é nanométrica, tem um comprimento maior do que 100 nanômetros, mas no diâmetro ela é. A técnica que a gente utiliza para gerar esse material é eletrofição, onde eu tenho a aplicação de um campo elétrico alto, 20, 30kVolts.” (P1)

Esse exemplo é particularmente ilustrativo porque remete a alguns cuidados na produção das nanofibras em função da técnica utilizada, que é a eletrofição. Por envolver alta voltagem, exige proteções individuais adequadas para esse fim. Ou seja, não é uma limitação imposta pelo artefato em si, mas pela técnica usada para produzi-lo. Nesse caso, devem ser acrescentadas proteções isolantes aos demais equipamentos usuais. Em relação aos aspectos técnicos e legais, P3 faz uma declaração importante:

“Eu acho que já tem um conhecimento bem mais difundido sobre nanotec e as empresas, a sociedade, e até a sociedade, a gente passou por um período de possibilidade de geração de uma lei que era bem conflituosa para regulamentar esse mercado de nano e, assim, tinha também uma abordagem muito pautada só em um aspecto de risco ambiental e pouco esclarecedora

¹⁰⁸ Equipamento de Proteção Individual.

sobre a ótica técnica. E, ela não foi aprovada, essa lei. Então, isso foi desmistificando um pouco o que realmente é potencial risco, o que é ganho.” (P3)

O entrevistado destaca a importância dos aspectos técnicos na elaboração de normas e protocolos relacionados a temas novos, como é o caso da nanotecnologia. Os últimos exemplos evidenciaram inclusive a necessidade de avanços nas regras de segurança das pessoas que trabalham em laboratórios e manuseiam equipamentos nos processos de produção de estruturas nano, para além dos pesquisadores implicados.

Com isso, verifica-se que há limitações intrínsecas e extrínsecas nos processos de produção e desenvolvimento de estruturas nanotecnológicas. Ao tratar a tecnologia como um sistema de ações, os relatos finais apresentados pelos entrevistados deixam claro que algumas limitações se encontram nas técnicas e equipamentos utilizados e não nas propriedades dos artefatos em si. As observações feitas por P1 acima poderiam ser ilustrativas de uma limitação intrínseca de caráter operacional, conforme a define Quintanilla (2017).

5.5. Uma tecnologia reversível

Alguns dos entrevistados, quando questionados em relação à reversibilidade, reconheceram não terem pensado a respeito. Ao mesmo tempo, indicaram que muitos testes realizados com os produtos, ainda na escala de P&D podem ser considerados como sendo de reversibilidade, na medida em que seus resultados podem sugerir o prosseguimento do projeto ou sua extinção, especialmente aqueles que se referem a produtos para uso humano. Essa exigência, certamente, aumenta os custos do projeto, como bem enfatizou um dos entrevistados:

“[...] pensar em um produto chegando próximo do mercado, que é trabalhar o escalonamento, trabalhar os testes in vitro; a gente está falando de uma aplicação humana, então, você tem que ter uma segurança biológica, testes in vitro, depois testes in vivo. Isso tudo, é claro, tem um custo.” (P3)

Nesse caso, o projeto não prevê, a rigor, a reversibilidade, mas a não necessidade de reversão, pois os testes indicariam e, supostamente, garantiriam, o resultado esperado a partir da *segurança biológica* apontada por P3. Outro entrevistado reforçou essa percepção, conforme se verifica na declaração a seguir:

“A gente trabalha sempre em uma escala lab; sempre em uma escala bancada laboratorial e, na medida do possível, a gente tenta incorporar nos projetos uma escala piloto para poder avaliar aquele conceito em um ambiente relevante.”

“Esses problemas, caso eles surjam, já surgem em uma escala menor de validação da tecnologia, onde você enxerga ‘olha! Ele até funcionou, mas gerou esse contraponto’. Volta, troca a matéria prima, troca um processo, e muda a rota de síntese, por exemplo.” (P1)

Para P1 os possíveis problemas podem ser sanados ainda na escala primária de pesquisa e desenvolvimento, cujo ambiente é bem controlado e vários testes são realizados. No entanto, P1 ressalta que outros possíveis efeitos indesejados podem não aparecer nessa escala. Nesse caso, a cooperação com empresas passa a ser essencial, segundo suas palavras:

“Então, justamente por estar em contato com a empresa privada isso é mais fácil. Vamos supor que a gente estivesse fazendo só pesquisa de base e tivesse só o nosso ambiente de bancada para testar, muita coisa ia passar despercebida.”

“Então, o bom da gente desenvolver esses projetos em parceria com as empresas é isso: eles já estão inseridos nesse mercado e eles já conseguem testar isso em um ambiente relevante.” (P1)

O ambiente relevante mencionado por P1 é aquele em que a escala supera a de bancada laboratorial. Nesse caso, a empresa, por exemplo, deverá submeter o produto aos órgãos de controle, como a ANVISA, e novos testes devem ser feitos para compor a solicitação de aprovação para o produto ser colocado no mercado. Esse *know how* das empresas é que foi destacado por P1. Isso ficou muito evidente no caso recente da produção e aplicação das vacinas contra a Covid-19 no Brasil¹⁰⁹. Os protocolos preveem que, além dos testes laboratoriais,

¹⁰⁹ Duas vacinas foram produzidas no Brasil; a Coronavac, pelo Instituto Butantan em cooperação com a China; e a AstraZeneca, pela Fiocruz em cooperação com a Inglaterra. Instituto Butantan e Fiocruz são grandes produtores de vacinas no Brasil. Também foram aplicadas as vacinas da Janssen e da Pfizer, mas eram importadas.

outras duas fases envolvendo grande número de voluntários devem compor os testes. As vacinas já estavam liberadas nos países de origem, mas tiveram que realizar testes no Brasil e passar por todos os processos para a aprovação do seu uso. Somente ao final dessas fases os fabricantes submetem à ANVISA a solicitação da licença para comercialização do produto. Na mesma direção, P5 ressalta as diferentes fases de um processo de P&D:

“[...] quando a gente desenvolve, não sei, pelo menos na nossa realidade, a gente desenvolve um projeto, a gente vai tanto passo a passo, até você ter um impacto ambiental tem que chegar à escala industrial para ter. Enquanto a gente está aqui, a gente faz pequenas quantidades, isso vai para um tratamento. A gente coleta, guarda aquele resíduo, isso vai para um tratamento, o parceiro leva, faz um tratamento de resíduo lá específico.” (P5)

Na escala de bancada os resíduos são adequadamente tratados, pois seguem protocolos rígidos e são em pequenas quantidades, conforme afirma P5. O parceiro do projeto, a saber, a empresa, terá que continuar esses tratamentos nas escalas seguintes. Com isso, P5 segue na mesma linha de pensamento apresentada por P1 e P3, ou seja, não estaria prevista a reversibilidade porque o ambiente de laboratório é bem controlado e está em escala reduzida, dificultando qualquer impacto ambiental. Em escala de produção, entretanto, pode haver riscos se os cuidados não forem tomados, segundo ressalta um dos entrevistados:

*“Esse que é o problema que eu tentei fazer analogia com os fármacos, não é só da nanotecnologia. “
“E, a nanotecnologia é mais ou menos uma situação parecida. Ela vai, por exemplo, catalisar reações, pode provocar uma mutação num determinado organismo, numa bactéria, num fungo, entendeu? E, a gente não sabe que tipo de problema que pode acarretar, pode surgir uma nova doença, um fungo resistente. Basicamente, é isso. Então, de fato, teria que ter um controle, um tratamento dos resíduos, antes de ser jogado nos rios ou no meio ambiente.” (P6)*

Em geral, os pesquisadores entrevistados demonstraram muita segurança em relação aos testes que realizam e aos protocolos que seguem para evitar danos ambientais ou para a saúde humana, incluindo-se estudos de toxicidade. Por isso, talvez a questão da reversibilidade não tenha sido explorada em seus projetos. Veja-se o exemplo a seguir:

“Nunca pensei nisso. Aquilo que eu falei: eu penso nos meus compostos. Quando eu produzo, eu vejo a parte de toxicidade ou a parte de ecotoxicidade que o aluno [de pós-graduação] faz. Aí, vou ter o produto, ele degrada fármacos, mas ele também mata os peixinhos? Vai ser a tese do [aluno].”

“Ele vai fazer a pesquisa, não vai jogar no mar. Ele vai ver o potencial de degradação e vai fazer a ecotoxicidade.”

“Agora, [aluno da pós-graduação] vai fazer a genotoxicidade, para ver se isso vai alterar o gene. A gente tem esse estudo, o meu grupo tem esse estudo. De tudo o que a gente faz, a gente vê a parte de toxicidade.” (P9)

Nos exemplos apresentados por P9 fica clara a preocupação com os testes de toxicidade dos resultados das pesquisas do seu grupo, incluindo-se aspectos bem específicos, como a ecotoxicidade e a genotoxicidade. Esses testes, possivelmente, irão compor o programa de pesquisa de P9, conforme se observa em duas passagens de sua declaração, quando afirma que *“eu penso nos meus compostos”* e *“de tudo o que a gente faz, a gente vê a parte de toxicidade”*. Somam-se, ainda, as questões apontadas por P6 acima ao expressar preocupação com as possibilidades de mutações genéticas. Outro entrevistado segue na mesma direção de P6 ao afirmar que:

“[...] se é um cosmético, se é um creme, isso está numa base, então quando você lava é como um creme, você passa e quando você toma banho, isso tem uma camada que vai embora. Mas, isso vai para a água, vai para o esgoto, é que nem o caso dos hormônios que vão para a água, que dizem que não tem o que tire os hormônios da água.” (P8)

Nesse caso, P8 remete ao grave problema do descarte de substâncias com hormônios no ambiente para evocar um princípio de precaução em relação aos produtos nanotecnológicos já na escala comercial de cosméticos que têm uso diário e, portanto, grandes quantidades podem ser descartadas. Corroborando com P8, outro entrevistado expressa preocupações semelhantes:

“Mas, de qualquer forma, eu estou vendo o pessoal, principalmente no Canadá, trabalhando com o que chega, principalmente nanopartículas de cosméticos, nos efluentes. E, tem bastante coisa e está acumulando nos peixes; está acumulando. Bom, no Brasil, a gente sempre está atrás, mas está chegando aqui, está chegando. Sim, existe essa preocupação. Agora, se esse grito vai ser ouvido ou não, eu não sei. Mas, eu estou vendo chegar essa onda aqui da gente pesquisar mais, ir mais a fundo e procurar, especialmente produto de consumo final, higiene pessoal, tem bastante coisa. Acho que o fármaco em si é um volume pequeno para dizer a verdade. Mas, por exemplo, xampu, tem um monte de xampu com nanoesponjas, tem cremes e cosméticos, e isso é

consumido em larga escala e está indo para o ambiente de verdade. São partículas de polímeros que não são degradáveis.” (P7)

P7 sintetiza bem várias das ideias apresentadas até aqui em relação aos cuidados e riscos com o ambiente e os resíduos, indicando, inclusive, pesquisas conhecidas que reforçam suas preocupações. Ao mesmo tempo, assim como acontece com outras áreas da tecnologia, há pesquisas que propõem tratamentos de recuperação ambiental por meio da nanotecnologia. Um dos entrevistados destacou essa possibilidade ao ser questionado se entenderia como relevante a previsão do princípio da reversibilidade nos projetos de P&D em nanotecnologia:

“[...] eu acredito que sim, tanto que tem vários desenvolvimentos na área, por exemplo, de recuperação ambiental que usa a nanotecnologia e, se você está trabalhando com recuperação ambiental, você tem que recuperar essas nanopartículas.” (P4)

Conforme destacou Quintanilla (2017), *“geralmente, nos processos de avaliação de opções tecnológicas não se presta muita atenção nesse aspecto da reversibilidade”* (p.41). Os entrevistados estão preocupados com os riscos e com os efeitos nocivos ao ambiente e à saúde. No entanto, acreditam que os protocolos previstos exigem testes que impediriam, ou reduziriam, a circulação de produtos perigosos. Ao mesmo tempo, alguns alertas foram feitos, no sentido de que há necessidade de novas pesquisas e de novos testes para garantir a segurança na produção, manuseio e comercialização de produtos nanotecnológicos. Em alguns casos, repete-se a crença de que a própria tecnologia encontrará soluções para problemas que ela mesma tenha causado. Como foi dito anteriormente, não há previsão do princípio da reversibilidade nos projetos de P&D em nanotecnologia porque há previsões para evitar que ela seja necessária; ou, pode-se considerar que há previsão de uma reversibilidade dentro da fase de bancada da pesquisa e não nas fases seguintes ou aplicação do produto nanotecnológico. A questão é o quanto se tem de certeza de que isso será sempre alcançado.

5.6. Uma tecnologia recuperável

Assim como no item anterior, foi difícil detectar uma previsão de recuperação ou reciclagem ainda dentro da fase de bancada dos projetos de P&D em nanotecnologia. Em geral, os entrevistados reconhecem, por exemplo, que a obsolescência programada é uma prática existente em vários produtos comercializados, mas acham difícil que a nanotecnologia iria ampliar tais ações. Uma das declarações chama a atenção para um aspecto interessante:

“Eu acho que isso pode ter sim. Eu acho que algum desestabilizante. Mas, tem que fazer um estudo para isso também, para ter um controle muito preciso. Mas, eu acho que, assim como o celular é feito para durar um certo tempo, acho que dá, não sei. Mas, eu não sei de nenhum exemplo.” (P4)

Para P4, ainda que possível, uma redução proposital da validade de um produto poderia ocorrer, mas também exigiria investimentos em pesquisa, o que poderia redundar em uma ineficiência comercial. P4 ressalta ainda que, em alguns casos, há mudanças na validade de um produto nanotecnológico, mas por razões técnicas e não intencionais. Em outros, a validade é atribuída de maneira arbitrária pelas agências reguladoras. De modo sintético, P4 afirma que:

“Eu acho que isso existe muito no Brasil. Por exemplo, reagente químico tem que ter uma data de validade, porque a ANVISA determina. Eu acho que, realmente, para muita coisa não faz sentido, porque o negócio vai ser estável e não precisa ter data de validade. Agora, para outros, sim, tem a questão da estabilidade da nanopartícula. Tem mudanças de temperatura, mudanças de estocagem, pode levar a alteração no produto, no que você produziu.” (P4)

O que P4 aponta parece ser uma falha nos protocolos que resulta em descarte excessivo de reagentes que poderiam ser utilizados. Esta seria uma obsolescência por imposição externa que favorece o descarte, na contracorrente do que propõe Quintanilla (2017) ante uma prática de “usar e jogar”. Em outros casos, a reciclagem é mais uma imposição econômica do que ambiental, conforme se verifica na declaração a seguir:

“Por exemplo, a gente já trabalhou com parceria com indústria, com desenvolvimento de alguns materiais, existia uma validade, um tempo de validade para isso. Mas, assim, eu acredito que na pesquisa você produz um

material e o custo desse material é muito alto, você não vai pegar e descartar. Você vai deixar reservado ou fazer um tratamento desse material, uma ativação desse material, que também é possível, e continua trabalhando com ele. Porque, por exemplo, no caso você trabalha com platina, com paládio, o custo disso é altíssimo, então você não pode desperdiçar esse material.”
“Mas, numa escala industrial você teria que usar o processo mesmo de reciclagem, não dá para fugir disso. Então, você vai ter que pegar um material vencido, tratar esse material, tentar voltar ele na condição inicial de uso, e preparar ele novamente.” (P6)

Nesse caso, P6 aponta para uma necessidade que não é específica da nanotecnologia, mas de pesquisas de modo geral, em especial, quando se utilizam materiais de alto custo. A lógica do descarte foi vencida pela perspectiva econômica. Além disso, é relevante salientar que as políticas do MCTI presente nos documentos que incentivavam as pesquisas em nanotecnologia (Brasil, 2019b), conforme foi apontado no Capítulo 4, abordaram tardiamente as questões relacionadas com o ambiente sustentável e o descarte de resíduos dos processos de fabricação.

Em outros casos, a nanotecnologia poderia resultar em produtos com menor custos e menos agressivos ao ambiente, mas, no momento, não se mostraram viáveis comercialmente, como revela o exemplo a seguir:

“[...] lá no começo dos nanocompósitos, o que o pessoal tentou fazer foram as garrafas de cerveja, com propriedade de barreira, só que em vez de ser de vidro, eram de plástico, mas isso parece que não evoluiu. Não sei se não atingiu o requisito necessário, tem que segurar aquele gás que está ali incorporado na bebida, ou se foi uma soma de fatores, teve isso, teve o custo, e a aceitação do público também, porque quem compra a cerveja quer a cerveja na garrafa, que é tradicional. Não vai querer comprar uma cerveja numa garrafa de plástico.”
“Uma embalagem mais leve, a logística, esse tipo de argumento. Não quebra tão fácil, a reciclagem é mais fácil, porque requer menos energia para fazer de um plástico do que um vidro, que requer temperatura muito mais alta, enfim.” (P8)

Ao que parece, a nanotecnologia era mais apropriável do que a tecnologia tradicional, mas por uma imposição de mercado, optou-se por manter o produto, a saber, a garrafa de vidro, ainda em uso em detrimento de uma solução melhor na perspectiva de uma tecnologia recuperável. P8 oferece outro exemplo dessa situação para ilustrar que não se trata de casos isolados, mas de uma política de algumas empresas. Segundo o entrevistado,

“Os nanotubos seriam um caso. Por exemplo, esse projeto de retardamento de chama que a gente fez, aí é a visão do outro lado, da pessoa que contratou o projeto, da empresa, eles sempre falavam: ‘ah; mas quanto vai custar?’ [...] Se quisesse realmente avançar para ter um produto bem caracterizado e já pronto para venda, teria que investir um pouco mais, teria que estender o projeto. Mas, assim, a gente fez estimativas de custo, baseado no que a gente comprou e fez em escala de laboratório. Mas, acabava ficando um pouco mais caro do que era o convencional utilizado hoje. Então, eles falaram não. Então, não é competitivo.” (P8)

Mais uma vez, a empresa opta por não investir em projeto de P&D em função dos custos, mantendo seu produto com a tecnologia convencional. Em alguns casos, a oferta de um portfólio vantajoso do ponto de vista ambiental não é suficiente para convencer as empresas a investirem recursos em pesquisa, segundo afirmaram alguns dos entrevistados e como se verifica nas declarações de P8. P1 também oferece exemplo similar aos anteriores:

*“[...] um dos exemplos que [nome do pesquisador] dá da aplicação da nanotecnologia é você utilizar nanopartículas de prata em embalagens. Então, você aumenta o tempo de vida de uma maçã, por exemplo.”
“Então, é uma das aplicações, ou seja, utilizar partículas de um material com propriedade, no caso a prata, que é bactericida para aumentar o tempo de vida de uma maçã. Você consegue consumir ela daqui há uma semana sem que ela tenha se estragado.” (P1)*

Seria uma saída sustentável para reduzir as perdas de alimentos por conservação ineficaz, mas que as empresas não estão propensas a investir. P1 também esclarece que, em alguns casos, há uma diminuição do tempo de vida útil do produto em escala nano por razões técnicas e não intencionais, conforme o exemplo a seguir:

*“[...] a nanotecnologia, na verdade, se a gente for pensar em redução, o que é? Redução da escala de tamanho; você partir de um material em escala macro e reduzir aquilo até ele ter escalas nanométricas. Mas, a constituição, a composição do material, é a mesma. Então, carbono, seja escala macro seja escala nano, ele continua sendo carbono. Em termos de tempo de decomposição não tem por que mudar; muda um pouco em termos de área superficial. Ele tem mais área disponível para ter contato com a atmosfera, por exemplo, com um ambiente agressivo.”
“Então, em termos de durabilidade, pode ser que ela seja reduzida por conta disso.” (P1)*

Nesse exemplo, as características físico-químicas do material comprometem sua durabilidade como uma consequência da escala nano. Outro pesquisador destacou que a nanotecnologia poderia oferecer maior durabilidade a alguns produtos, mas seu custo seria muito elevado e, portanto, inviável comercialmente. Para ilustrar, P9 apresenta o seguinte caso:

“(...) do grafeno não é viável, ou do óxido de grafeno, não é viável. A gente já fez um estudo das várias empresas que vêm me procurar, de aumentar a resistência de polímeros, resistência mecânica, faz a conta e é muito caro. Então, quem sabe quando abaixar o preço se aplique, mas pelo menos eu estou mostrando: olha, serve.” (P9)

A pesquisa aplicada de P9 mostra a eficiência do grafeno, ainda que inviável atualmente em razão dos custos de produção. De acordo com P9, os valores do grafeno têm sofrido alguma redução ao longo do tempo, mas ainda permanecem caros para determinadas aplicações, daí sua expectativa de que sua aplicação possa se tornar viável. Entretanto, P9 ressalta sua validade como conhecimento produzido. Em outros casos, o uso da nanotecnologia pode ser uma estratégia de *marketing* das empresas, conforme aponta P9 ao citar o exemplo de raquetes de tênis que usam grafeno em sua composição e, segundo os produtores, garante maior resistência mecânica:

“Porque ela vai durar muito tempo e as venda caem. Mas, aí tem a propaganda do grafeno. Todo mundo fala do grafeno. Aí, fala: você coloca quanto? Eu já fiz um experimento, coloca 3% de grafeno no polímero, ele dobra, estica, mas o preço?” (P9)

Aparentemente, uma pequena parcela de consumidores estaria disposta a pagar mais caro por um produto que contenha nanotecnologia em sua produção, ainda que os valores sejam elevados. Com quantidades pequenas em sua composição, as vantagens são igualmente reduzidas. A hipótese do *marketing* ganha força nesse contexto, conforme destacou P9 em sua declaração, já que parece não haver ganho significativo na qualidade do produto em detrimento da elevação do seu custo.

Um dos entrevistados afirmou não conhecer projetos de P&D em nanotecnologia que tenham a intenção de acelerar a obsolescência do produto.

Ao contrário, verifica que as empresas buscam o oposto. De acordo com sua declaração:

“Eu nunca vi algo na nano que fosse com esse objetivo, de diminuir. A gente sempre vê algo, assim, pelo menos nos projetos, de tentar aumentar a eficiência de determinado ativo, de um produto, até mesmo aumentar a validade dele.” (P2)

A percepção de P2 acompanha a dos demais pesquisadores entrevistados. Ainda que alguns reconheçam que tecnicamente seria possível provocar uma obsolescência intencional a determinado produto, não tiveram essa experiência em suas participações em projetos de P&D em nanotecnologia; ao contrário, como ressaltaram alguns deles. Em outros casos, pode haver reduções no tempo de validade, mas por razões técnicas, como exemplificou P1 acima. Assim, é razoável supor que nessa fase de laboratório é pouco comum a implementação de uma obsolescência intencional. Vale destacar a declaração de P6, ao apontar que algumas iniciativas de reciclagem poderão acontecer muito mais por uma vantagem econômica a uma preocupação ambiental, pois esta ainda não parece ser um aspecto relevante na avaliação dos projetos de desenvolvimento tecnológico, conforme salientou Martins (2010) no Capítulo 4.

5.7. Uma tecnologia compreensível

Em relação ao caráter compreensível da nanotecnologia é preciso considerar que se trata de uma área relativamente nova e muito distante do cotidiano das pessoas. A própria comunidade de cientistas e tecnólogos ainda busca entender algumas de suas propriedades e aplicações. Além disso, vale destacar que boa parte dos entrevistados trabalha com pesquisas relacionadas a fármacos e cosméticos, o que reflete em suas respostas. Um dos entrevistados chamou a atenção para esse fato ao afirmar que:

“É falta de conhecimento, de divulgação; de divulgação do que é nanotecnologia. A gente não tem uma disciplina, um curso da pós-graduação nisso. Tanto que eu mexo com grafeno e o pessoal fala: você vê grafeno, não é nano? Eu digo que eu vejo porque tem muito. Então, você vê o pozinho, como ele é nano? Então, se você dispersar, o grafeno é nano quando tem 0,8

nanômetros de espessura. Ele é amplo, mas na espessura é 0,8. Ele é nano. Agora, nanopartículas já é diferente. É o tamanho da partícula.” (P9)

Nesse caso, há confusões entre a nanoestrutura grafeno e uma quantidade visível do material. Produzir em quantidades significativas para a análise química foi um dos primeiros desafios da nanotecnologia, conforme ressaltou Kroto (1992) no Capítulo 3. Além disso, P9 recorda que não existem disciplinas específicas relacionadas à nanotecnologia em seu Instituto, sendo estudada, quando ocorre, em meio a outros cursos, o que a torna pouco conhecida mesmo entre químicos e físicos, por exemplo. Na mesma direção, outro entrevistado destacou que:

“Eu sou químico e tive poucas, pouquíssimas diria, disciplinas de nanotecnologia, tanto na graduação quanto na pós. Na graduação, o que teve mais próximo é colóide, alguma coisa assim.”

“Mas, assim, eu não digo que as Universidades trabalham; os pesquisadores estão trabalhando, mas nem sempre é passado tanto assim para os alunos.” (P4)

No entanto, conforme foi apontado no Capítulo 4, o Livro Verde (2001) previa a necessidade de envidar esforços para implementar disciplinas relacionadas à nanotecnologia na graduação e na pós-graduação. Outros documentos do MCTI também faziam referência à formação de novos pesquisadores em nanotecnologia (Brasil, 2008a, 2008b). Ao que parece, essas iniciativas não foram implementadas. Desse modo, é razoável supor que os leigos, ou seja, a população em geral, saiba menos ainda sobre a nanotecnologia, o que poderia levar, conforme já foi mencionado, a consumos provocados mais por *marketing* do que por vantagens técnicas de determinado produto. Como exemplo, P9 relata uma situação em que um colega comprou uma raquete de tênis com nanotecnologia em sua estrutura por entender que é mais leve que as convencionais. Sobre isso, destaca o seguinte:

“Acho que não, alumínio é mais leve. Mas, acho que é mais propaganda. É mais marketing. Eu sei que a quantidade que você coloca, você não pode colocar muito não, senão fica muito caro. Por mais que você faça a produção é muito caro.” (P9)

A partir de seu conhecimento técnico, P9 descarta o argumento comercial usado para justificar a compra da raquete de tênis com nanotecnologia. Mas, ao mesmo tempo, reconhece que seria muito difícil para um leigo dispor de tais conhecimentos para tomar decisões relacionadas à nanotecnologia. Segundo suas palavras:

“A gente que trabalha na área, a gente não conhece tudo. Como eu explico para um leigo? Como eu explicaria? A gente fala de partículas pequenas com propriedades. Eu falo o exemplo do ouro. O ouro que tem 2 nanômetros é vermelho e quando ele tem 15 ele é amarelo. Então, a gente explica assim, mas é muito difícil de explicar para um leigo o que é a nanotecnologia. Então, ele deve ver pela televisão, mas não deve entender a explicação.” (P9)

A falta de divulgação já foi apontada por P9 anteriormente, apesar de sua importância ter sido enfatizada em alguns documentos do MCTI, como o Livro Azul (Brasil, 2010). Nesse caso, mais especificamente, o entrevistado faz referência a uma das principais características dos materiais na escala nano que é a capacidade de adquirir propriedades distintas de escalas maiores, como o caso do ouro. Essas novas propriedades é que tornam a nanociência e a nanotecnologia novas áreas de pesquisas e aplicações, com possibilidades impensadas até então, para além da descoberta das novas estruturas, como os fulerenos, os grafenos e os nanotubos.

Portanto, parece que seria muito difícil para os leigos compreenderem os aspectos científicos e técnicos da nanotecnologia. No entanto, isso não impediria que os artefatos nanotecnológicos fossem compreensíveis em seu uso. Nesse sentido, Quintanilla (2017) ressalta que *“é preferível que o usuário possa entender como funciona seu artefato técnico e como se supõe que deva usá-lo”* (p.46). É justamente neste último aspecto que a nanotecnologia guarda seu potencial para ser uma tecnologia apropriável, por exemplo, quando seu uso adequado se tornar claro para os consumidores. Além disso, os usuários podem não conhecer o funcionamento interno da nanotecnologia, mas estariam em condições de compreender o seu uso. Os casos dos cosméticos, fármacos ou insumos agrícolas podem ajudar a esclarecer, conforme ilustram as declarações a seguir:

“A pressão, você rompe a partícula e libera o ativo, e o ativo, muitas vezes, já é um sal, algum ativo que já se usa em condicionador e creme que o cara só encapsulou para chegar nos fios e atuar melhor nos fios. Geralmente, é algo que ele já aplica.” (P2)

“(...) as coisas que eu trabalho hoje podem, de uma formulação de uma forma livre, passar a compor de uma forma encapsulada. Ela é encapsulada e tal, mas que, às vezes, já era uma coisa comum do produto que você tenta colocar de uma outra forma para ver se aumenta a eficiência desse efeito na aplicação.” (P8)

Trata-se de destacar que a nanotecnologia foi usada, nos exemplos dados acima, para transportar um determinado ativo, seja um fármaco seja um cosmético, de forma mais eficiente. Mas, o ativo já seria conhecido e não envolve necessariamente nanotecnologia. O usuário, ao saber disso, poderia fazer um uso mais racional do produto, ou seja, dispor de menos doses ou de menos aplicações, em se tratando de medicamentos e cosméticos, respectivamente. Assim, o caráter compreensível da nanotecnologia estaria muito mais associado ao seu uso adequado e menos aos aspectos técnicos das estruturas nano; ou, como nos casos ilustrados, nas cápsulas de transporte dos ativos. Para isso, o usuário teria que superar a concepção de que a tecnologia seria apenas um novo ingrediente adicionado ao produto, conforme já foi apontado anteriormente.

5.8. Uma tecnologia participativa

A participação efetiva dos usuários em todo o processo de desenvolvimento tecnológico, para além de escolhas pré-determinadas, em boa medida, está associada à compreensão dessa tecnologia. Mas, como se verificou no item anterior, isso ainda está pouco presente nos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Mesmo naqueles casos em que a participação ocorre via mercado, ou seja, pela escolha de produtos, o usuário pode estar sujeito a uma estratégia de *marketing*, segundo indicações anteriores. Desse modo, os entrevistados apontaram poucas possibilidades dessa participação. Ao mesmo tempo, ressaltaram outros aspectos importantes relacionados à (não) participação dos usuários. A declaração a seguir pode ilustrar:

“Então, para algumas aplicações ela [a nanotecnologia] acaba sendo inviável, porque existem tecnologias de menor custo e menos eficientes.”
Então, o pessoal sabe que na própria eletrólise, se você tiver, por exemplo, monocamadas de nanomateriais depositados o processo fica muito mais eficiente do que você pegar e ter um material metálico. São os eletrodos porosos, então para algumas aplicações, é que isso também não é muito divulgado, o pessoal não vê como nano, entendeu? Mas, o processo de eletrólise e tal já tem a nano lá aplicada. Bateria, por exemplo, já tem o conceito de nano lá, mas isso não é muito claro. Então, ela já está dentro do meio industrial, em alguns processos sendo aplicado, mas não é tão divulgado”
(P6)

Nesse caso, P6 destaca dois aspectos relevantes. O primeiro, refere-se à relação entre o custo e o benefício em utilizar uma inovação tecnológica, o que já foi tratado anteriormente. O segundo, aponta para uma direção oposta à participação do usuário, a saber, o desconhecimento de que a nanotecnologia já estaria incorporada aos processos produtivos de determinado produto sem que os consumidores saibam. Isso caminha para uma direção oposta às tecnologias apropriáveis. Ao ser questionado a respeito das razões da empresa não divulgar a utilização de nanotecnologia em seu produto, P6 destacou que:

“Então, essa que é a minha questão. Eu tenho dúvida. Por exemplo, hoje em dia, a tinta que você aplica para fazer embalagem tem a nanotecnologia envolvida, que a tinta tem um melhor rendimento. Aí, o pessoal fala: ah, quero a embalagem, paga tanto. Mas, por exemplo, já tem o conceito de nanotecnologia lá. Aí, por exemplo, eu não sei se o cara lá que trabalha na gráfica, faz a impressão, tem o conhecimento disso ou faz o que a pessoa manda ele fazer, que é um processo de ‘joga tinta na máquina e pinta’. O que eu estou querendo dizer? Assim, o conceito já está dentro da sociedade, está já embutido em vários processos, mas o pessoal não vê como nano, vê como um produto industrial.” (P6)

Nesse exemplo, P6 coloca em questão se até mesmo os participantes dos processos de produção teriam conhecimento da presença da nanotecnologia. Isso se aproxima da ideia de alienação na perspectiva marxista tratadas por Quintanilla (2017) e Parselis (2017) para construir o conceito de tecnologias apropriáveis. Além disso, ressalta a presença de outro ator que faz parte desse sistema de ações que vai além da mera relação produtor-consumidor, usualmente atribuída aos processos tecnológicos. Em seguida, P6 se apoia nesse exemplo para chamar a atenção para a falta de leis reguladoras do uso da

nanotecnologia, o que poderia ser uma das causas para a falta de informação acerca da presença da nanotecnologia em alguns produtos:

“Eu acho que isso é uma questão de tempo. Eu acho que é uma questão do Congresso Nacional brasileiro aprovar alguma lei ou alguma coisa do uso da nanotecnologia. Eu acho que é por isso que está quieto, porque não existe uma lei no Congresso sobre isso. Mas, é isso que eu queria dizer: vários processos industriais já têm nanotecnologia envolvida e as pessoas nem sabem.” (P6)

Para P6, uma legislação adequada poderia ser um indutor de mais esclarecimentos em relação às nanotecnologias já integradas ao mercado. No entanto, conforme foi apontado no Capítulo 4, o Brasil ainda teria muito que avançar nesses aspectos legais e regulatórios no que se refere à nanotecnologia, mesmo já tendo aderido aos protocolos internacionais.

Nessa perspectiva de regulações da nanotecnologia, um dos pesquisadores ressaltou a importância de esclarecimentos para a população, incluindo uma percepção mais positiva quando comparada à química, conforme se observa na seguinte afirmação:

“(...) eu espero que a nanotecnologia não receba o olhar que a química recebeu, porque atualmente na sociedade, na sociedade que eu digo, que não tem tanto conhecimento, olha a química como uma coisa ruim, só que não percebe que sem química não conseguiria fazer nada, desde andar de carro até, bom, tomar banho. Então, eu espero que medidas sejam tomadas para controle e até, assim, até ensino da população das vantagens e desvantagens. Eu acho que não pode condenar a nanotecnologia, por exemplo, por um problema que venha a causar no futuro; essa linha tênue entre vantagem e desvantagem, controle e não controle.” (P4)

Em síntese, parece que P4 deseja uma participação informada da população em relação a um certo controle social da tecnologia, desde que não seja carregado de uma concepção negativa como ocorre com a química. Mas, verificou-se no Capítulo anterior que a proposta de uma divulgação da nanotecnologia para a população não ocorreu, ainda que reconhecida como relevante nas políticas do MCTI. Ademais, a ABDI (2011), conforme foi mencionado no Capítulo 4, resalta a importância de investimentos em ações para promover a ampla aceitação da nanotecnologia pela população.

Outro aspecto apontado por um dos entrevistados que, de certa forma, inclui uma participação indireta do usuário, é a visão de mercado que as empresas trazem para uma inovação tecnológica. Isso foi mencionado por outros pesquisadores também. A declaração a seguir pode ilustrar essa perspectiva:

“Mas, tem empresas que têm o corpo técnico bem capacitado também. A gente tem parceiros que conversam de igual para igual com a equipe, sem problemas. Claro que tem empresas que trazem assuntos que eles não dominam. Mas, eles têm aquilo que eu te falei: eles têm um feeling da aplicação, eles têm a vivência de mercado. Isso agrega muito para nossa equipe.” (P5)

Ao investir em inovações em seus produtos, em princípio, as empresas estariam bem-informadas em relação às preferências e interesses de seus usuários em potencial. P5 ressalta que esse conhecimento se incorpora aos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológicos. Nessa perspectiva, outro entrevistado ressaltou que algumas inovações podem ocorrer no campo estético de um produto:

“Então, são diferentes formas de agregar valor na formulação, além da questão, principalmente em cosméticos, a gente vê a questão da textura, a questão estética da formulação, que a gente fala, a elegância cosmética, que é conferir para o produto um sensorial mais agradável. Então, uma textura, melhoria de cor, melhoria de performance de produto.” (P3)

Nesse exemplo apresentado por P3 a participação do consumidor, ainda que indireta, está presente, ao menos como pesquisa de mercado e, portanto, acaba sendo incorporada aos projetos. Nesse sentido, ao ser questionado sobre possíveis cuidados que os usuários deveriam ter em relação ao uso adequado de produtos nanotecnológicos, outro entrevistado afirmou que:

“Então, assim, quando você estuda e faz esse tipo de estrutura, você leva tudo isso em consideração. Então, geralmente, você trabalha com produto que é biodegradável, que vai ter uma certa durabilidade, porque, se não, você não tem a ação da sua partícula. Você não vai conseguir liberar o que você tem ali dentro que é o seu ativo. Então, assim, essa questão de ter uma conscientização com relação a cuidados, enfim, geralmente não tem.” (P2)

Ao que parece, P2 entende que não seria viável apostar em uma conscientização de uso e descarte adequados de um determinado produto por parte dos usuários. Nesse caso, seria melhor, segundo P2, que o produto não tivesse tal necessidade. Isso aponta para o caminho contrário a uma tecnologia apropriável, pois descarta de antemão a participação do usuário. Outro pesquisador corrobora essa percepção ao ressaltar o seguinte:

“Não, muito provavelmente isso não vai para frente esse tipo de produto, onde você requer algum tipo de cuidado muito específico.”

“Então, esse tipo de produto, na área de cosméticos, que produz, que você requer algum tipo de descarte específico, acho que ele tem muito pouca chance de ir para frente. Então, procura prestigiar matérias primas biocompatíveis, biodegradáveis para não ter essa necessidade.” (P1)

Nota-se, portanto, que os projetos de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia, no contexto aqui analisado, promovem muito pouco a participação dos usuários, exceto como sujeitos de pesquisas de mercado, como meros consumidores *“que podem apenas reagir a uma oferta previamente planejada de forma independente”* (Quintanilla, 2017, p.47). Aliado a isso, ainda pode existir um caráter alienante em relação à nanotecnologia, mesmo entre aqueles que participam internamente dos processos de produção.

5.9. Uma tecnologia sustentável

As agências reguladoras e a legislação ambiental brasileira obrigam as empresas e os institutos de pesquisa a cumprirem determinados protocolos que vão desde aspectos éticos na pesquisa a descarte de resíduos e leis trabalhistas. Assim, tudo isso deverá ser incorporado aos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológicos. No entanto, buscou-se verificar se outras iniciativas, para além daquelas previstas em lei, poderiam fazer parte desses projetos e se tais acréscimos seriam relevantes para solicitar recursos às agências financiadoras, por exemplo. Nesse sentido, um dos entrevistados ressaltou que:

“Não, a gente nunca coloca esse item. De tratamento de resíduos, não. Mas, o que eu coloco é o que eu falei, que o meu método não gera resíduos, de incorporação de metal, de fazer nanopartículas, porque geralmente coloca um

reductor (...). Para mim, é só água. Água e álcool para pegar a hidroxila radical, os oxidantes e só. Aí, eu filtro e está lá. Então, essa é a minha grande propaganda, só eu tenho porque eu trabalho no [Instituto]¹¹⁰.” (P9)

Ainda que não seja um item de avaliação, P9 afirma destacar em seus projetos que seu processo de produção de nanoestruturas não gera resíduos, considerando que se trata de um diferencial em relação aos demais. Em outros momentos, P9 ressalta que a questão da sustentabilidade é uma preocupação sua, conforme ilustra a declaração a seguir:

“No meu caso aqui, quando eu faço projeto, eu penso na sustentabilidade do projeto que eu estou fazendo. Então, eu vejo se ele é sustentável, ele não gera resíduos.”

“É recente essa parte ambiental, sustentável. Então, tem projeto sustentável, é mais sustentável do que falar de nano, por isso que eu falo que esse projeto não gera resíduos.” (P9)

Para P9, a sustentabilidade ambiental relacionada aos resíduos chama mais a atenção dos avaliadores e dos pares do que tratar da sustentabilidade da nanotecnologia. Outro entrevistado também chamou a atenção para o problema dos resíduos:

“Agora, o grande problema, que não é só a nanotecnologia, passa a ser o problema dos fármacos em geral, que nós não temos um tratamento dos nossos resíduos residenciais, são jogados. Então, por exemplo, a gente está tendo a produção de superbactérias justamente por não tratar esses resíduos e uma possibilidade de tratar esses resíduos é associar a eletroquímica com a nanotecnologia. Então, você, por exemplo, levar para o meio ambiente ou despejar no rio, é um produto menos agressivo ao meio ambiente ou aos seres vivos que vivem nesse ambiente.” (P6)

Ao mesmo tempo em que reconhece a extensão do problema de falta de tratamento dos resíduos residenciais que contém fármacos, P6 aponta a nanotecnologia como uma possível solução para tornar tais rejeitos menos agressivos ao ambiente. Outros pesquisadores entrevistados também destacaram possíveis soluções nanotecnológicas para as questões ambientais. Duas declarações podem servir de exemplos:

¹¹⁰ Equipamento específico omitido para não identificar o entrevistado.

“(...) o que eu vejo de trabalho da nanotecnologia na área de agro é justamente para você deixar de usar os defensivos agrícolas e começar a trabalhar mais com a parte biológica encapsulada. Por exemplo, encapsular um passivo, encapsular uma bactéria que come determinada praga. Então, você trabalha dessa forma, de forma que você não precise usar o defensivo agrícola, deixa de usar o defensivo para usar um tratamento mais biológico.” (P2)

“Durante o doutorado [aluno] trabalhou com nanotubos de carbono para o tratamento de corantes, se não me engano, que eram efluentes de indústrias de coloração têxtil. Era um nano-tubo com uma enzima que fazia a degradação dessas partículas e aí eu só não lembro como que o nanotubo era recuperado, mas eu lembro que tinha um pensamento nesse sentido, para depois pegar.” (P4)

Há potencial para a nanotecnologia se ocupar de temas ambientais, conforme esclarecem P2, P4 e P6. No entanto, isso não garante que a sustentabilidade seja considerada em todos os projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. P9 inclusive afirmou que não é um item de avaliação. Somando-se a isso, e buscando uma aproximação com o que foi tratado no Capítulo 3 em relação à promessa de a nanotecnologia contribuir para a economia de recursos naturais, outro entrevistado respondeu o seguinte:

“Eu não tenho visto muito. É engraçado, você colocou isso, eu parei para pensar, não tenho visto muito não. Esse argumento de redução não, eu tenho visto o argumento de substituição. De você conseguir estruturar, fazer nanoestruturados que substituem o plástico não degradável, que substituem o catalisador do automóvel; questão de substituição. Mas, economia não tenho visto muito.” (P7)

Essa declaração se aproxima da constatação feita por Joachim e Plévert (2009) em relação às políticas norte-americanas para a nanotecnologia, conforme foi tratado no Capítulo 3, ou seja, as preocupações ambientais no início deram lugar a uma corrida econômica ligada aos interesses nacionais. Ao mesmo tempo, as afirmações de P7, somadas ao que P6 ressaltou anteriormente, podem contribuir para a produção de produtos menos agressivos ao ambiente, o que tenderia para uma abordagem mais sustentável. Mais adiante, P7 complementa sua constatação salientando que:

“Meu orientando trabalha com partículas magnéticas para limpar o efluente. Então, você conseguiria recuperar determinadas substâncias de um esgoto, por exemplo. Tem bastante gente trabalhando com nanopartículas para recuperar petróleo, por exemplo. Então, a economia talvez viesse daí.”

“Essas linhas têm bastante, de limpeza de efluentes. Ou seja, aí seria a nanopartícula que você deliberadamente solta no meio ambiente para poder recuperar e, em geral, ela é feita com material paramagnético, para você poder recuperar facilmente.” (P7)

Nesse caso, P7 associa a economia de recursos naturais à menor degradação ambiental promovida pela nanotecnologia. Além disso, descreve uma aplicação na qual as nanopartículas não apenas limpam um efluente como também são recuperadas depois. Trata-se de uma aplicação semelhante à descrita por P4 anteriormente, na qual a sustentabilidade foi incorporada ao projeto. Ou seja, não apenas a nanotecnologia é utilizada para limpar os efluentes como é tratada como um resíduo a ser recolhido no final do processo. P9 também expressou preocupação com os prejuízos ambientais que os resíduos podem causar, destacando que:

*“Então, acho que a parte de nano é mais pela toxicidade que a gente não sabe o que vai acontecer. Que eu falei, tem tanta prata, a gente não sabe o que essa prata pode causar. Está se fazendo um estudo com embriões e peixes para onde que vai essa prata toda. Mas, é uma coisa, assim, que agora eles estão estudando. Então, a ideia é do que ela faz para o meio ambiente.”
“E, aí tem agora o pessoal estudando a toxicidade desse material que você vai jogando no rio, vai jogando no meio ambiente e aí? É como os plásticos. Todo mundo achava plástico bom. Agora, a gente viu que o plástico está acabando com o oceano.” (P9)*

Nos itens 4 e 5 já foram tratadas as questões relativas aos riscos da nanotecnologia ao ambiente. Aqui, P9 destaca que alguns estudos acerca dos possíveis impactos ambientais estão partindo da própria comunidade de pesquisadores em nanotecnologia. Além disso, P9 oferece um bom exemplo de inovação tecnológica que foi a invenção do plástico, mostrando-se inicialmente bastante eficiente do ponto de vista econômico, mas que se verificou, posteriormente, ser danoso ao meio ambiente. Esse exemplo se aproxima do caso das sacolas plásticas apresentado por Quintanilla (2017) para ilustrar a necessidade de limitação ou mesmo proibição do uso de determinada tecnologia naquelas situações em que seu uso traz consequências indesejadas. Ainda dentro da questão dos riscos ao ambiente, um dos entrevistados fez o seguinte alerta:

“O que eu sei, nos últimos congressos que eu fui, eu via discussão nesse sentido. Tem desde aqui no Brasil até encontros internacionais, a questão de regras e normas para utilização da nanotecnologia, alguns testes que devem ser feitos. É claro que tudo depende muito da aplicação. Por exemplo, para os cosméticos não pode permear e tal. Mas, então, para o ser humano não vai fazer ruim, mas e no ambiente? Então, são algumas coisas que eu acho que realmente têm que ser levadas em conta.” (P4)

Para P4, não basta avaliar os riscos ao usuário apenas, mas também em relação ao descarte de qualquer produto, pois pode se tratar de um resíduo agressivo ao ambiente. Isso se torna ainda mais relevante quando se considera o que foi tratado no item 4.6 em relação à pouca preocupação presente nos documentos do MCTI acerca do descarte e da sustentabilidade. Nesse sentido, dois outros pesquisadores ressaltaram que algumas escolhas já são feitas na fase inicial do projeto, conforme esclarecem as falas a seguir:

“Dentro da temática de projetos nessa área cosmético-fármaco, nos projetos que eu trabalhei, a gente sempre tem uma etapa inicial de filtro de matéria prima. A gente vai sempre trabalhar com polímeros biocompatíveis, biodegradáveis. São polímeros que já foram testados em contato com a pele em termos de toxicidade. Eles são biocompatíveis; eles podem ser utilizados com aplicações em sistemas vivos, e biodegradáveis, a própria natureza consegue degradá-los.” (P1)

“(...) não só para fármacos, mas eu vejo assim, mesmo para a agricultura, pelo menos aqui, a gente tem essa preocupação, dependendo do projeto, a gente tem que sempre ver o que é viável, que não vai causar prejuízo. Por exemplo, nesse caso, você vai produzir uma partícula nano que eu vou aplicar ali. Então, assim, quando ela se rompe para liberar o que ela tem de ativo, ela não pode ser prejudicial ao solo. Então, você tem que pensar com o que você vai produzir aquela partícula nano que, a partir do momento que se rompe, libera o que você tem de ativo ali dentro, você não vai estar poluindo o solo.” (P2)

Nesses dois exemplos apresentados por P1 e P2 fica evidente a preocupação com a sustentabilidade já nas fases iniciais dos projetos, mais especificamente, nas escolhas da matéria prima a ser utilizada. No entanto, é preciso considerar que o principal motor dessas escolhas não sejam as questões ambientais, mas os protocolos e normas das agências reguladoras, como a ANVISA, pois esses órgãos não liberariam os produtos para o mercado caso algum risco, potencial ou conhecido, estivesse envolvido. Em outra fala, assim como fez P4 acima, P1 ressalta que tais escolhas dependem também da aplicação do produto, conforme sugere o seguinte exemplo:

“Buscar materiais que sejam compatíveis com a aplicação. Então, é lógico, você tem aplicações. A gente já teve projeto com o setor automotivo que você vai incorporar esses sistemas num automóvel, seja lá que componente for, a preocupação com a toxicidade é menor. É um material que ele não é biodegradável, por exemplo, mas ele vai ser incorporado no carro, nada ali é. Então, essa preocupação é menor. Vai depender muito da aplicação. É uma coisa que vai para o solo? Talvez, essa preocupação já aumente. Você não pode, anos após anos, aumentar o teor de um material que não se degrada com menos de 200 anos. Então, muito provavelmente, você vai utilizar outro material; você não vai usar esse, a não ser que a forma como é utilizado permite a remoção e reciclagem. Mas, de maneira geral, com sistemas vivos, essa preocupação já existe desde o levantamento bibliográfico e da escolha da matéria prima.” (P1)

De acordo com P1, a fase inicial do projeto já descarta possíveis produtos que possam causar algum dano ambiental e/ou para o usuário. No entanto, esse exemplo parece reforçar a ideia de que tais cuidados estariam subordinados a uma exigência legal em detrimento de uma preocupação ambiental, pois quando se refere às peças de automóveis P1 ressalta que a atenção diminui em relação às exigências do material ser biodegradável. Mesmo em casos em que a aplicação de uma nanotecnologia não envolvesse seres vivos, não haveria impedimentos técnicos para que a questão ambiental fosse considerada relevante. Todavia, o próprio P1 alerta que os projetos também passam por uma avaliação da sua viabilidade econômica. Nesse sentido, uma tecnologia sustentável teria custos que nem sempre o produtor e/ou o usuário estariam dispostos a pagar, segundo aponta P1:

“Hoje em dia todo e qualquer dono de empresa ele quer o melhor, biodegradável, lindo, maravilhoso, mas não quer pagar mais por isso. Normalmente, quando você implementa, por exemplo, a partir de hoje não vou usar mais copo de polipropileno para tomar café na minha empresa. A partir de hoje vai ser copos de bagaço de cana de açúcar, que são totalmente ecológicos, biodegradáveis, fonte renovável. Tudo muito lindo até o momento de você pagar por aquilo. Então, um pacote que você pagaria centavos, você vai pagar reais agora. Na hora que pega no bolso, acaba que a implementação não ocorre (...).” (P1)

A partir desse exemplo de P1 fica claro que não é suficiente deixar unicamente para as empresas a iniciativa em produzir artefatos sustentáveis. Torna-se relevante também constatar que a relação custo-benefício não poderia

ser o único critério preponderante para a escolha em produzir ou implementar uma inovação tecnológica, conforme destaca Quintanilla (2005).

Nesse sentido, alguns dos entrevistados enfatizaram que as agências de financiamentos de projetos de pesquisa poderiam ser indutoras de mudanças, para além da legislação ou dos protocolos das agências reguladoras. Outro exemplo que foi lembrado por dois pesquisadores se refere ao uso de animais nas pesquisas, que vem sofrendo pressões da sociedade em geral e de algumas entidades representativas e, por isso, tem gerado mudanças, segundo as seguintes afirmações:

“(...) o que tem sido feito também ultimamente é a substituição da pele de animal por uma membrana sintética, por questões de não utilizar animais. Tem toda a questão com experimentação com animais que é um tema de discussão mundial que ainda existe, muitos órgãos são contra, então várias empresas já têm tirado e colocam inclusive isso no rótulo do seu produto: ‘olha, nós não utilizamos animais’.” (P1)

“Outra coisa que também a gente está tentando entrar, são alternativas ao uso de animais. Se eu consigo ter um ensaio in vitro mais representativo, a gente acaba reduzindo o uso de animais. Também é uma ideia que a gente tem levado; tem vendido um pouco assim e, de fato, ajuda mesmo a reduzir. O uso de animais eu acho desagradável.” (P7)

Ou seja, pressões externas aos processos tecnológicos podem induzir a buscas por alternativas, na medida em que estas passam a ter algum potencial valor ou que a própria tecnologia oferece outras possibilidades com equivalência técnico-científica. Esses exemplos dados por P1 e P7 também poderiam caracterizar uma forma de participação dos usuários, ainda que indireta, nos projetos de inovação tecnológica. Entretanto, ainda que alguns pesquisadores tenham expressado preocupações com a sustentabilidade em seus projetos por iniciativa própria, verifica-se que parte das ações ocorre por imposição de agências reguladoras ou como estratégia de mercado.

5.10. Uma tecnologia socialmente responsável

De modo geral, os entrevistados compreendem o alcance social que determinadas tecnologias podem ter. Mas, ao mesmo tempo, tendem a

considerar que um artefato tecnológico em si já seria uma contribuição social. Trata-se de uma concepção compreensível, na medida em que produzir conhecimentos e produtos tecnológicos são seus ofícios. A declaração de um dos pesquisadores pode ilustrar:

“Eu acho, assim, a pessoa que faz qualquer pesquisa bem intencionada, de alguma forma, ele deixa um legado social positivo. Seja na formação de um recurso humano especializado, seja na descoberta de um novo material; seja na descoberta de um novo processo, seja na descoberta de um novo tratamento de uma doença.” (P5)

Para P5, o alcance social estaria assegurado pelos benefícios potenciais que uma inovação tecnológica poderia trazer, mesmo que esteja ao alcance de poucos em um primeiro momento. Em relação a fármacos, por exemplo, P5 destaca que *“a tecnologia hoje, talvez uma nanoestrutura, um medicamento desse nanoestruturado, hoje é mais caro, o governo tem que ajudar você a pagar”*. Ao mesmo tempo, reconhece que o acesso a tais produtos *“começa pelos ricos, infelizmente, que têm acesso ao recurso. Mas isso, historicamente, tende a massificar”*. De certa forma, P5 parece atribuir certa neutralidade ao produto tecnológico e torná-lo acessível àqueles com menos recursos não seria uma preocupação do técnico, senão das políticas públicas. Isso fica mais evidente nas afirmações de outro pesquisador:

“Então, essas pequenas descobertas que se tornam grandes, pensando em resolver problemas como esses, de fome, de cura para uma doença que mata tanta gente, elas são realmente importantes, mas existe muita coisa além da ciência. Política, interesse econômico, e aí já foge ao nosso escopo. Realmente, não era mais para a gente ter fome na África. Não era mais para ter seca no Nordeste¹¹¹, mas tem. Então, é muito interesse por trás que foge um pouco do apelo científico.” (P1)

Contudo, Quintanilla (2005) destaca que um programa de P&D comporta também decisões políticas e avaliações internas e externas. No entanto, o autor ressalta que os pesquisadores tendem a considerar um programa de P&D a partir do contexto científico e tecnológico, conforme está representado no Esquema 01 tratado no Capítulo 1, e se verifica nas declarações de alguns dos

¹¹¹ Parte do Nordeste do Brasil apresenta clima semiárido. Essa região é viável para a agricultura somente com sistemas de irrigação.

entrevistados. A questão do acesso às tecnologias também foi apontada como um problema por outro entrevistado, conforme indica a seguinte declaração:

“É que acho que a nanotecnologia é muito grande. Por um lado, enquanto você disponibiliza algum tipo de, eu estou falando na parte de farmacêutico, por exemplo, algumas tecnologias para uma classe econômica específica, de uma forma ou de outra, você está fazendo uma ‘seleção natural’. Então, assim, por esse lado, tem uma diferença socioeconômica. Então, algumas tecnologias só estarão disponíveis para algumas pessoas. Os nanomotores, os nanomachines, para tratamento de doenças e tal, eu acho que isso vai ser muito difícil estar acessível para todo mundo; mesmo no SUS¹¹², por exemplo, tem diferenças.” (P4)

Assim como P5, P4 reconhece que o acesso seletivo a certos produtos tecnológicos pode gerar desigualdades sociais, mesmo tendo um sistema público como o SUS, para o caso dos fármacos e tratamentos clínicos¹¹³. Esse deslocamento de responsabilidade para o estado também se observa em outra declaração:

*“É que, assim, eu acho que quando vai para esse tipo de medicação, fármacos, fármacos para câncer, na verdade, quem acessa isso é o governo, muitas vezes, é o governo que acaba subsidiando isso.”
“Não é como você ir lá no mercado e comprar; na farmácia e comprar um medicamento comum de uso no dia a dia. É um medicamento muito específico, um fármaco para o câncer, vai ter o governo comprando isso da indústria farmacêutica. Isso vai para um hospital e esse hospital que vai administrar no paciente. Ele que vai liberar para o paciente. Não é uma coisa que o paciente vai direto na farmácia comprar. É uma coisa restrita e específica, uma medicação específica.” (P8)*

As declarações de P4, P5 e P8 sinalizam uma tendência em atribuir as dificuldades de acesso aos recursos oriundos da nanotecnologia às políticas públicas, ou às falhas destas, isolando a tecnologia dos fatores externos. P1, por exemplo, é bastante enfático ao apontar que as pesquisas oferecem oportunidades e que o papel do técnico estaria circunscrito a isso, conforme demonstra nas seguintes afirmações:

¹¹² Sistema Único de Saúde (SUS), ligado ao Ministério da Saúde, envolve toda a estrutura relacionada ao atendimento público e gratuito da população brasileira, desde emergências a tratamentos complexos, incluindo-se a distribuição de medicamentos gratuitos para todos os cidadãos, o financiamento dos hospitais e postos de saúde, serviços de vigilância sanitária e centros de pesquisa.

¹¹³ Os hospitais universitários também fazem parte do SUS.

“Se a gente está fazendo com que uma empresa cresça, contrate mais pessoas, ou consiga vender mais produtos e abra novas filiais em outros estados, não tem como falar que isso aumente as desigualdades sociais.”

“Eu acho que tudo o que a gente faz em termos de pesquisa, incluindo a nanotecnologia, é para gerar um produto novo, para aquela empresa crescer, contratar mais gente, abrir novas fábricas e gerar emprego.” (P1)

Essas afirmações, associadas às anteriores, revelam uma percepção linear e inexorável do desenvolvimento tecnológico, cujas fragilidades já foram apontadas por Martins (2007) e Cerezo (2017), e constam nos documentos oficiais do MCTI, conforme ficou evidenciado no Capítulo 4, ainda que, segundo Invernizzi et al. (2019), a avaliação das implicações sociais da nanotecnologia seja mera retórica. Outro pesquisador defende que os benefícios da tecnologia poderão atingir toda população, ainda que indiretamente e com o passar do tempo, como já havia sido apontado por P5 anteriormente. Segue sua declaração:

“Mas, supondo, se você está economizando a questão do ativo que você vai usar. Vou fabricar um comprimido, eu uso, sei lá, 100 gramas de ativo. Se eu usar uma nanopartícula com o ativo eu terei uma eficiência maior e, supondo, eu vou começar a usar 50 gramas. Então, assim, no fundo, acho que acaba se balanceando. Eu diminuo aquela quantidade de ativo, mesmo que eu esteja entrando com uma nanopartícula e tenha um custo em cima disso. Então, acaba, às vezes, se balanceando e isso não gera um custo adicional que seja expressivo; que vá beneficiar somente quem tem um poder aquisitivo.” (P2)

Com essa declaração de P2, somada às anteriores, verifica-se que há uma crença entre a maioria dos entrevistados de que as inovações tecnológicas conduzirão, cedo ou tarde, a um alcance social amplo e que aos técnicos caberia fazer seu ofício com eficiência, pois fatores externos a ele não estariam em suas esferas de ações. Em boa medida, essas concepções são reforçadas pelas políticas públicas implementadas pelo MCTI, o que reflete de certa maneira a visão de quem as elaborou e que exclui, segundo Martins (2007), o controle social da tecnologia e preserva as decisões nas mãos dos especialistas.

5.11. Outros aspectos dos projetos tecnológicos

Durante as entrevistas, os pesquisadores destacaram outros elementos dos projetos tecnológicos que não estavam diretamente relacionados com as categorias anteriores, mas apontavam para questões relevantes, como é característico das pesquisas qualitativas. Além disso, essas informações podem ajudar a explorar os limites do decálogo proposto por Quintanilla (2017) para as tecnologias apropriáveis. Uma das declarações se refere a algumas características do conhecimento tecnológico, conforme se verifica no seguinte exemplo:

“(...) todos os projetos que eu participei ele começa em uma frente e nem sempre, na maioria das vezes, não é aquela frente que chega ao final. A gente percebe que aquela rota não é mais interessante, aquele reagente não vai entregar o resultado, mas ele gerou um conhecimento. Então, a gente pode pegar dados que foram gerados no projeto, mas que ficaram pelo caminho, porque ele não entregou o produto, e usar aquilo para publicação, porque ele também gerou um conhecimento e aquela rota que realmente entregou o produto não, a gente não coloca no trabalho. Então, a gente chegou a gerar capsulas muito boas no sentido de aspecto físico, no sentido de boa eficiência de encapsulação, mas que elas não resistiram ao ambiente no qual elas seriam inseridas.” (P1)

Nesse caso, P1 relata que na produção de um artefato tecnológico, a saber, a capsula em escala nano, ocorreu também a construção de conhecimentos relevantes, como a rota de produção, os reagentes, os testes e a avaliação do produto, por exemplo. Isso evidencia que a tecnologia não se reduz ao artefato e que os processos tecnológicos produzem conhecimentos próprios, para além da simples aplicação da ciência básica, conforme afirmam Quintanilla (2005) e Cupani (2013). De fato, essa relação entre a ciência e a tecnologia é relativamente pacífica entre os entrevistados, segundo apontam as declarações a seguir:

“O nanocientista, na verdade, essa é a minha leitura, é a leitura que eu faço, que eu vivencio, o nanocientista, ele está preocupado com o fenômeno, ele está preocupado com o material, o nanotecnólogo ele está preocupado com a aplicação, com o resultado daquele fenômeno.”

“Geralmente, a gente parte de um problema prático que eu preciso resolver com aquele material, e o foco da aplicação é muito claro, que é o que a gente chama de tecnologia.”

“Mas, às vezes, dá para você ver claramente o que é ciência e o que é tecnologia.”

“Acho que dá para, convivendo com os pesquisadores, dá para perceber quem faz mais nanociência e quem faz nanotecnologia.” (P5)

“(...) não sei se tem essa divisão bem clara, nanociência e nanotecnologia. Mas, que, de fato, existem grupos que estudam mais a parte do fenômeno, sem necessariamente pensar na manipulação do material, porque uma coisa é estudar a propriedade de um material, o potencial magnético desse material, você é da física sabe, outra coisa é saber como que eu vou processar isso em escala. Como que eu vou purificar esse material para que ele seja utilizado como um agente de ressonância? São universos completamente diferentes. Uma coisa é entender o fenômeno, sem estar preocupado se você vai mover a partícula em um equipamento que não existe e não vai existir industrialmente. Outra coisa é pensar em como produzir aquilo em escala. Aí a gente entra em desafios da engenharia.” (P3)

Tanto P5 quanto P3 apresentam uma distinção entre ciência e tecnologia que funciona em seu contexto de trabalho. Ao mesmo tempo, reconhecem que se trata de uma abordagem eminentemente empírica e não absoluta. Isso fica bem evidente quando P5 afirma que *“às vezes, dá para você ver claramente o que é ciência e o que é tecnologia”*. P3 também ressalta, a partir de um exemplo, que *“são universos completamente diferentes”*, ao mesmo tempo em que admite não ser sempre clara e objetiva tal distinção. Outro entrevistado propõe a seguinte concepção:

“Eu acho, assim, não vou falar nem em tecnologia, eu vou falar da inovação. Eu acho que inovação só acontece quando a sociedade ou o cliente consegue ver. O que a gente faz na academia, ciência básica, nem sempre chega à população, ou demora muito tempo, para realmente virar uma inovação e, para mim, essa transição foi muito interessante, porque, realmente, o que eu trabalhei no doutorado é uma pesquisa mais básica, está longe ainda de ser, se tornar uma tecnologia vista no mercado e tal. Mas, foi muito legal ver aqui as coisas realmente acontecendo. Então, uma pequena contribuição que nós podemos dar para um cliente pode transformar desde um produto novo até diminuição de risco, contenção de risco, mudança de materiais.” (P4)

Ainda que P4 prefira chamar de inovação, aproxima-se das declarações de P3 e P5 acima ao ressaltar a importância da dimensão aplicada do seu trabalho, em comparação com uma abordagem teórica¹¹⁴, ao afirmar que *“foi bem legal ver aqui as coisas realmente acontecendo”*. Na parte final de sua fala pode-se verificar uma perspectiva social da tecnologia, ou seja, algo novo que

¹¹⁴ A maioria dos entrevistados é composta por químicos, ainda que tenham distintas formações em nível de pós-graduação.

chegue até a população. No entanto, assim como P3 e P5, P4 reconhece que sua diferenciação é oriunda do seu contexto de trabalho e não de uma reflexão histórico-filosófica, destacando o seguinte:

“Bom, é que eu não sei, esse limiar ciência e tecnologia, as duas andam em conjunto, porque quando você faz tecnologia você faz ciência também, não é? Não sei, é muito filosófica.” (P4)

É possível fazer um paralelo entre as declarações dos entrevistados e a ideia de comunidade de Thomas Kuhn (1991). Para Kuhn, *“um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade partilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste em homens que partilham um paradigma”* (ibid. p.219). E, para explicar melhor essa circularidade, Kuhn afirma que os sujeitos dessa comunidade passaram por uma *iniciação profissional* comum ou similar, compartilhando uma literatura-padrão que delimita seus objetos de estudo, ou seja, suas práticas. No interior dessa comunidade, *“a comunicação é relativamente ampla e os julgamentos profissionais relativamente unânimes”* (ibid. p.221). Mais uma vez, a declaração de P5 é esclarecedora: *“convivendo com os pesquisadores, dá para perceber quem faz mais nanociência e quem faz nanotecnologia”*. É relevante destacar que a maioria dos entrevistados também atua na formação de novos pesquisadores na pós-graduação, o que reforça ainda mais a ideia de comunidade proposta por Kuhn.

Entretanto, algumas pesquisas se encontram nas fronteiras dessas comunidades, para usarmos mais um paralelo com Kuhn. Nesse caso, os pesquisadores buscam adaptar-se ao contexto, como indica a declaração a seguir:

“(...) eu sei que o que eu faço é nanociência, mas tecnologia é o que chama mais atenção. Não sei se porque a aplicação dele, então a aplicação de uma coisa que eu trabalho com nano. Aqui no [Instituto] eles querem mais que eu faça aplicação, inovação tecnológica, porque é mais patente (...).” (P9)

Os interesses de pesquisa de P9 estariam, em sua concepção, mais próximos da nanociência, mas há uma cobrança para a geração de patentes, conforme já foi tratado neste Capítulo. Aqui também fica evidente a exigência da incorporação da inovação aos processos de desenvolvimento tecnológico, como

foi apontado por Quintanilla (2005). Nesse caso, P9 explora em seu benefício essa fronteira. De acordo com suas palavras:

“Quando eu estudo a dose para ver o tamanho da partícula que eu formo, eu vejo que isso é nanociência. Eu estou querendo ver o efeito, isso não é para formar produto, é só para ver o efeito da radiação no tamanho da partícula (...). Então, ‘escondido’ eu faço isso e, depois, eu tenho meu produto, tem o produto que é o sensor.” (P9)

Mais uma vez, é possível estabelecer uma aproximação com Kuhn, quando este afirma que *“as comunidades podem certamente existir em muitos níveis”* (Kuhn, 1991, p.221). P9 procura habitar os limites entre a nanociência e a nanotecnologia. Isso implica estratégias para obter financiamentos e escolher a comunidade, ou seus níveis, mais adequados. Em relação a isso, P9 afirma o seguinte: *“eu não peço pela área de materiais, eu peço pela área de engenharia nuclear”*. Outro entrevistado relatou situação similar:

“Esses equipamentos, na realidade, esses projetos, eles foram, eles não são projetos de nanotecnologia. São projetos de tecnologia da saúde. A gente, aproveitando o peso que a rádiofarmácia tem junto às agências de fomento e à sociedade, então a ideia é: vamos pedir estrutura de pesquisa para ajudar a fábrica de rádiofarmaco.” (P7)

A estratégia de P7 é similar a de P9, ou seja, buscar financiamentos nas subáreas com maior possibilidade de resultado positivo. Essas adaptações e estratégias são comuns no meio científico e tecnológico. Kroto (1992) descreveu um contexto semelhante, conforme foi tratado no Capítulo 3, nas fases iniciais das pesquisas que resultaram na descoberta do C₆₀. Joachim e Plévert (2009) também destacaram movimentos dessa natureza nas comunidades de pesquisa para se adequarem às novas áreas da nanotecnologia, fazendo com que a própria definição de nanociência e nanotecnologia fosse se ampliando.

Outra declaração destaca a estreita aproximação entre a ciência e a tecnologia:

“Eu acho que a gente tem que usar o conhecimento científico, que a gente tenta fazer no [Instituto], o conhecimento científico para gerar essa tecnologia. Mas, assim, a gente usa também o conhecimento fundamental. Hoje, eu trabalho num projeto que é [tema do projeto] e a gente precisa também da base. A gente precisa consultar o livro para ver como é tal coisa, qual condição, entender o

mecanismo de reação. Então, a gente, às vezes, tem que voltar para poder entender aquilo que a gente está gerando.” (P8)

O trabalho do investigador exige permanente busca por conhecimentos, novos ou já disponíveis e, a rigor, não importa para ele se estes são oriundos das ciências de base ou da tecnologia, pois existe um problema prático a ser resolvido. No caso da nanotecnologia isso fica muito evidente em seu contexto histórico de origem dessa área, conforme foi visto no Capítulo 3. Várias áreas de pesquisa convergiram para o nascimento do que hoje classificamos como nanotecnologia e nanociência. P8 prossegue, apontando outras características inerentes ao seu trabalho:

“Tudo isso é feito numa escala de bancada, tudo pequeno, pouco. Uma das coisas que a gente tem aqui no [Instituto] nos projetos é o escalonamento. Depois que você faz uma fase, chegou no produto, às vezes, você tem que ir até a planta do cliente, ou faz aqui em escala maior, ou faz até na planta do cliente em escala maior.” (P8)

Não é suficiente encontrar uma solução para o problema; ela terá que ser viável. P8 ressalta que, em alguns casos, encontra-se a solução na escala de bancada, mas a fase seguinte pode impor novos obstáculos. Isso fica mais evidente na seguinte declaração:

“Para juntar um pouquinho de amostra de 5 gramas, [o aluno] tinha que fazer ‘infinitas’ preparações para poder juntar aquilo que ele caracterizava; não era bonito como se fala na literatura. E, aí você pega um artigo e está lá, publica que é nano, em vez do cara falar: tem a fração nano, mas tem a fração também que não fica nano. Não fala essa informação. E, esse, por exemplo, é um caso típico que você pode fazer um corpo de prova que tem propriedades maravilhosas, mas para você escalonar isso não tem viabilidade.” (P8)

Essa dificuldade em produzir em escala maior já havia sido apontada por Kroto (1992) quando identificaram o C₆₀ pela primeira vez. P8 relata a dificuldade em produzir uma nanoestrutura em quantidades viáveis para uma escala além da bancada. Ou seja, que tenha alguma viabilidade econômica. Outro entrevistado ilustrou essa situação com o seguinte exemplo:

“(...) você está pesquisando uma coisa para agro, por exemplo. Agro é tudo milhões de litros, ainda mais no Brasil. Então, não faz sentido você pegar um material que você vai produzir 10 quilos por ano do negócio.”

“(...) não viabiliza economicamente, vai para a gaveta, não vai para frente, infelizmente. Mas, pode ser, sei lá, nesse momento não viabilizou economicamente. Mas, está aqui o conhecimento gerado.”
“A gente não perde, mas para aquela aplicação, para aquele objetivo inicial do projeto, ele inviabilizou. Faz parte do risco tecnológico. As empresas, elas têm consciência disso.” (P5)

Pouco adiantaria encontrar uma solução adequada tecnicamente, mas que não possa ser produzida na escala necessária para atender à demanda, o que poderia implicar a necessidade de um parque industrial instalado. Isso pode fazer uma grande diferença entre os países desenvolvidos e aqueles que estão em desenvolvimento. Ademais, reforça a ideia de Quintanilla (2005) de que a tecnologia é um sistema de ações e que não é tão simples a transferência de tecnologias entre culturas e contextos com níveis de desenvolvimento distintos.

Considerações Finais

Naturalmente, a tecnologia pode desenvolver-se de forma que contribua para aumentar a desigualdade entre as pessoas e as nações ou, ao contrário, a favorecer os mais pobres. O que está claro é que o que se desenvolve em uma direção ou outra dependerá das decisões que se adotem. (Quintanilla, 2017, p.49)

A autonomia plena da tecnologia é um mito construído socialmente que favorece a alguns em prejuízo de outros. Isso se torna ainda mais relevante à medida que a tecnologia, como parte da cultura, sofre influências, mas também influencia a dinâmica social. Assim, reduzir a tecnologia ao artefato tecnológico livre de valores não contribui para sua compreensão; ao contrário.

Nesse sentido, a compreensão da tecnologia como um sistema de ações sobre objetos concretos proposta por Quintanilla (2005) parece ser um caminho promissor para superar concepções simplistas. Tanto Quintanilla (ibid.) quanto Cupani (2013), destacam que a tecnologia não deveria ser reduzida a um simples produto, ou à mera aplicação da ciência, ou, ainda, como uma consequência natural do desenvolvimento científico, o que implicaria assumir um modelo linear de desenvolvimento tecnológico já criticado na literatura.

Além disso, a tecnologia como sistema de ações envolve conhecimentos teóricos e práticos que estariam associados a um *saber como* e a um *saber fazer*, respectivamente. Assim, o primeiro não garante sozinho a capacidade para a ação. Uma consequência disso é que apenas a transmissão de informações não leva à transferência de tecnologia, pois se exige também recursos materiais e equipamentos, operados por pessoas treinadas para fazê-lo. Portanto, dispor de uma tecnologia, em especial no contexto de transferência tecnológica, não

significa apenas ter acesso ao artefato. Isso é relevante para países que necessitam adquirir tecnologias estrangeiras, como o Brasil, conforme foi tratado nos capítulos precedentes.

A isso se soma, como ressalta Quintanilla (2005), a incorporação da máxima eficiência e da inovação, imposta por leis de mercado e cada vez mais presente nos projetos tecnológicos, o que conduz a reconhecer a influência de fatores externos (utilidade econômica e social) e internos (eficiência) nos avanços tecnológicos. No entanto, para Quintanilla (ibid.) esses fatores podem entrar em conflitos, por exemplo, quando se busca aumentar a competitividade de um determinado serviço ou produto, resultando que *“seria ilegítimo extrair disso a conclusão de que existe uma sintonia perfeita entre a lógica do desenvolvimento tecnológico e as leis do mercado em uma economia capitalista”* (ibid., p.63).

Pesquisa e desenvolvimento tecnológico não é, portanto, apenas produzir um determinado artefato. Há que se implementar um sistema de ações, o que envolve planejamento e avaliação, além da produção propriamente dita, para o caso de uma tecnologia de produto, o que seria diferente quando se pensa em uma tecnologia de processo. Problemas conceituais e práticos se apresentarão em ambos os casos. Isso ficou bem evidente nas entrevistas dos pesquisadores, quando relataram aspectos práticos que impunham obstáculos para o avanço dos seus projetos, como os testes de permeabilidade ou de toxicidade dos nanocosméticos, a obtenção ou a compra de matéria prima, limitações dos laboratórios e a dificuldade em compreender detalhes das publicações científicas.

Outro aspecto relevante da filosofia da tecnologia de Quintanilla é a ideia de paradigma tecnológico diante das invenções. Para o autor, uma invenção pressupõe uma novidade tecnológica capaz de provocar algum impacto relevante e *“inaugurar um procedimento para resolver toda uma classe de problemas novos que podem abarcar inúmeras situações concretas”* (Quintanilla, 2005, p.125). Pode-se dizer que a nanotecnologia iniciam um paradigma tecnológico ainda em curso, como se verificou nos Capítulos 3 e 5, considerada uma área relativamente nova de pesquisa.

Especialmente em relação à avaliação dos projetos tecnológicos, o Capítulo 5 oferece dados suficientes para perceber que predomina uma perspectiva interna de avaliação, ou seja, majoritariamente centrada nas mãos dos cientistas e tecnólogos, com critérios definidos por eles. Inclui-se aqui as áreas prioritárias de investimentos, conforme foi exposto no Capítulo 4. Pode-se dizer que alguns critérios externos oriundos das agências reguladoras estariam presentes, mas também podem ser considerados critérios técnicos e internos a uma comunidade técnico-científica ampliada. A relação entre custos e benefícios, no sentido de resposta a um problema específico, está muito presente, definindo a viabilidade ou não de um projeto, como ficou evidenciado nas declarações dos entrevistados. No entanto, um controle social externo da nanotecnologia, ou uma avaliação social, ainda se mostra distante e, em parte, limitado pelas políticas públicas, conforme ressaltaram Martins (2007) e Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019).

A própria NNI norte americana se concentrou nos interesses estratégicos para o desenvolvimento industrial e econômico dos Estados Unidos, com a participação ativa de cientistas nas tomadas de decisões, desconsiderando questões ecológicas inicialmente presentes nos debates encaminhados por Albert Gore quando ainda era senador (Joachim e Plévert, 2009). Seguiu-se uma rápida transformação de laboratórios e centros de pesquisa em temas como microeletrônica, materiais e biotecnologia para a nanotecnologia, a fim de garantir os recursos que passaram a ser direcionados para essa área.

No Brasil não foi diferente. Em 2001, uma comissão composta por pesquisadores da área de nanociência e nanotecnologia, por solicitação do MCT, publicou o “Programa Nacional de P&D em Nanociência e Nanotecnologia: plano de implementação 2001-2005”, a partir do qual essas áreas passaram a ter uma série de incentivos financeiros específicos, permitindo a formação e consolidação de grupos e redes de pesquisa. Também em 2001 foi lançada a Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia - IBNN. As ações que se seguiram responderam exclusivamente aos interesses desses grupos, o que parece ser uma importante diferença em relação à NNI norte americana, a qual passou por debates no Congresso daquele país. Boa parte dos recursos

destinados à nanotecnologia nos anos seguintes visava a consolidar esses grupos e suas redes de pesquisa e cooperação, conforme afirma Fernandes (2007). No entanto, essas iniciativas do MCT foram fundamentais para a consolidação das pesquisas em nanotecnologia no Brasil.

Outros documentos e programas lançados pelo MCT, como o Livro Verde (2001), incluíam em suas propostas aspectos sociais que seriam obtidos por meio do desenvolvimento econômico do país a partir de avanços nas pesquisas em nanotecnologia que contribuíssem para tornar a indústria nacional mais competitiva no cenário internacional. Identifica-se, com isso, uma forte tendência ao modelo linear de desenvolvimento tecnológico e da inovação nas políticas do MCT e, mais tarde, MCTI. Ao mesmo tempo, segundo aponta Martins (2007, 2010), assegura as tomadas de decisões nas mãos dos especialistas, excluindo-se um controle social. A inovação e a cooperação entre os institutos de pesquisa e as empresas públicas e privadas, ou o setor produtivo, passaram a compor cada vez mais as metas e programas do MCT. A EMBRAPPII, a Iniciativa Nacional para Inovação e, mais tarde, o SisNANO surgem nesse contexto. Isso teve reflexos nas práticas dos pesquisadores, conforme se verifica em suas declarações analisadas no Capítulo 5.

Algumas chamadas públicas incluíram o estudo de impactos ambientais, éticos e sociais da nanotecnologia, mas com recursos consideravelmente menores em relação àqueles destinados às áreas técnico-científicas. Ainda que alguns documentos incorporassem uma política social no âmbito das iniciativas em nanociência e nanotecnologia, Martins (2007) e Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) destacam que esta era entendida como uma consequência natural do desenvolvimento dos setores empresariais e produtivos, gerando emprego e renda e, com isso, bem-estar social. Trata-se, portanto, de uma falácia. O mesmo ocorreu com outros documentos em relação à difusão do conhecimento para a sociedade em geral e à melhoria da educação básica. Ações dessa natureza estavam previstas no Livro Azul (Brasil, 2010). Mas, ao que se sabe, não saíram do papel.

Portanto, constata-se que, embora os programas de governo tratassem as iniciativas em ciência e tecnologia como políticas sociais, os editais e chamadas

públicas não correspondiam a essas expectativas. Paralelamente a isso, o PPA 2012-2015 (Brasil, 2016) admite que o Brasil havia ampliado sua produção científica sem, contudo, avançar na produção tecnológica e na inovação. Intuitivamente, ao que parece, constatou-se a precariedade do modelo linear de desenvolvimento tecnológico ainda presente nas ações e documentos do MCT.

As pesquisas em nanotecnologia foram beneficiadas com consideráveis recursos na primeira década de 2000, sofrendo algum declínio na década seguinte. Em 2013, foi publicada a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia em substituição à INN de 2001 sem, no entanto, apresentar mudanças significativas. Ou seja, repetem-se os mesmos erros. O PACTI 2019 (Brasil, 2019b), por exemplo, deixa claro que a produção de conhecimento deveria responder à demanda da indústria e do mercado. Ao mesmo tempo, esse documento reconhece que a carência de recursos humanos qualificados e a falta de marcos regulatórios dos produtos nanomanufaturados são os grandes desafios a serem superados.

De fato, as chamadas públicas destinadas a conceder recursos para as pesquisas em nanotecnologia passaram a dar ainda mais ênfase às demandas da indústria e do mercado e à inovação, influenciando a agenda da pesquisa científica e tecnológica brasileira. De acordo com Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019), os pesquisadores que atuaram na elaboração das políticas públicas assumiram esse discurso da produção e da inovação para legitimar seus interesses de pesquisa e assegurar investimentos na área.

É nesse contexto político que os pesquisadores entrevistados elaboraram seus projetos de pesquisa e conduzem suas práticas. Isso é relevante para compreender as representações e significados presentes em suas declarações, ao mesmo tempo em que ajuda a construir uma aproximação entre as culturas do entrevistador e dos entrevistados, conforme foi apontado no Capítulo 2 como características desejáveis em uma pesquisa qualitativa. Isso se torna ainda mais relevante à medida que a constatação de Invernizzi, Foladori e Quevedo (2019) vai de encontro ao que Quintanilla (2005) destaca como um desafio dos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, a saber, a compatibilidade entre os interesses científicos e tecnológicos e seu valor social. Nesse sentido, a avaliação

social da tecnologia torna-se uma necessidade. Aliado a isso, Cupani (2013) se soma a essa preocupação ao questionar se seria possível avaliar os meios e não apenas os fins de um projeto de P+D tecnológico.

Nessa perspectiva, Quintanilla propõe um decálogo de critérios de avaliação do que seria uma tecnologia apropriável (Quadro 01), o qual inclui a avaliação dos riscos e dos impactos ambientais e sociais de aplicação e uso de uma tecnologia, entre outros fatores internos e externos, ou intrínsecos e extrínsecos, dos projetos tecnológicos. Essa proposta se mostrou viável para buscar uma resposta ao problema desta tese: *o modelo das tecnologias apropriáveis é capaz de estabelecer critérios claros e adequados de avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, incluindo-se os aspectos sociais, e contribuir para superar a alienação e o pessimismo a respeito da tecnologia?*

Ao propor a ideia das tecnologias apropriáveis, Quintanilla (2017) destaca que as tecnologias se apresentam para as pessoas com características tais que as distanciam de qualquer apropriação para além do mero uso. Entre essas características se encontram seu elevado grau de especialização e a aparente autonomia do desenvolvimento tecnológico. Isso fragiliza, segundo o autor, a possibilidade de uma intervenção consciente nos avanços tecnológicos, restrita aos técnicos na visão dos cidadãos leigos e consumidores. Somam-se a isso certo pessimismo e determinismo tecnológicos na visão dessas pessoas, o que conduz a uma alienação. Aliado a isso, Quintanilla (ibid.) ressalta que algumas tecnologias estão de tal modo incorporadas na vida cotidiana, como os telefones móveis, por exemplo, que parece haver uma renúncia a qualquer tipo de controle ou compreensão por parte dos usuários. Estão entrincheiradas no comodismo da relação de compra e uso.

De acordo com Quintanilla (2017), os projetos tecnológicos são pensados de modo a se tornarem opacos aos usuários, ou seja, a compreensão e a participação destes em seu desenho é desconsiderada, buscando apenas torná-los consumidores permanentes. Entretanto, Quintanilla (ibid.) alerta que tais características não são necessariamente inerentes à tecnologia. Essas decisões foram tomadas por algumas pessoas, mas haveria a possibilidade de outros

caminhos para os avanços tecnológicos. As tecnologias apropriáveis são uma alternativa e outros critérios de avaliação podem ser aplicados.

Assim, tomando como referência o decálogo das tecnologias apropriáveis, foram analisadas as entrevistas feitas com os pesquisadores do IPEN e do IPT a respeito dos seus projetos de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia.

Em relação ao critério *Aberta*, os entrevistados relataram que alguns projetos estão protegidos por contrato de confidencialidade, em especial, aqueles celebrados com empresas. Isso faz com que os pesquisadores tenham que administrar algumas dificuldades, como limitações para publicarem seus resultados e restrições quanto à participação de alunos de pós-graduação no projeto. No entanto, tais obstáculos não são mencionados ou considerados nos documentos e programas do MCTI quando insistem na aproximação entre a academia e as empresas, conforme foi tratado no Capítulo 4. Os entrevistados destacaram ainda a importância do acesso livre às publicações, ou *open access*, mesmo que ocorram casos de omissões de informações relevantes que dificultam ou impedem a reprodução dos resultados publicados. Outro fator contrário ao amplo acesso ao conhecimento tecnológico produzido é o incentivo ao registro de patentes, tanto pelos institutos de pesquisa quanto pelas agências de fomento e políticas públicas, o que se transforma em um indutor das práticas dos pesquisadores. Dessa forma, os entrevistados admitem que seria difícil pensar em uma tecnologia aberta, dadas as imposições mencionadas acima associadas aos interesses comerciais presentes em alguns projetos de P&D em nanotecnologia.

A *Polivalência* da nanotecnologia foi reconhecida por todos os entrevistados, especialmente se considerar as nanoestruturas como artefatos tecnológicos, a saber, o grafeno, os nanotubos, as nanofibras, as nanopartículas, entre outras. Essas estruturas podem ser incorporadas a outros sistemas tecnológicos, ampliando sua aplicabilidade e, por conseguinte, sua polivalência ou *integração de técnicas* destacada por Quintanilla (2017). Vale destacar que essas potencialidades já haviam sido sugeridas pelos precursores da nanotecnologia, conforme foi tratado no Capítulo 3. Entretanto, os altos custos de algumas nanoestruturas podem limitar seu uso.

As opiniões se dividem entre os entrevistados acerca do *Controle* da nanotecnologia quando se considera todo o processo, desde o projeto até o descarte, em especial, porque nem todas essas etapas estão sob a responsabilidade dos pesquisadores. A falta de um marco legal e protocolos atualizados e de incentivos das agências de fomento em relação às questões ambientais leva alguns dos entrevistados a duvidar da capacidade de acompanhar de modo eficiente todo o processo. A isso se soma a dúvida ainda presente acerca da compreensão de todos os riscos inerentes ao uso da nanotecnologia. Ao mesmo tempo, o Brasil é signatário de vários protocolos internacionais relacionados à nanotecnologia e as agências reguladoras, como a ANVISA, o MAPA e a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, vêm atuando de forma a cumpri-los adequadamente. Desse modo, naquelas fases que ocorrem nos laboratórios, os pesquisadores tendem a reconhecer certo controle.

O caráter *Limitado* da nanotecnologia, tanto intrínseco quanto extrínseco, foi identificado pelos entrevistados. As agências de controle e os protocolos de segurança são limitações extrínsecas impostas aos sistemas nanotecnológicos. Algumas limitações intrínsecas se referem ao manuseio e/ou aplicação de materiais na escala nano, o que impõe o princípio da precaução, pois nem todos os riscos são plenamente conhecidos, seja para a saúde humana seja para o meio ambiente. Nesse sentido, foi indicado inclusive que a toxicologia clássica seria insuficiente para tratar dos processos nanotecnológicos, pois teriam características muito específicas.

A *Reversibilidade* foi pouco reconhecida pelos entrevistados nos seus projetos de P&D em nanotecnologia. Ao serem questionados sobre isso, alguns pesquisadores afirmaram que todas as fases envolvem testes que servem, de certa forma, para evitar que seja necessária a reversibilidade de uma aplicação nanotecnológica. Além disso, os pesquisadores expressaram confiança nos órgãos reguladores e no *know how* das empresas que participam dos projetos para aqueles produtos com características muito específicas, a fim de evitar possíveis riscos. Ao mesmo tempo, alguma preocupação em relação aos riscos foi notada quando se trata da produção e comercialização em larga escala.

Em relação ao caráter *Recuperável* da nanotecnologia, todos os entrevistados afirmaram nunca ter presenciado qualquer intenção em inserir uma obsolescência programada nos produtos nanotecnológicos. Ao mesmo tempo, não negam que essa possibilidade exista. As restrições e reciclagens impostas ocorrem por questões técnicas ou por agências reguladoras, segundo os pesquisadores. Destacou-se também que, em alguns casos, a lógica do descarte é superada pela imposição econômica em reaproveitar matéria prima com custos elevados. No entanto, não foi identificada uma preocupação com a reciclagem ou a recuperação nas fases em que se encontram os projetos analisados. Mas, alguns pesquisadores externaram essa preocupação e reconheceram a necessidade de incorporá-la em seus projetos.

Os entrevistados reconheceram ser muito difícil para os leigos *compreenderem* os aspectos técnico-científicos da nanotecnologia, em boa parte pela ausência de ações de divulgação. Em alguns casos, mesmo os colegas cientistas de outras áreas desconhecem a nanotecnologia. Essa falta de informação pode levar os consumidores a caírem em estratégias de *marketing* do uso da nanotecnologia em determinados produtos sem que isso lhes proporcione algum ganho de qualidade e/ou econômico. Entretanto, os pesquisadores reconhecem que as pessoas poderiam compreender melhor o uso de produtos nanomanufaturados e, dessa forma, desfrutar de resultados mais significativos, como é o caso dos fármacos e dos cosméticos. Em síntese, poderia haver um uso mais racional desses produtos. Todavia, essa preocupação não estaria contemplada, segundo os entrevistados, nos projetos de P&D.

Uma tecnologia *Participativa*, muito em função da pouca compreensão dos processos tecnológicos, também foi pouco mencionada pelos entrevistados para além das escolhas de mercado pelo consumidor, sujeito inclusive às estratégias de *marketing*. Foi indicado que há produtos cuja presença da nanotecnologia sequer é do conhecimento das pessoas e, por vezes, dos próprios trabalhadores que atuam no processo. Isso se distancia de uma tecnologia apropriável, pois amplia seu caráter alienante.

O caráter *Sustentável* dos projetos de P&D em nanotecnologia foi reconhecido pelos entrevistados, na medida em que as nanoestruturas podem

contribuir para o tratamento de resíduos nocivos ou mesmo para a produção de produtos menos agressivos ao ambiente. Há uma preocupação com a sustentabilidade, seja pela imposição das agências reguladoras e legislação ambiental, seja por iniciativa dos pesquisadores, com predomínio das primeiras. No entanto, as políticas públicas têm dado pouca ênfase a esse tema, bem como as agências de financiamento, o que foi apontado pelos entrevistados como uma negligência.

A *Responsabilidade Social* é assumida pelos pesquisadores como uma característica inerente às contribuições que a tecnologia proporciona aos cidadãos que, mais cedo ou mais tarde, terão acesso. Portanto, para a maioria dos entrevistados, não seria necessário inseri-la nos projetos de P&D em nanotecnologia. Os aspectos sociais mais abrangentes, não são vistos como uma responsabilidade direta dos técnicos e cientistas, mas dos governos, ainda que todos reconheçam alguma responsabilidade como cidadãos. Nesse sentido, parece haver certo isolamento das pesquisas e dos resultados gerados em relação a fatores externos. Essa percepção é bastante reforçada pelas políticas públicas relativas à nanotecnologia.

Desse modo, é possível construir um quadro-resumo das tendências presentes nas declarações dos pesquisadores em relação aos seus projetos de P&D em nanotecnologia e avaliar se estão mais ou menos propensos a produzir uma tecnologia apropriável. O Quadro 03 a seguir apresenta a síntese dos resultados:

Quadro 03: síntese das análises dos dados.

Tecnologia apropriável	Tendência das análises
Aberta	Desfavorável
Polivalente	Favorável
Dócil/Controlada	Favorável
Limitada	Favorável
Reversível	Desfavorável
Recuperável	Favorável/Desfavorável
Compreensível	Desfavorável
Participativa	Desfavorável
Sustentável	Favorável
Socialmente Responsável	Desfavorável

Fonte: o autor.

Entre os resultados apresentados no Quadro 03, o caráter Recuperável deve ser analisado na perspectiva de que os pesquisadores não registraram casos de uso da obsolescência programada nos produtos nanomanufaturados, mas, ao mesmo tempo, reconhecem que não é usual incluir esse critério em seus projetos. Entre os critérios mais favoráveis a uma tecnologia apropriável, a saber, Polivalente, Controlada, Limitada e Sustentável, percebe-se que se trata de características que são predominantemente intrínsecas aos processos tecnológicos e estão associadas ao seu domínio técnico-científico. Mesmo no caso da sustentabilidade, observou-se que está fortemente associada a legislações e protocolos de segurança e regulação. Os pesquisadores confiam em seus conhecimentos do processo nanotecnológico. Isso explica inclusive a pouca referência à reversibilidade, pois confiam nos testes a que são submetidos os produtos e nas agências reguladoras. Por isso, não seria necessário prever o retorno ao estado inicial em caso de aplicação ou uso do produto nanotecnológico.

Já os critérios mais desfavoráveis a uma tecnologia apropriável observados nas análises, a saber, Aberta, Reversível, Compreensível, Participativa e Socialmente Responsável, remetem a aspectos extrínsecos aos processos tecnológicos. A lógica é mais ou menos a seguinte: se não é aberta, não é compreensível e, portanto, não permite a participação informada e, desse modo, a responsabilidade social não é dos técnicos e cientistas, mas das políticas públicas e órgãos reguladores.

Todavia, deve-se registrar que os pesquisadores trabalham em função das exigências e restrições que lhes são impostas, seja pela legislação e protocolos reguladores seja pelas agências de fomento e políticas públicas, incluindo-se as práticas esperadas pelas instituições nas quais trabalham. Em certo sentido, trata-se de sobreviver dentro de uma comunidade de pesquisa, com culturas próprias e com as consequências que essa adesão impõe, em uma aproximação com a ideia de comunidade científica de Kuhn (1991).

Considerando o contexto exposto acima, parece que os projetos de P&D em nanotecnologia analisados estão centrados em uma avaliação interna aos sistemas tecnológicos, sob uma perspectiva predominantemente técnico-

científica. Nesse sentido, estariam distantes de uma tecnologia apropriável e de permitir uma avaliação externa. O que foi tratado no Capítulo 4 já desenhava esse cenário, bem como os aspectos históricos apresentados no Capítulo 3. Contudo, o modelo das tecnologias apropriáveis não trabalha apenas com as possibilidades de ser ou não apropriáveis. Quintanilla (2017) sugere que, em igualdade de condições, deve-se privilegiar os projetos mais apropriáveis. Por isso, o Quadro 03 se refere mais a tendências favoráveis ou desfavoráveis.

Dessa forma, pode-se dizer que a filosofia da tecnologia de Quintanilla, tratando-a como um sistema de ações, associada à proposta de uma tecnologia apropriável, permite não apenas avaliar os projetos de P&D tecnológico como também compreender a dinâmica desse processo, iluminando novas e antigas questões ainda carentes de respostas. Aproxima-se, portanto, do que já havia sido identificado por Cerezo (2017) ao afirmar que o modelo das tecnologias apropriáveis *“constitui um espaço de reflexão sobre a natureza da tecnologia e o avanço tecnológico, sobre os caminhos que contribuem para fazer da tecnologia algo desejável ou indesejável”* (p.11).

Nesse sentido, Parselis (2018) propõe a seguinte questão: *“por que deveríamos nos ocupar da tecnologia?”* (p.15). Antes de tudo, é preciso superar as respostas simplistas a essa pergunta. Para além das relações cotidianas de mercado e de uso, passando por decisões técnicas ou tecnocráticas de gestão, a tecnologia está associada às relações de poder e exerce inegável influência nas vidas das pessoas. No entanto, essa familiaridade *“se opõe ao conhecimento que temos sobre ela, argumentando que não necessitamos compreendê-las para utilizá-las”* (ibid., p.16). Para o autor, essa *“familiaridade convive com o distanciamento”* (ibid.), o que parece ser uma contradição, conduzindo as pessoas a agirem como se a distância que as separa dos processos tecnológicos fosse insuperável. Quintanilla (2017) oferece como exemplo o caso do telefone móvel e, ao mesmo tempo, a falta de percepção das pessoas da estrutura complexa que existe para que este artefato funcione.

Fazendo uma analogia com dois continentes separados por um grande oceano, Parselis (2018) ressalta que teríamos que *“atravessar o oceano discursivo, chegar ao outro lado e entender o projeto e a produção como uma*

zona inseparável do uso, que em conjunto são parte do mesmo continente, ou do mesmo mundo” (ibid., p.17). Isso remete também à necessidade de superar as supostas autonomia e neutralidade das quais parece desfrutar a tecnologia. Esse distanciamento não é a única opção possível. Como bem destacou Cerezo (2017), podem existir outros futuros tecnológicos. E, as tecnologias apropriáveis podem contribuir para isso.

Para Parselis (2017), as tecnologias apropriáveis sugerem a construção de novas relações entre os técnicos e os usuários e indicam caminhos para a superação da alienação como uma necessidade social, superando a mera crítica radicalizada e pessimista do modelo tecnológico atual. Sandrone e Lawler (2017) reforçam essa exigência social e se aproximam de Cerezo (2017) para destacar que as tecnologias apropriáveis assinalam *“que outros mundos tecnológicos, com outros sistemas de valores, são factíveis”* (Sandrone e Lawler, 2017, p.106). Mas, para que isso ocorra, parece ser necessário que os valores atuais sejam trazidos à luz e revelados, tanto para os usuários quanto para os demais atores dos sistemas tecnológicos.

Isso remete a novas questões. Falou-se da importância em superar a alienação dos usuários das tecnologias. Mas, como fazer para superar a alienação dos atores internos aos sistemas tecnológicos? No caso da nanotecnologia, como área relativamente nova de pesquisa, poderiam surgir novos valores éticos com os quais a sociedade teria que lidar? A história mostra que as inovações tecnológicas tendem a vir acompanhadas de desafios como esses.

Referências Bibliográficas

- ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2011). *Nanotecnologias: subsídios para a problemática dos riscos e regulação*. Brasília: MDIC/ABDI.
- ARÓSTEGUI, J. (2006). *A Pesquisa Histórica: teoria e método*. Trad. Andréa Dore. Bauru: EDUSC.
- BARDIN, L. (1994). *Análise de Conteúdo*. Trad. Luís A. Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70.
- BASSALO, J. M. F. (1993). A Crônica da Física do Estado Sólido: II Teoria dos Metais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.15, n.1-4, p.139-152.
- BASSALO, J. M. F. (1994). A Crônica da Física do Estado Sólido: III Teoria das Bandas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.16, n.1-4, p.63-75.
- BEISER, A. (1987). *Concepts of Modern Physics*. 4^a ed. New York: McGraw-Hill International Editions.
- BETHUNE, D. S. et al. (1993). Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls. *Nature*, v.363, p.605-607.
- BINNING, G. et al. (1982). Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. *The American Physical Society*, v.49, n.1, p.57-61.
- BLOCH, M. L. (2001). *Apologia da História, ou, O Ofício do Historiador*. Trad. André Telles. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.
- BOEHM, H-P. et al. (1962). Thin Carbon Leaves. *Z. Naturforsch*, v.17b, p.150-153.

BOEHM, H-P.; SETTON, R.; STUMPP, E. (1994). Nomenclature and Terminology of Graphite Intercalation Compounds. *Pure & Appl. Chem.*, v.66, n.9, p.1893-1901.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. (1994). *Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Portugal: Porto Editora.

BRAGA, M. A. C. (2013). *Subdesenvolvimento, Tecnologia e Direito Econômico: o Programa Nacional de Nanotecnologia e o desafio furtadiano*. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Direito). Universidade de São Paulo.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia (2003a). *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia: proposta do grupo de trabalho criado pela Portaria MCT 252 como subsídio ao Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007*. Brasília: MCT.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). (2003b). *Diretrizes de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE 2003)*. Brasília: MDIC.

BRASIL, Presidência da República. (2004). *Plano Plurianual 2004-2007. Anexo II – Programas do Governo*. Brasília: Presidência da República.

BRASIL, Presidência da República. (2005). *Decreto 5352, de 24 de janeiro de 2005*. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. Brasília: Presidência da República.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. (2006a). *Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior do Governo Federal (PITCE): balanço e perspectivas*. Brasília: MDIC.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2006b). *Nanotecnologia: investimentos, resultados e demandas*. Brasília: MCT.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2008a). *Portaria MCT 429, de 17 de julho de 2008*. Brasília: MCT.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2008b). *Edital MCT 15/2008*. Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. Brasília: MCT.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2010). *Livro Azul: 4ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: MCT.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2012). *Relatório de Gestão Institucional do Exercício de 2011*. Brasília: MCTI.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2016a). *Portaria MCTI 4574, de 20 de outubro de 2016*. Brasília: MCTI.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. (2016b). *Relatório Anual de Avaliação do PPA 2012-2015*. Volume II Programas Temáticos. Brasília: Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. (2017). *PPA 2016-2019 – Relatório Anual de Avaliação Ano-Base 2016*. Brasília: Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos.

BRASIL, Ministério da Economia. (2019a). *PPA 2016-2019 – Relatório Anual de Avaliação 2019*. Avaliação dos Programas Temáticos. Brasília: Ministério da Economia.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. (2019b). *Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras – PACTI 2019*. Volume I – Nanotecnologia. Brasília: MCTIC.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. (2019c). *Chamada CNPq/MCTIC 18/2019 – Programa Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias – SisNANO 2.0*. Brasília: MCTIC/CNPq.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. (2020). *Chamada Pública CNPq/MCTIC 01/2020 – Empreendimentos e soluções de base tecnológica na área de Grafeno*. Brasília: MCTIC/CNPq.

BRAUNSTEIN, J. F. (org.) (2008). *L'Histoire des Sciences: méthodes, styles et controverses*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin.

CANGUILHEM, G. (2008). Le rôle de l'épistémologie dans l'historiographie scientifique contemporaine. In: BRAUNSTEIN, J. F. (org.) (2008). *L'Histoire des Sciences: méthodes, styles et controverses*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin.

CEREZO, J. A. L. (2017). Presentación. Sonambulismo Tecnológico? In: QUINTANILLA, M. A. et al. (2017). *Tecnologías entrañables*. Madrid: Catarata.

CESAR Jr., S. (2010). *Fronteira tecnológica e escassez de recursos: uma análise da nanotecnologia no Brasil*. Radar – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília: IPEA.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. (2005). *Física para o Brasil: pensando o futuro*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.

CRUZ, J. C. (2007). *Filosofia da História*. Trad. Fernando Marquezini. São Paulo: Instituto Brasileiro de Filosofia e Ciência.

CUPANI, A. O. (2013). *Filosofia da tecnologia: um convite*. 2^a Ed. Florianópolis: Editora da UFSC.

DRESSELHAUS, M.; ARAUJO, P. (2010). Perspectives on the 2010 Nobel Prize in Physics for Graphene. *AcNANO – American Chemical Society*, v.4, n.11, p.6297-6302.

EIGLER, D. M.; SCHWEIZER, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. *Nature*, v.344, p.524-526.

EISBERG, R.; RESNICK, R. (1988). *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. 6^a ed. Rio de Janeiro: Campus.

EMBRAPII, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2016). *Apoiando a Inovação na sua Empresa*. Brasília: MCTI.

EMBRAPII, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2021). *Relatório Anual de 2020*. Brasília: MCTI.

- FERNANDES, M. F. M. (2007). *Um Panorama da Nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)*. Dissertação. (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FERNANDES, M. F. M. (2013). *Contrastes e Convergências entre História da Ciência e Jornalismo Científico no Tempo Presente: o caso da nanotecnologia*. Tese. (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FOLSCHEID, D.; WUNENBURGER, J. J. (2006). *Metodologia filosófica*. Trad. Paulo Neves. São Paulo: Martins Fontes.
- GOMES, A. S. L.; MELO, C. P. (2004). A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas*, v. 9, n.18, p. 105-135.
- GONZÁLEZ, J. G. et al. (2011). La Evaluación del Impacto Social de la Tecnología en España. In: GARCÍA, I. D.; EYNDE, A. M. (eds.). (2011). *Participación y Cultura Científica en Contexto Internacional*. Madrid: Catarata.
- GRANGER, G. G. (2003). *Philosophie, Langage, Science*. Paris: EDP Sciences.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. (2003). *Fundamentos de Física*. Vol. 4 Óptica e Física Moderna. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- HAYMET, A. D. J. (1986). Footballene: a Theoretical Prediction for the Stable, Truncated Icosahedral Molecule C₆₀. *J. Am. Chem. Soc.*, v.108, p.319-321.
- IJIMA, S. (1980). Direct Observation of the Tetrahedral Bonding in Graphitized Carbon Black by High Resolution Electron Microscopy. *Journal of Crystal Growth*, v.50, p.675-683.
- IJIMA, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, v.354, p.56-58.
- IJIMA, S. (2002). Carbon nanotubes: past, present, and future. *Physica B*, v.323, p.1-5.

IIJIMA, S.; ICHIHASHI, T. (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, v.363, p.603-605.

INVERNIZZI, N.; KORBES, C.; FUCK, M. P. (2012). Política de nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes. In: FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N.; ZAYAGO, E. (org.). *Perspectivas sobre el Desarrollo de las Nanotecnologías en América Latina*. Ciudad de México: M. A. Porrúa.

INVERNIZZI, N.; FOLADORI, G.; QUEVEDO, J. P. (2019). Do nano-boom à paralisação: a trajetória da política brasileira de nanotecnologia. *Ciências Sociais Unisinos*, v.55, n.1, p.24-34.

JOACHIM, C.; PLÉVERT, L. (2009). *Nanociência: a revolução do invisível*. Trad. André Telles. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.

KRÄTSCHMER, W.; FOSTIROPOULOS, K.; HUFFMAN, D. R. (1990a). The infrared and ultraviolet absorption spectra of laboratory-produced carbon dust: evidence for the presence of the C₆₀ molecule. *Chemical Physics Letters*, v.170, n.2-3, p.167-170.

KRÄTSCHMER, W.; LAMB, L. D.; FOSTIROPOULOS, K.; HUFFMAN, D. R. (1990b). Solid C₆₀: a new form of carbon. *Nature*, v.347, p.354-358.

KROTO, H. (1982). Semistable Molecules in the Laboratory and in Space. Royal Society of Chemistry Tilden Lecture. *Chem. Soc. Revs.*, v. 11, p.435-491.

KROTO, H. (1987). The stability of fullerenes C_n, with n=24, 28, 32, 36, 50, 60, 70. *Nature*, v.329, p.529-531.

KROTO, H. (1992). C₆₀: Buckminsterfullerene, The Celestial Sphere that Fell to Earth. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, v.31, p.111-129.

KROTO, H. et al. (1985). C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, v.318, 14 nov., p.162-163.

KUHN, T. S. (1991). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva.

- LIVRO VERDE, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2001). *Ciência, Tecnologia e Inovação: desafio para a sociedade brasileira*. Brasília: MCT.
- MARTINS, R. A. (2000). Arquimedes e a Coroa do Rei: problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 17, n. 2, p.115-121.
- MARTINS, P. R. (coord.) (2007). *Revolução Invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Xamã Editora.
- MARTINS, P. R. (2010). Desarrollo de la nanotecnología en Brasil 2001-2009. *Mundo Nano*, v.3, n.1, p.56-74.
- MONTHIOUX, M.; KUSNETSOV, V. L. (2006). Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes? *Carbon*, v.44, p.1621-1623.
- NERI, D. M. (2011). *História da Nanociência em uma Perspectiva Kuhniana: da invenção dos fulerenos à descoberta dos grafenos*. Dissertação (Mestrado em História). Universidade Federal de Minas Gerais.
- NOVOSELOV, K. S. et al. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*, v.306, p.666-669.
- NOVOSELOV, K. S. et al. (2005). Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. *Nature*, v.438, p.197-200.
- OBERLIN, A.; ENDO, M.; KOYAMA, T. (1976). Filamentous growth of carbon through benzene decomposition. *J. Cryst. Growth*, v.32, p.335-349.
- OSAWA, E. (1970). Superaromaticity. *Kagaku*, v.25, p.854-863.
- PACTI, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2007). *Plano de Ação 2007-2010: ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento nacional*. Brasília: MCT.
- PARSELIS, M. (2018). *Dar sentido a la técnica: pueden ser honestas las tecnologías?* Madrid: Catarata.
- PARSELIS, M. (2017). Repensando la Relación entre Diseñadores y Usuarios a Través de las Tecnologías Entrañables. In QUINTANILLA, M. A. et al. (2017). *Tecnologías entrañables*. Madrid: Catarata.

PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P.; JARDIM, W. F. (2010). Os Nanomateriais e a Questão Ambiental. *Quim. Nova*, v.33, n.2, p.421-430.

PLENTZ, F.; FAZZIO, A. (2013). Considerações sobre o Programa Brasileiro de Nanotecnologia. *Ciência e Educação*, v. 65, n.3, p.23-27.

QUINTANILLA, M. A. (2002). La democracia tecnológica. *Arbor*, CLXXIII, nov-dic., p.637-651.

QUINTANILLA, M. A. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. México: FCE.

QUINTANILLA, M. A. (2017). Tecnologías Entrañables: un modelo alternativo de desarrollo tecnológico. In QUINTANILLA, M. A. et al. (2017). *Tecnologías entrañables*. Madrid: Catarata.

RADUSHKEVICH, L. V.; LUKYANOVICH, V. M. (1952). O structure ugleroda, obrazujucesja pri termiceskom razlozenii okisi ugleroda na zeleznom kontakte. *Zurn Fisic Chim*, v.26, p.88-95.

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2001). *Relatório de Gestão Institucional 2001*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2002). *Relatório de Gestão Institucional 2002*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2003). *Relatório de Gestão Institucional 2003*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2004). *Relatório de Gestão Institucional 2004*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2005). *Relatório de Gestão Institucional 2005*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

RELATÓRIO CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia. (2006). *Relatório de Gestão Institucional 2006*. Brasília: MCT. Disponível em [<http://centrodememoria.cnpq.br/Fombols.html>].

REY, F. G. (2010). Pesquisa qualitativa e subjetividade: os processos de construção da informação. Trad. Marcel A. F. Silva. São Paulo: Cengage Learning.

SANDRONE, D.; LAWLER, D. (2017). Una Excursión Ontológica a las Tecnologías Entañables. In QUINTANILLA, M. A. et al. (2017). *Tecnologías entañables*. Madrid: Catarata.

SCHULZ, P. A. (2018). Há mais história lá embaixo: um convite para rever uma palestra. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.40, n.4, p.4210-4215.

SMITH, W. H.; SNOW, T. P.; YORK, D. G. (1977). Comments on the Origins of the Diffuse Interstellar Bands. *The Astrophysical Journal*, v.218, p.124-132.

SNOW, T. P.; DESTREE, J. D. (2011). The Diffuse Interstellar Bands in History and in the UV. *EAS Publications Series – EDP Sciences*, v.46, p.341-347.

TOUMEY, C. (2005). Does nanotechnology descend from Richard Feynman's 1959 talk? *Engineering & Science*, n.1/2, p.16-23.

TOUMEY, C. (2008). Reading Feynman into Nanotechnology: a text for a new science. *Techné*, v.12, n.3, p.133-168.

TRIVIÑOS, A. N. (1997). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas.

YOSHIDA, Z.; OSAWA, E. (1971). Aromaticity. Chemical Monograph Series. *Kagaku*, v.22, p.174-178.

Anexos

Anexo I

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Concordo em participar, como voluntário, da pesquisa intitulada “*Aplicação de um Modelo de Avaliação de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico: a nanotecnologia no Brasil*”, que tem como pesquisador responsável Elio Carlos Ricardo, Professor da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo e aluno do Doutorado em Lógica e Filosofia da Ciência da Universidade de Salamanca, sob a orientação do Prof. Dr. Miguel Ángel Quintanilla, os quais podem ser contatados pelos e-mails elioricardo@usp.br e maquinta@usal.es. O trabalho tem por objetivo apresentar um modelo de avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico a aplicá-lo em estudos de caso em centros de pesquisa em nanotecnologia no Brasil.

Minha participação consistirá em conceder entrevistas a respeito dos projetos de pesquisa em que atuo. Compreendo que esse estudo possui finalidade de pesquisa e que os dados obtidos serão divulgados seguindo as diretrizes éticas da pesquisa, assegurando, assim, minha privacidade. Sei que posso retirar meu consentimento quando eu quiser, e que não receberei qualquer pagamento por essa participação.

São Paulo, ___/___/_____

Nome do pesquisador entrevistado

Elio Carlos Ricardo

Anexo II

Transcrição das Entrevistas com os Pesquisadores¹¹⁵

Pesquisador 1 (P1)

Entrevistador: então, a primeira questão é em relação aos projetos que você tem trabalhado. Se puder contar um pouco sobre os projetos em que você está atuando em nanotecnologia, como duração, custos, se tem cooperações com outros institutos...

Pesquisador: bom, na verdade, nosso laboratório trabalha com... uma das temáticas é nanotecnologia, mas a gente também trabalha com uma escala de tamanho, algumas vezes, um pouquinho maior, que já é uma escala micro; a gente está falando em torno de 1000 nanômetros, nem considera nano mais. Dentro dos projetos que eu estou, pude, nesse pouco tempo de [Instituto], em torno de 5 anos, trabalhar onde pelo menos uma das dimensões do material era manométrica. Eu sempre trabalhei em projetos com parceria, parceria com a empresa privada. Normalmente, é um projeto que a gente tem três *players*, o [Instituto], uma empresa privada que quer desenvolver um produto, quer melhorar um produto que ela já tem, e uma agência de fomento, vamos dizer assim, que é a EMBRAPPI no caso. Então, a EMBRAPPI, é a Empresa de Pesquisa e Inovação Industrial; Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Ela surgiu com a necessidade do Brasil de investir mais em P&D. Então, ela é uma empresa que ela seleciona institutos e laboratórios do Brasil, em diferentes áreas do conhecimento, e credenciam esses institutos, por meio de uma auditoria, a ser uma unidade EMBRAPPI. Então, nosso caso, o [Instituto] ele é unidade EMBRAPPI de materiais e unidade EMBRAPPI de biotecnologia. Dentro dessas duas temáticas, a EMBRAPPI enxergou que a gente tem capacitação, tem infraestrutura, tem conhecimento, tem *expertise*, para tocar projetos de P&D com empresas do setor privado. Nós somos unidade EMBRAPPI, por um período, ele vai sendo revalidado. Então, funciona dessa forma: a empresa nos procura com uma demanda de P&D, nós montamos uma proposta, com escopo, com plano de trabalho, valores e tudo o mais, e esse recurso, ele está meio que pré-aprovado já pela EMBRAPPI. Já tem uma conta separada, então, passa primeiro por uma avaliação técnica nossa, lógico, tem que se encaixar naquelas temáticas que a gente está capacitado, então, é uma aprovação bem mais rápida do que outros tipos de fomento. Eu acho que 90, ou os projetos que eu participei até hoje, 90% foram projetos financiados pela EMBRAPPI. O foco sempre é pesquisa e desenvolvimento. São projetos com durações variadas, pode ser desde projetos de 6 meses a um ano, até projeto de 3 anos. Então, recentemente, a gente tocou um projeto de 27 meses, renovou agora por mais 20, 22 meses para complementar um pouco do trabalho, e a ideia é sempre tentar lançar o produto, patentear, gerar realmente um produto. O [Instituto] realmente busca uma pesquisa aplicada já, não é aquela pesquisa de base. A gente busca fazer um *link* entre a Universidade e a empresa; então, pegar um conhecimento que já é existente e dar uma aplicação para aquilo. É mais ou menos isso que, pelo menos eu, venho fazendo, venho atuando, então é sempre uma equipe composta por 3, 4, 5, 6 pessoas. Acaba sendo multidisciplinar porque o nosso laboratório tem desde químico,

¹¹⁵ As questões feitas pelo entrevistador estão em *itálico*. As indicações “Entrevistador” e “Pesquisador” estão presentes na primeira entrevista para exemplificar. Foram retiradas as partes do texto que poderiam identificar o pesquisador entrevistado.

engenheiro químico a engenheiro de materiais, farmacêuticos, então, a gente meio que molda a equipe de acordo com o projeto. Se é uma área mais de cosmético, é uma equipe, se é uma área mais de agroquímico, então, depende. Várias empresas, de vários setores, buscam, têm procurado a gente. Uma temática que eu particularmente tenho trabalhado bastante é encapsulação. A gente utiliza diferentes rotas de síntese, físicas ou, às vezes, químicas, físico-químicas, para encapsular um ativo de interesse, seja um ativo de cosmético, uma fragrância, por exemplo, ou um fármaco; ou um ativo que vai, um agroquímico que vai ser aplicado no solo, nas plantas; automobilística, já tocamos um projeto que está em andamento inclusive. Então, o princípio geral é o mesmo: eu tenho um ativo, eu quero protegê-lo e liberá-lo na hora que eu quero. Então, para isso eu encapsulo, protejo ele do meio em que ele está inserido. Eu coloco diferentes gatilhos, depende da aplicação, diferentes gatilhos para ele ser liberado, seja um esforço mecânico, seja uma temperatura, seja uma variação de pH do meio. Normalmente, essa encapsulação se dá em uma escala micrométrica ou nanométrica, então, a gente gera partículas, fibras, diferentes formatos de estruturas que vão ter essa escala de tamanho. A maioria dos projetos que eu tenho participado é nessa temática: encapsulação de princípio ativo utilizando diferentes ferramentas em uma escala micro ou nanométrica. Não sei se eu consegui responder.

Entrevistador: tem como falar em custos? Outros colegas seus já disseram que, em alguns casos, tem um contrato de sigilo.

Pesquisador: todos têm.

Entrevistador: então, dentro do que você puder falar...

Pesquisador: sim, sim. Primeiramente, todos nós pesquisadores temos um contrato de confidencialidade com o próprio [Instituto]. A partir do momento em que a gente é contratado, já temos um contrato de sigilo de tudo o que a gente trabalha com o [Instituto]. Em paralelo, sempre que a gente recebe uma empresa, assim como eu estou te recebendo aqui, a gente recebe um pesquisador de uma empresa que quer apresentar uma demanda e discutir possibilidades, a gente pode, antes mesmo de qualquer conversa, assinar um [contrato] com a empresa. Pode ser um [contrato] deles, no formato deles, e a gente também tem o nosso. Tudo o que está sendo discutido naquela reunião e, depois, se por ventura se tornar um projeto, aquilo também está resguardado debaixo de um outro contrato de confidencialidade. Então, muito do que a gente faz, na verdade, 100% do que a gente faz, a gente acaba tendo questões de sigilo atreladas a ela. E, assim, na verdade, o contrato, esse [contrato], a gente acaba estipulando, especificando exatamente o que está embaixo daquele guarda-chuva do contrato, porque se a gente colocar termos muito genéricos, a gente acaba ficando impossibilitado de trabalhar naquela temática para o resto da nossa carreira. Uma coisa é colocar encapsulação por *spray dry*; esse é um tipo de título que a gente não pode colocar no NDI porque é muito genérico. Quer dizer que se eu trabalhar com encapsulação por *spray dry* com aquela empresa não posso trabalhar com mais ninguém? Então, a gente tenta deixar especificado o ativo, a rota, quem é o material de encapsulação, para poder, realmente, manter um contrato sério, bem amarradinho com a empresa, mas sem impossibilitar da gente trabalhar com aquela rota, que é muito ampla, com outras empresas, com outros ativos, com outras temperaturas de secagem. Tem um contrato, mas tenta deixar o mais específico possível, que fique bom para o cliente e que fique bom para o [Instituto] também. Em termos de valores, então, depende muito do projeto. A gente estava trabalhando em um projeto de 27 meses de aproximadamente 1 milhão de reais. Nesse projeto EMBRAPPII, normalmente, a divisão é feita da seguinte forma: cerca de, no máximo 30 a 33% a EMBRAPPII coloca de recurso financeiro; esse recurso é não reembolsável, então, a empresa não vai ter que devolver

isso lá na frente; 47% desse recurso a empresa paga e os 20% restantes o [Instituto] entra com contrapartida econômica, não financeira, então, é mão de obra, equipamento e tudo o mais. Então, essa é a divisão do risco. O Brasil investe muito pouco em P&D, então, a EMBRAPII chega para ela e “olha, eu sei que tem um risco associado, eu sei que pode não dar certo, e eu sei que você não está investindo em P&D por conta disso, então vou te ajudar a pagar esse risco e te incentivar a fazer P&D, que o Brasil faz muito pouco”. É mais ou menos essa a ideia do financiamento EMBRAPII. Existem projetos que podem fazer em torno de 200 mil até 1 milhão. Atualmente, a gente está conduzindo um projeto dentro da EMBRAPII, só que dentro da EMBRAPII biotecnologia, que foge um pouco do contexto de nanotecnologia, de 23 milhões, talvez seja o maior. Do nosso centro com certeza, do [Instituto] tenho dúvidas, mas talvez seja um dos maiores. Um projeto de 3 anos de 23 milhões, também EMBRAPII. A EMBRAPII paga os seus 33%, a empresa 47%. Então, para a empresa é muito bom. Ela vai pagar metade do que ela pagaria, recurso não reembolsável, e ela conta com a *expertise* de uma unidade que está dentro da EMBRAPII, que frequentemente é auditada, não só em termos técnicos, mas em termos administrativos, financeiros. Tudo o que a gente compra tem as notas, tem que dar uma justificativa do porquê comprou aquele material, então, existe uma auditoria até para entender como está sendo utilizado esse recurso. Para que, realmente, tudo o que foi comprado, tudo o que foi adquirido dentro do projeto tenha a ver com o conteúdo do projeto e foi utilizado como matéria prima, como insumo. Já escrevemos propostas menores, sei lá... 200, 300 mil reais, depende muito do que o cliente precisa. Às vezes, é uma inovação incremental, então, é uma coisa que ele já faz; por algum motivo, ele precisa melhorar para continuar no mercado, ou existe alguma questão burocrática, de política mesmo. Então, surgiu uma lei que impede ele de usar aquele produto químico e ele tem que parar com aquilo até o ano que vem. Ele já precisa desenvolver um produto que faça... atenda as mesmas características que o dele atende substituindo aquele produto químico. Então, ele procura a gente. É uma inovação incremental, a gente não vai partir do zero. E, às vezes, existem inovações mais radicais, quebra de paradigma de fato, que é, por exemplo, esse projeto que eu comentei com você de 23 milhões, que se a gente conseguir realmente desenvolver esse produto é algo que realmente vai inovar o mercado naquela área. Então, depende muito do projeto e tudo o mais, os valores variam bastante. E, o que entra nesses custos? É, basicamente, as matérias primas para tocar aquele projeto. Então, que reagentes a gente vai precisar comprar? A mão de obra dos pesquisadores, muito provavelmente a parte mais cara da conta aí que é nossa mão de obra. O [Instituto], a gente precisa, diferentemente da Universidade, onde você tem o aluno de mestrado, doutorado, de IC que ele tem uma bolsa paga pela FAPESP, pelo CNPq, pela CAPES, acaba que o professor, ele tem aquela mão de obra barata já paga. O [Instituto] não, a gente precisa vender projeto, a gente precisa vender ensaio, para poder pagar a nossa hora. Então, acaba que talvez a parte mais cara aí dessa conta é realmente a hora dos pesquisadores e dos técnicos envolvidos. Basicamente isso: é matéria prima, é hora do pesquisador, alguma taxa administrativa e tudo o mais, a gente monta, em um cronograma de trabalho, com as diferentes etapas, os custos e, em paralelo a isso, existem as questões de propriedade intelectual, isso anda em paralelo. Então, o [Instituto] ele tem um escritório interno de propriedade intelectual, onde é feita a avaliação de possibilidade de patenteamento, como ficaria a questão da divisão dessa patente, isso também é feito. Pode ser feito antes mesmo do projeto ser iniciado. Todo mundo já sabe como é que vai ser a questão da propriedade intelectual antes de começar o projeto, ou pode ser feito depois, isso também depende de cliente para cliente. O [Instituto] busca, é uma das metas anuais inclusive, número de publicações de artigos, número de depósito de patente. Então, é uma coisa que a gente busca, mas, às vezes, o cliente quer um sigilo industrial; ele está interessado mais no produto, e menos na patente ou no documento em si. Isso é sempre tratado já no início do projeto, pode já fazer um termo de PI já no início, ou é feito isso depois, mas também é feito

dentro do [Instituto]. A parte técnica interage um pouco, mas existe um escritório já com advogados, com especialistas em patentes para tratar desse assunto. A gente interage, mas um pouco; meio na periferia.

Entrevistador: já existem os técnicos especificamente para isso?

Pesquisador: isso, para isso.

Entrevistador: e, nesse caso de projetos em nanotecnologia, daria para destacar, se é que existe, elementos do projeto, características do projeto, específicos por serem de nanotecnologia? Algo a mais, além de outros projetos que não seriam, por exemplo, nessa área? Ou não tem diferença? Não sei se a pergunta está clara, mas, por se tratar de nanotecnologia, existem outros critérios específicos para aprovação, avaliação desse projeto, ou não?

Pesquisador: na verdade, o projeto corre seguindo, assim, tecnicamente falando, uma sequência de ações similar como qualquer outro projeto. Depende um pouco também da aplicação. A gente está falando de projetos para a encapsulação de um ativo, por exemplo, cosmético, onde essa partícula que contém esse ativo está em uma escala manométrica. Existe regulamentação ou, pelo menos, o início de regulamentação; é uma coisa que ainda está meio embrionária, talvez, no país, que é feita por parte da ANVISA, eu não sei se já existe uma atualização. Até a última informação que eu tinha é que sistemas abaixo de 200 nanômetros, partículas com dimensões menores do que essa, já não podem ser utilizadas, por exemplo, em um creme cosmético por questões de permeação e cair na corrente sanguínea. Então, existe aí uma limitação por parte da ANVISA, que é uma característica de produto que ela tem que ser seguida por questões de segurança. Projetos onde a gente tem interface com sistemas vivos, pessoas ou animais, aí a gente tem que ter alguns cuidados em termos de até que dimensão eu vou; eu posso reduzir. Mas, de maneira geral, os projetos não seguem uma ordem, uma sequência, de ações muito diferente do que tem em qualquer outro projeto de pesquisa. São mais essas restrições, em se tratando de sistemas vivos, que a gente tem que ter, mas são, na verdade, controláveis. A gente consegue controlar até que ponto reduz o tamanho de uma partícula, por exemplo. Então, isso é controlável. Acho que é mais isso: é questão de regulamentação por parte dos órgãos competentes em relação à dimensão do que a gente está fazendo.

Entrevistador: foi interessante, você comentou, você buscou um adjetivo para essa regulamentação: “ah, está em estágio embrionário”. Por que você comentou isso? Ainda não tem isso muito claro no Brasil?

Pesquisador: eu confesso que eu preciso ainda ler mais sobre como que está a questão da regulamentação; até porque, a gente da área técnica, menos de gestão, por exemplo, até hoje eu atuei bastante como pesquisador dentro dos projetos, mas ainda não tive a oportunidade de ser gerente de um projeto, ou, talvez, assim, até as pessoas que já atuaram em gestão de projetos, onde tivesse alguma temática de cosmético, por exemplo, já teria parado para dar uma olhada melhor nessas questões de legislação. Então, assim, confesso que li pouco, preciso me inteirar mais sobre o assunto. Mas, o termo que eu usei, embrionário, acho que porque falta um pouco mais de regulamentação. Acho que já existe alguma coisa. Esse número que eu citei, acho que já surgiu de algumas conversas que a gente teve internamente, dos 200 nanômetros como valor limite. Muito provavelmente, isso já partiu inclusive de estudos fora do país, onde, normalmente, as coisas avançam primeiro, depois a gente acaba trazendo isso para o Brasil. Muito provavelmente, já deve ter tido estudos que indicaram a necessidade de um limite de tamanho de partícula, porque abaixo daquele valor você

começa a comprometer; ter problemas de permeação e inclusão daqueles sistemas na corrente sanguínea. Então, o embrionário é mais por conta disso. Por exemplo, existe um ensaio de permeação cutânea que ele é seguido para avaliar até que camada da pele aquele ativo permeou. A gente encapsulou um ativo e precisa saber até que camada da pele ele permeia, se ele é liberado, se não é liberado, qual o tempo de liberação, qual é a cinética. Existe um ensaio para isso, que é um ensaio que você utiliza um equipamento que se chama célula de difusão de Franz. Então, você tem um sistema que simula uma corrente sanguínea. Você tem uma solução tampão, com valor de pH similar ao da corrente sanguínea. Antigamente, vinha se utilizando uma pele animal, uma orelha de porco, por exemplo, colocava seu ativo na superfície e aquele sistema ficava ali em uma temperatura também controlada que simulasse a temperatura do corpo por algumas horas e você simula como aquele ativo se comporta em contato com a pele. Existe uma norma para isso e ela vem sendo revisada, entendeu? Ela já passou por umas revisões. O que tem sido feito também ultimamente é a substituição da pele animal por uma membrana sintética, por questões de não utilizar animais. Tem toda a questão com experimentação com animais que é um tema de discussão mundial que ainda existe, muitos órgãos são contra, então várias empresas já têm tirado e colocam inclusive isso no rótulo do seu produto: “olha, nós não utilizamos animais”. E, na nanotecnologia a mesma coisa, para fazer os testes de permeação e retenção cutânea já utilizamos no passado inclusive orelhas de porco para isso, mas recentemente o laboratório, estou um pouco distante dessa temática, mas até onde eu sei, o laboratório vem utilizando agora membranas sintéticas. Você consegue comparar produtos utilizando membrana sintética, sem ter que recorrer ao animal. É uma temática que ela vem sendo, ao longo dos anos, as normas vem sendo atualizadas, vem sendo, por exemplo, esse procedimento com as células de difusão de Franz hoje é o padrão, mas acredito que no meio acadêmico-científico talvez não seja um consenso; é melhor usar membrana animal; a sintética já simula legal, então, eu acredito que é um tema que está maduro o suficiente já para, talvez, se ter normas mais claras, mais conclusivas, acho que já está nesse ponto. Talvez, a partir de agora essas normas comecem a ficar mais... porque a nanotecnologia, querendo ou não, é o tema da moda, inclusive, talvez, já esteja na moda há algum tempo. Então, o embrionário foi por conta disso, acho que falta um pouco ainda de clareza nessa questão dos valores, de valor limite, normas específicas para essa escala de tamanho, acho que seria mais ou menos isso.

Entrevistador: é possível pensar em tecnologias abertas nesses casos de pesquisa em nanotecnologia? E, aqui teria mais uma outra variável nessa equação que é o fato das empresas privadas, não é? Mas, é possível pensar isso na nanotecnologia?

Pesquisador: pesquisa aberta? Em que sentido?

Entrevistador: esse conceito ficou muito mais forte nessas áreas de softwares, que há um tempo se pensava em tecnologias grátis, ou seja, esses programas que ficavam disponíveis para as pessoas baixarem e usarem. Mas, depois começou a surgir um novo conceito que é o de tecnologia aberta, ou seja, não só, como no caso do software, ficaria disponível, como também os códigos de acesso para as pessoas baixarem, por exemplo, esse programa e mudarem ele. Fazendo um paralelo, é possível pensar isso no caso da nanotecnologia? Ou, por exemplo, se quiser outro paralelo, a questão das publicações de pesquisas, se vocês resolvem aqui replicar um resultado de pesquisa, conseguem fazer? As divulgações são, de fato, livres?

Pesquisador: assim, tentando entender o comparativo com essa questão da pesquisa aberta acho que, comparando com o software, onde você consegue, com a chave, uma pessoa de fora fazer modificações naquele software, acho que é complicado, porque, assim, diferentemente, acaba que a área química ela acaba sendo um pouco diferente

das demais. Não é uma área do conhecimento que a gente consegue, costuma conseguir, fazer *home office*. Você não consegue ter um laboratório de síntese orgânica na sua casa, diferentemente da área de TI, por exemplo, de *software* onde, às vezes, a pessoa, mesmo sem um curso de graduação, consegue de casa aprender muita coisa e consegue, às vezes, sem uma formação, a exemplo de alguns Steve Jobs, esses caras que na própria garagem de casa conseguiram revolucionar a informática. Então, enxergando por esse lado, se é que eu entendi a pergunta, acredito que não, acho que é complicado ter pesquisa aberta dentro dessa temática de nanotecnologia. Não que uma pessoa não consiga fazer, então, se a gente falar de alguns métodos de geração de nanopartícula, *a priori*, você tendo acesso a alguns reagentes, você conseguiria fazer isso em casa, mas não enxergo muito o porquê, assim, não conseguiria evoluir sem produzir aquilo em escala industrial; não conseguiria evoluir para conseguir realmente fazer dinheiro com aquilo. O *software* é diferente.

Entrevistador: e, se fizer outro paralelo com a questão das publicações, por exemplo? Por que, assim como vocês tem aqui essa estrutura, nesse caso que você ilustrou, da participação da EMBRAPA, do Instituto e de uma empresa privada, por exemplo, bom, pode ser pública também, isso pode gerar publicações, os pesquisadores podem publicar? E, como é feito? Até onde eu posso publicar o resultado de um projeto desse tipo?

Pesquisador: é, na verdade, a publicação só pode ser realizada com o consentimento da empresa. Então, tudo o que, dando um exemplo de um projeto conduzido atualmente, a gente conseguiu, não desenvolver, mas implementar um método de avaliação de microestruturas utilizando uma ferramenta que a gente no laboratório nunca tinha usado para isso. É inédito? Não, não é inédito, isso já foi feito em outros laboratórios, muito provavelmente no Brasil e no mundo. No nosso laboratório a gente nunca tinha feito e é uma ferramenta interessante que ganha bastante tempo, a gente achou interessante divulgar pelo menos para algumas empresas do estado, mostrar que a gente tem aquela ferramenta, seja para a contratação de um serviço pontual, “olha, eu preciso fazer esse ensaio que você fez”, ou para desenvolver um projeto. Então, a gente entrou em contato com a empresa responsável por aquele projeto que a gente estava conduzindo e explicou a situação, a gente poderia utilizar as imagens que a gente fez as análises e gerou algumas imagens de microscopia eletrônica, a gente poderia usar essas imagens do projeto para fazer algumas divulgações, sem falar qual é o material, sem falar qual é a rota, utilizar mais as imagens mesmo. “Não, sem problema e tal”, isso é oficializado por e-mail e a gente utiliza aquelas imagens para fazer uma divulgação, poderíamos muito bem por um artigo científico, entendeu? Então, assim, nada vai ser publicado sem o consentimento da empresa e, se for publicado, muito provavelmente, a gente omite algumas informações que é o diferencial da tecnologia para não ferir o contrato de sigilo. Patente, por exemplo, também vai ser depositada em comum acordo; às vezes, não é interessante para a empresa. Ela prefere ter o sigilo industrial. Então, dentro desse contexto de projetos com empresas do setor privado, sempre tem que ter o consentimento do que vai ser divulgado. Normalmente, a empresa, acabou o projeto, deu certo? Na verdade, ela até quer divulgar, quer divulgar, mostrar que fez a parceria com o [Instituto] e tudo o mais.

Entrevistador: mas, essa divulgação, você fez uma observação interessante, porque a gente pode, nesse mesmo exemplo que você deu, pegar esses dados, essas informações que a empresa consentiu que fossem utilizadas, e fazer um material de divulgação, por exemplo, quase que um marketing do próprio instituto?

Pesquisador: sim, sim.

Entrevistador: outra coisa, por exemplo, seria pensar em mandar para uma revista científica e aí, no caso dessas omissões, não correria o risco, por exemplo, do artigo não ser aceito? Olha, a gente não pode acreditar...

Pesquisador: corre o risco. Inclusive, dentro desse projeto, a gente redigiu um artigo, a gente vai inclusive entrar em contato agora com a empresa. Assim, a gente tem que escrever o mínimo de informação necessária para o leitor entender o que está sendo dito. Mas, se é um artigo de uma revista científica, você vai ter que ter as informações, por exemplo, de procedimento experimental minimamente detalhado, se há algo que, como vou dizer, é de domínio público. Por exemplo, a gente usou a ferramenta de encapsulação que ela é conhecida, uma rota de encapsulação conhecida, existem já artigos, existem teses, existem dissertações, só que a gente usou aquela rota para encapsular um ativo específico daquela empresa. Então, talvez nesse caso, a gente poderia omitir, por exemplo, que era a fragrância que a gente utilizou, ou omitir algum detalhe de processo, aí vai muito de como que vai ser a primeira recepção do avaliador da revista. Se do lado de lá ele responder: “olha, bacana, mas essas informações precisam estar mais bem descritas”. Aí a gente acaba tendo que, novamente, voltar, sentar com a empresa, entender que aquela informação pode ser aberta ou não e, caso realmente isso aqui eu não posso falar e a revista fala “sem essa informação eu não consigo publicar”, a gente não publica, o sigilo vem primeiro.

Entrevistador: em função do próprio contrato?

Pesquisador: do contrato. A gente consegue escrever de forma genérica e consegue publicar, porque o projeto tem 3 anos. Na verdade, todos os projetos que eu participei ele começa em uma frente e nem sempre, na maioria das vezes, não é aquela frente que chega no final. A gente percebe que aquela rota não é mais interessante, aquele reagente não vai entregar o resultado, mas ele gerou um conhecimento. Então, a gente pode pegar dados que foram gerados no projeto, mas que ficaram pelo caminho, porque ele não entregou o produto, e usar aquilo para publicação, porque ele também gerou um conhecimento e aquela rota que realmente entregou o produto não, a gente não coloca no trabalho. Então, a gente chegou a gerar capsulas muito boas no sentido de aspecto físico, no sentido de boa eficiência de encapsulação, mas que elas não resistiam ao ambiente no qual elas seriam inseridas. Então, em um ambiente, por exemplo, com solvente que atacava a casca e liberava o ativo, mas se fosse outro sistema, no meio aquoso, por exemplo, ela já funcionaria. Então, existe duas formas de se tratar o assunto, a empresa pode agora criar uma linha com outro sistema, o sistema aquoso, sem solvente, e usar aquele produto. “Eu não, eu sempre vou trabalhar com solvente, para mim não serve, pode publicar isso.” Depende muito. Não necessariamente aquele conhecimento que foi gerado ele vai ser usado no produto do cliente, porque durante 3 anos você gera muita informação, muita coisa bacana de se publicar, mas como ciência de base, conhecimento de base, não como aplicado. Dá para publicar sem ferir a questão do sigilo.

Entrevistador: a ideia que a gente tem, digo a gente mais no sentido dos leigos nessa área, a impressão que se dá é que a nanotecnologia, como ela trabalha com escalas no muito pequeno, que ela aumentaria a especificidade de uso dela. Seria, assim, um resultado ultraespecífico. Isso é verdadeiro ou seria o contrário? Por exemplo, a partir de uma pesquisa pode-se gerar aplicações nas mais variadas áreas?

Pesquisador: eu acho que, na verdade, é o contrário. Um único produto, vamos dizer assim, ele pode ter aplicações em diferentes áreas. Só pegar um exemplo para ilustrar. Um dos produtos que tem se utilizado de uma dimensão da escala nanométrica são as nanofibras. Então, você tem uma manta, normalmente polimérica, só que o diâmetro

daquela fibra, diferentemente de um TNT, de um tecido de uma roupa, ela tem uma dimensão manométrica. Então, isso entrega propriedades interessantes em termos de área de contato com potencial de liberação de um ativo. Então, já existem aplicações utilizando esse conceito de nanofibras em diferentes áreas. Você pode utilizar nanofibras desde um sistema de filtração até um sistema de liberação controlada, uma máscara facial. Você gera uma manta só que ela contém um ativo na sua fibra. Você pode utilizar aquilo como uma máscara facial, onde você vai dormir e, durante a noite, fica liberando um ativo. Para uma área mais cosmética, você pode utilizar esse mesmo conceito para liberação de um fármaco também. Então, assim, é nano, porque você tem uma dimensão manométrica; às vezes, o mesmo produto, um mesmo material, um mesmo polímero, é a base daquilo ali. Variando um ativo encapsulado, você encontra aplicações em diferentes áreas. Então, é aquilo que eu comentei, a gente utiliza diferentes rotas para encapsular um ativo. Se você pega uma mesma cápsula, do mesmo material, e troca o ativo que vai dentro dele, você vai desde uma área fármaco-cosmético para o agroquímico. Você só mudou o ativo que está dentro.

Entrevistador: poderia ir desde um fármaco até o uso na agricultura?

Pesquisador: isso. Então, não é tão específico assim. É lógico, você pode ter algum tipo de modificação em termos de qual é o gatilho de liberação. Então, sei lá, no setor da agricultura, às vezes, você quer que o gatilho da liberação seja a água. Quando chover, ele solubiliza aquela casca e libera um nutriente para a planta, libera um fungicida, alguma coisa do tipo; ou não, o gatilho vai ser a temperatura. Então, o sol vai fundir aquela casca, vai derreter e liberar; ou o gatilho é mecânico, algum equipamento vai passar e romper aquela casca e liberar. Você pode mudar o gatilho de liberação, mas, às vezes, o material básico de construção daquela casca é o mesmo. A mesma coisa na área cosmética, você pode utilizar como gatilho de liberação a umidade da pele. Então, a sua casca ela é solúvel em água, a própria umidade vai solubilizar e liberar o ativo. Pode ser mecânico. Quando você, por exemplo, aplica um protetor solar você estoura as cápsulas e libera aquele protetor. Você tem um protetor de maior duração, você vai ter uma fração que está livre, sem encapsulação que você passa, ele vai durar aquela primeira meia hora, daqui a meia hora você passa a mão de novo e estoura aquelas cápsulas e libera uma segunda camada. Então, assim, depende muito do gatilho de liberação, mas você pode ter um mesmo sistema em diferentes áreas. Eu acho que não é tão específico assim. Às vezes, você parte das mesmas ferramentas para gerar produtos para diferentes áreas. Então, por exemplo, eu já trabalhei com, basicamente, 3 rotas de geração de produtos em uma escala particulada, em uma escala manométrica, e participei de mais de 3 projetos. Você utiliza aquela ferramenta para diferentes áreas.

Entrevistador: essas aplicações vêm bem na direção da próxima questão. Em relação ao controle que a gente tem dessas cápsulas, ou de qualquer estrutura nanométrica, quer dizer, como nós estamos nisso? Nós temos o controle disso, ou seja, elas vão fazer exatamente aquilo que a gente quer que façam e vão parar por ali, ou elas podem fazer outras coisas?

Pesquisador: é, assim, os experimentos que eu tenho a oportunidade de participar, em termos de tamanho, não sei se felizmente ou infelizmente, vários deles, a aplicação requeria, na verdade, que o tamanho dessas partículas fosse um pouco maior; fosse escala micrométrica. Um exemplo bem fácil de enxergar o porquê, por exemplo, uma cápsula de fragrâncias, você pega uma partícula micrométrica ou uma partícula nanométrica, a explosão de cheiro em uma fragrância em uma partícula micrométrica é muito maior. Então, para a aplicação, era interessante que ela fosse maior, que ela tivesse um volume de fragrância maior. Era até uma demanda do cliente. Nesse caso, você já está em uma escala de tamanho menos perigosa em termos de tamanho, em

termos de permeação na pele e tudo o mais. Dentro da temática de projetos nessa área cosmético-fármaco, nos projetos que eu trabalhei, a gente sempre tem uma etapa inicial de filtro de matérias primas. A gente vai sempre trabalhar com polímeros biocompatíveis, biodegradáveis. São polímeros que já foram testados em contato com a pele em termos de toxicidade. Eles são biocompatíveis; eles podem ser utilizados com aplicações em sistemas vivos, e biodegradáveis, a própria natureza consegue degradá-los. Então, em relação à utilização da nanotecnologia para encapsular, a gente já começa no filtro de matéria prima, entendeu? Matérias primas que potencialmente geram algum tipo de problema em termos de serem cancerígeno, não serem biodegradáveis, eles acabam nem entrando como uma possibilidade dentro desse contexto de matéria prima. Em termos de toxicidade de materiais é o primeiro filtro: “olha, esse material”? Então, a gente tem polímero x, y, z, para tais aplicações. “Ok esses polímeros”? Para essas aplicações com sistemas vivos eles acabam nem entrando na possibilidade de utilização, porque não vai ser viável. Esse projeto que a gente tem tocado com empresa do setor cosmético tem isso: eu preciso de um material que seja biocompatível, porque é uma máscara facial, vou colocar no rosto, a pessoa vai passar a noite com aquilo, ele não pode amanhecer com o rosto irritado por conta daquele material. Então, ele já parte da escolha da matéria prima com esse pressuposto: biodegradabilidade e biocompatibilidade.

Entrevistador: vai ter um descarte disso também?

Pesquisador: então, nesse caso, no caso específico dessa manta, ela é solubilizada por água. De manhã, você vai lavar o rosto, ok, ela meio que solubiliza com água e some. Então, assim, para esses sistemas de aplicação na pele, ingestão, o próprio organismo, ele já vai se responsabilizar por degradar, por destruir aquele material. Em outras aplicações acaba que aquele material ele vai seguir um descarte do próprio produto. Se você incorpora um sistema particulado, por exemplo, de aplicação de partículas em tintas, por exemplo, a questão de conforto térmico. Eu encapsulo um material que ele tem uma temperatura de fusão similar à temperatura ambiente. Então, o tempo está um pouco mais quente, aquela energia, aquele calor do ambiente que seria utilizado para me incomodar ele vai ser absorvido pelas partículas que estão na tinta da parede, ela vai fundir, e a temperatura e a sensação vai ser de uma temperatura um pouco mais amena dentro daquela sala, por exemplo. Então, assim, aquelas partículas acabam que elas estão incorporadas em um verniz e vão seguir meio que uma lógica de descarte similar ao material da própria construção.

Entrevistador: há riscos nisso? Por exemplo, nesse caso, a tinta está ali, um dia ela pode ser extraída dali para pintar aquela parede, enfim, vai ser descartada. Tem como prever uma possibilidade de riscos se jogar no ambiente, por exemplo?

Pesquisador: aí é complicado prever, porque, assim, material particulado em escala nanométrica a gente tem acesso o tempo todo. Então, a gente está respirando aqui, a gente tem, não é visível a olho nu, mas a gente tem material particulado aqui o tempo todo, é bem comum, você está em casa, bate aquele sol na janela e você vê aquela poeira, aquele material particulado na atmosfera. Recentemente eu li, ou ouvi algum comentário, a respeito da composição da atmosfera na cidade de São Paulo, a maioria daquela nevoa preta que pegaram para analisar é borracha particulada de pneu de carro. Então, se me perguntar se é interessante a gente estar respirando esse ar contendo borracha particulada, a minha intuição diz que não é interessante. No que diz respeito, por exemplo, à inserção de um material nanoparticulado em uma tinta, esse material dificilmente vai a campo, vai a venda, ele se torna comercial, sem que se tenha todos os ensaios mecânicos de resistência que garantam que ele não vai terminar, por exemplo, na atmosfera. Agora eu não vou conseguir te citar um produto comercial que

tenha, mas todas as avaliações em termos de aplicação do produto, elas devem ser feitas para garantir que isso não vai acontecer. Acaba que fica uma parceria entre a instituição que está desenvolvendo o produto e a empresa privada que está utilizando aquele produto. Ninguém conhece melhor o produto dele que o próprio fabricante. Vem uma empresa e procura a gente para desenvolver, muitos dos ensaios de aplicação quem vai fazer é o parceiro, a gente sempre acompanha, até para entender como é feito esse ensaio e tudo o mais, entender se o produto está atendendo e ninguém mais do que ele conhece o produto para “olha, o nosso produto vai passar por esse tipo de situação, tal temperatura, tais forças mecânicas, ele precisa resistir para não ceder, para não romper e tudo o mais”. Então, falar que não tem risco é complicado.

Entrevistador: talvez, essa questão venha um pouco até da divulgação científica, nem sempre a divulgação é muito cuidadosa, então as pessoas podem achar que, por exemplo, usa-se muito as metáforas na ciência, por exemplo, na nanotecnologia é muito comum falar em “robozinhos”. Eu acho que as pessoas acabam pensando em alguma coisa desse tipo, ou seja, eles inventaram lá o robozinho que ele pega o remédio e leva naquela célula que tem que curar; e depois, o que acontece com esse robozinho?

Pesquisador: ah, não, não, são metáforas que acabam confundindo mais do que ajudando. Nesse tipo de metáfora, por exemplo, o que acontece na prática não é um robozinho; não é. Na verdade, não é nem um sistema eletrônico. A atuação é química. Então, por exemplo, nesse sistema de entrega de medicamento em uma região de tumor, onde você precisa que aquele medicamento atue naquela região, o que se faz é colocar receptores químicos. Então, você tem uma partícula com um certo medicamento, na superfície dela você tem grupos funcionais químicos que têm uma boa interação com os receptores que estão naquele tipo de célula. Ela consegue diferenciar uma célula normal de uma célula cancerosa, por exemplo. Fisicamente você não tem realmente um robozinho, você não está inserindo um componente eletroeletrônico dentro do corpo do paciente, você está inserindo uma partícula constituída basicamente de carbono, hidrogênio e oxigênio, como qualquer outra estrutura do corpo. A única diferença é que ele tem uma molécula com grande afinidade pelo receptor da célula cancerosa. Então, mais uma vez, o próprio organismo vai encontrar formas de se desfazer, de degradar o que restou daquela cápsula, entendeu? Algumas palavras que são utilizadas para explicar o fenômeno acabam que, às vezes, não explica muito bem e até amedronta quem está ouvindo. Não faz muito sentido. Acho que é sempre bom colocar entre aspas as palavras.

Entrevistador: essa questão ela foi parcialmente respondida, eu iria perguntar se a gente conhece essas consequências de produção e aplicação dessas tecnologias. Em relação à aplicação você já respondeu. Mas, em relação à produção, tem alguns cuidados, alguns protocolos específicos por se tratar de nanotecnologia?

Pesquisador: a gente utiliza os EPI necessários para cada atividade. Por exemplo, no laboratório a gente tem algumas diferentes atividades, cada uma delas requer um tipo de equipamento de proteção individual. Eu, por exemplo, trabalho com uma rota de produção de nanomateriais, que é o de nanofibras, onde apenas uma das dimensões é manométrica. Então, você tem uma fibra, nesse sentido ela não é nanométrica, tem um comprimento maior do que 100 nanômetros, mas no diâmetro ela é. A técnica que a gente utiliza para gerar esse material é eletrospiação, onde eu tenho a aplicação de um campo elétrico alto, 20, 30 kVolts. Então, eu vou utilizar uma botina de proteção, uma botina de borracha, eu vou utilizar, dependendo do solvente, se é água, não tem problema nenhum, se eu utilizo um solvente um pouco mais tóxico, um DMF, um clorofórmio, solventes já orgânicos que são prejudiciais, eu vou utilizar, além da capela

de exaustão, para absorver esse solvente residual, eu vou utilizar máscara para solventes. Se eu vou para uma outra técnica que eu seque o material e gere pó, eu vou utilizar uma máscara para pós, já não preciso da máscara para solvente. Então, para cada atividade eu vou utilizar o EPI adequado. Ah, vou manusear um produto que tem solvente, eu vou utilizar luva; não é à base de solvente, posso utilizar luva mais com efeito de não contaminar a amostra, mas não porque vai ter algum problema de toxicidade. Então, como qualquer outra área, existem os EPIs para cada atividade.

Entrevistador: não necessariamente específico por se tratar e nanotecnologia?

Pesquisador: sim, sim, é muito provavelmente máscara. Então, aquela máscara que tem um filtro que segura partícula micrométrica, mas não segura partícula nanométrica, eu provavelmente vou trocar o filtro, ou trocar a máscara; vou pegar a outra máscara que retém partículas com aquela ordem de grandeza. Então, às vezes, chega até o ponto de, talvez, utilizar a máscara para solvente, que não vai passar partículas na escala nano também, principalmente máscara para não inalar, por exemplo, um material particulado.

Entrevistador: um conceito que há alguns anos começou a aparecer na área de tecnologia, no sentido mais geral, e de aplicações tecnológicas, é a questão da reversibilidade dos resultados. Ou seja, você aplica uma tecnologia, mas antes de aplicar, já se prevê se os possíveis resultados podem ser reversíveis. Tem algum sentido falar disso em nanotecnologia?

Pesquisador: reversibilidade?

Entrevistador: talvez, pudesse usar aquele exemplo que você deu um pouco atrás, de aplicações na agricultura. Eu aplico uma tecnologia para matar uma praga, mas depois se verifica que está causando outro problema no ambiente, teria que reverter esse uso. Teria alguma coisa relacionada a isso?

Pesquisador: normalmente, de que forma que a gente costuma trabalhar nos projetos? A gente trabalha sempre em uma escala *lab*; sempre em uma escala bancada laboratorial e, na medida do possível, a gente tenta incorporar nos projetos uma escala piloto para poder validar aquele conceito em um ambiente relevante. Dentro do P&D, dentro de um desenvolvimento de um produto, existem aquelas TRLs, que são as fases daquela tecnologia. Pode estar em uma fase 1, que é bem embrionária, onde você está no levantamento bibliográfico; fase 2, fase 3, até que você chega na TRL 8 ou 9, onde você já está em um ambiente relevante, você já provou aqueles conceitos no ambiente de bancada e você já validou no ambiente relevante. Então, a gente tenta sempre, na medida do possível, também, depende do projeto, chegar, avançar o máximo possível nessa TRL. Esses problemas, caso eles surjam, já surgem em uma escala menor de validação da tecnologia, onde você enxerga “olha, ele até funcionou, mas gerou esse contraponto”. Volta, troca a matéria prima, troca um processo, e muda a rota de síntese, por exemplo. Então, justamente por estar em contato com a empresa privada isso é mais fácil. Vamos supor que a gente estivesse fazendo só pesquisa de base e tivesse só o nosso ambiente de bancada para testar, muita coisa ia passar despercebida. Quando você tem um parceiro que já faz isso, que está dentro daquela indústria, ele vai conseguir aplicar aquilo na prática e ver se aquilo realmente funciona ou não. Então, você pega um fabricante de inseticida, de controle de pragas de animais, ele já tem um parceiro dele onde ele testa esses medicamentos. Então, ah, o mesmo medicamento que ele está aplicando ele quer encapsular para prolongar o tempo de liberação. Ele também vai testar isso nesses animais, para saber se funciona ou não. Nada vai para o mercado sem ter esses testes de aplicação. Então, o bom da gente desenvolver esses

projetos em parceria com as empresas é isso: eles já estão inseridos nesse mercado e eles já conseguem testar isso em um ambiente relevante. Inclusive, a gente está em um projeto agora de encapsulação de outro material, de material com uma característica chamada de repelência de insetos e, assim, a gente não tinha todo o *know how*. Então, essa parte de inseto a gente não tem, nós somos químicos, engenheiros de materiais, a gente não tem. Então, a gente buscou dentro do projeto EMBRAPPII uma consultoria de uma pesquisadora. Aquilo que a gente não consegue fazer para realmente testar aquela aplicação, a gente busca fora, busca uma consultoria, ou contrata um terceiro. A gente trouxe uma pessoa que tem doutorado, pós-doutorado nessa temática de lidar com os insetos, para poder fazer esses testes. Realmente funciona nosso repelente? Nosso repelente está funcionando, ou não está funcionando? E, depois de tudo isso, a gente pretende ainda validar isso em um ensaio com humanos; aí é voluntário que vai passar o produto e ver se funciona. Então, toda essa parte de funcionar em ambiente relevante, ambiente real de aplicação, ela é feita dentro do projeto, na medida do possível, antes de realmente, é lógico, antes de isso ir para o mercado. O parceiro vai ter que buscar os registros na ANVISA e tudo o mais. Então, todas essas contestações vão entrar na jogada. Desenvolver o produto aqui não é sinônimo de que ele vai sair vendendo. Ele vai ter que buscar os registros junto aos órgãos responsáveis, seja um APA, seja uma ANVISA.

Entrevistador: aqui é uma parte inicial?

Pesquisador: uma parte.

Entrevistador: esse processo vai gerar um produto?

Pesquisador: ele precisa; vai passar por toda a questão burocrática de lançar esse produto. Então, ele desenvolve aqui, prova o conceito, vê se funciona ou se não funciona e, daí em diante, para se tornar um produto o [Instituto] meio que sai da jogada. Aí é mais uma questão de burocracia da empresa.

Entrevistador: para virar um produto comercial?

Pesquisador: isso.

Entrevistador: eu imagino que deve levar muito tempo.

Pesquisador: leva muito tempo.

Entrevistador: desde a pesquisa aqui até chegar na prateleira do mercado?

Pesquisador: tem muito parceiro que procura a gente não por um projeto de P&D, mas por uma consultoria; é um projeto mais curto, de 3 a 6 meses, para resolver um problema. Então, o parceiro está lá com um produto que funcionava e, de repente, está desandando, está separando fase na prateleira, e ele procura a gente para resolver aquilo sem mudar a formulação. Se ele muda a formulação é mais dez anos para aprovar. Ele procura o [Instituto] para: “olha o que está acontecendo, dá para resolver sem mudar a formulação? O que eu posso fazer? Mudar a estocagem? Colocar em uma câmara quente? Em uma câmara fria? Mudar a ordem de adição dos reagentes? O que eu faço sem mudar a formulação? Porque, se eu mudar a formulação, é 5 a 10 anos de burocracia e tudo o mais para aprovar”. Isso acontece bastante também: tentar resolver o problema sem mudar a formulação para não ter que passar por toda aquela fila de novo. Então, aí já é mais um serviço: a gente entender o problema e tentar resolver. É

bastante P&D também, mas não entra nesse tipo de financiamento da EMBRAPA, por exemplo, que você está gerando um novo produto.

Entrevistador: bom, primeiro, eu acho que também tem que perguntar se se aplicaria no caso da nanotecnologia se é bem conhecida a questão da durabilidade de uma tecnologia que envolva a nanotecnologia. Seria possível pensar isso? De onde veio essa pergunta? Porque em muitos artefatos tecnológicos a empresa coloca ali uma durabilidade, mas ela é programada, não é uma limitação tecnológica. Por exemplo, o próprio celular. É feito para durar x anos, mas não quer dizer que é uma limitação tecnológica; quer dizer que a empresa colocou de propósito isso. Poderia se pensar isso no caso da nanotecnologia? Ou coisa parecida com isso?

Pesquisador: não, porque, assim, a nanotecnologia, na verdade, se a gente for pensar em redução, é o que? Redução da escala de tamanho; você partir de um material em escala macro e reduzir aquilo até ele ter escalas nanométricas. Mas, a constituição, a composição do material, é a mesma. Então, carbono, seja escala macro, seja escala nano, ele continua sendo carbono. Em termos de tempo de decomposição não tem muito por que mudar; muda um pouco em termos de área superficial. Ele tem mais área disponível para ter contato com a atmosfera, por exemplo, com um ambiente agressivo. Ele pode se degradar um pouco mais rápido por conta de área superficial. Então, aquele velho exemplo lá do terceiro colegial do prego e do Bombril: se você deixar um prego na mesa e um Bombril, o Bombril se oxida muito mais rápido porque a área de contato dele com a atmosfera e umidade é muito maior. O material é o mesmo? É o mesmo. Só que o prego, a área que ele tem em contato com a superfície, é muito menor se a gente for comparar com a mesma massa. Você pega 10 gramas de prego e 10 gramas de Bombril, o Bombril vai oxidar muito mais rápido. Se a gente for extrapolar isso para a nanotecnologia, é por aí, só que ainda pior. Você está pegando aquele Bombril e dividindo em pedaços ainda menores. Ele vai ter muito mais contato com a atmosfera, com água. Ele vai se oxidar, se decompor, se transformar em óxido de ferro de forma mais rápida ainda. Então, não porque o material, a composição química mudou. Não. É porque o tamanho dele mudou e ele interage mais com o meio. Então, em termos de durabilidade, pode ser que ela seja reduzida por conta disso.

Entrevistador: mas, aí seria uma limitação técnica, ou seja, não foi proposital?

Pesquisador: não. É técnica.

Entrevistador: mas, por exemplo, no caso de um cosmético, seria possível pensar no produtor desse cosmético colocar ali uma limitação temporal? Por exemplo, um bronzeador ou algo assim, a tecnologia disponível fazia aquilo durar, sei lá, um ano ainda estaria funcionando, mas acrescenta ali um elemento que faz com que aquele bronzeador tenha validade de 6 meses, por uma finalidade comercial mesmo, não por uma limitação técnica.

Pesquisador: ele pode incorporar componentes que façam isso, mas eu não enxergo a nanotecnologia nesse contexto de, assim, vou colocar alguma partícula nano para isso durar menos tempo. Na verdade, eu vejo o contrário. Tem um pesquisador daqui da USP, acho que [nome], talvez o maior nome dentro desse ambiente de nanotecnologia, tem algumas entrevistas, publicação de livros, e um dos exemplos que ele dá da aplicação da nanotecnologia é você utilizar nanopartículas de prata em embalagens. Então, você aumenta o tempo de vida de uma maçã, por exemplo. Tem até um experimento bem clássico que ele mostra nesses vídeos, que é uma maçã que ficou dentro de uma embalagem comum e uma maçã que ficou dentro de uma embalagem onde você tem nesse plástico incorporada nanopartículas de prata. A prata já é bem

conhecida por ter a ação bactericida de matar esses micro-organismos. Essa maçã nessa embalagem com nanopartículas de prata, ela tem, acho que ele comenta nesse vídeo, um tempo muito grande de existência e que ela não apodreceu, por conta das partículas da embalagem, aparentemente diferente do que se ela estivesse em uma embalagem comum. Ela pode ser utilizada, por exemplo, para aumentar o tempo de vida de um alimento. Então, é uma das aplicações, ou seja, utilizar partículas de um material com propriedade, no caso a prata, que é bactericida para aumentar o tempo de vida de uma maçã. Você consegue consumir ela daqui a uma semana sem que ela tenha se estragado. Você pode incorporar uma partícula que acelera a degradação? Pode. Mas, eu não vejo muito por que um fabricante iria fazer isso. Vai meio contra, meio contraintuitivo.

Entrevistador: não seria uma boa estratégia de mercado?

Pesquisador: não faz sentido. No caso do celular é meio atípico. Realmente, eu, por exemplo, se tivesse um celular que durasse 10 anos, eu não iria trocar. Troco porque realmente ele para de funcionar e é feito proposital. Mas, com exceção do celular e esses materiais eletrônicos que realmente existe uma demanda para que as pessoas troquem, assim, de maneira geral, você quer que o seu produto dure mais.

Entrevistador: cada vez mais me parece que produtos disponíveis para as pessoas incorporam a nanotecnologia. Daria para se pensar que esses produtos exigiriam algum conhecimento específico dos usuários? Fazendo um paralelo com o que já aconteceu no passado, em relação, por exemplo, às baterias de celular, o descarte. As pessoas, logo quando começou a aparecer esse artefato, as pessoas não tinham essa preocupação, jogavam em qualquer lugar. De um certo tempo para cá começou a ter uma campanha de esclarecimento para as pessoas: “olha, não pode jogar em qualquer lugar, tenta descartar em um lugar apropriado e tal”. Poderia se pensar em um paralelo como esse para o caso da nanotecnologia? Alguma coisa que precisasse fazer com que as pessoas soubessem a respeito, conhecessem para evitar problema, por exemplo?

Pesquisador: bom, vamos lá. Em termos de composição química isso tem que ter, em qualquer rótulo vai ter. Então, se você tem dentro daquele produto, seja um frasco de um produto, que a partícula esteja em suspensão, em pó, seja lá como for, se a composição daquela partícula for um metal pesado, tóxico, ela vai ter lá os pictogramas que já é de conhecimento, tudo bem, dentro da área acadêmica mais, mas aquela famosa caveira que o leigo, até mesmo o leigo, sabe que aquilo ali tem alguma restrição em termos de composição química. Em termos de tamanho de partícula, não acredito que esse material ele vai ter autorizada a sua comercialização por um órgão responsável caso ele requeira algum tipo de manipulação muito específica. Então, por exemplo, aquilo que eu comentei, a ANVISA não vai aprovar a venda de um cosmético com a nanopartícula contendo lá uma vitamina E que esteja em uma escala de tamanho compatível com o que se conhece em termos científicos. Então, aquela partícula tem lá 20 nanômetros, sabe-se que esse tamanho de partícula é um tamanho que vai ultrapassar as barreiras de epiderme e derme e cai na corrente sanguínea, pode ser um problema. Muito provavelmente, aquilo ali nem é comercializado, porque você, no desenvolvimento desse produto, você vai ter lá, uma das características é distribuição e tamanho de partícula. “Ah, está acima de tanto, que é o valor limite”. Então, vai para frente. Você não precisa nem alertar a população a respeito daquilo porque já está dentro dos valores compatíveis. Então, em termos de alerta da população para utilização, acredito que não, porque o próprio filtro são os órgãos de regulação.

Entrevistador: no caso de ter o uso ali de uma nanotecnologia não necessariamente altera esse cuidado?

Pesquisador: não. Um exemplo clássico é o formol. O formol é controlado, ele pode ter tantos ppm se é para aplicação no cabelo; tantos ppm para, não sei, um tipo de aplicação; em um esmalte pode ter no máximo esse tanto. Isso já é estipulado por lei, o fabricante ele tem que seguir aquilo. Se ele segue ou não, aí já cabe ao órgão de fiscalização, já entra em outro mérito, cabe a reputação da empresa. Você não vai comprar o produto de um fabricante que tem uma má reputação, ou está iniciando no mercado, ou de quem você não tenha certeza de que ele segue. Recentemente saiu a notícia na nossa intranet, deve ter ido para o site do [Instituto] também, vieram várias amostras de produto utilizado em cabeleireiros, que continham formol, e 40 a 50% das amostras estavam acima dos valores estipulados por lei. Então, existe uma lei? Existe. Sabe-se que tem que ser abaixo daquilo? Sabe-se. Estavam acima. Aí entra em outro mérito, de se o fabricante segue aquilo, porque *a priori* ele tinha que fabricar os produtos, fazer uma coleta de uma amostragem e, mensalmente, analisar aquilo para ver se ele está atendendo as especificações. “Olha, esse lote está acima, volta, dilui, refaz”. Aí cabe a questão da qualidade, a gestão da qualidade da empresa. Ela precisa ter de quando em quando amostragens daquilo, ver se está dentro da especificação para poder vender. Ela não pode vender aquilo com formol acima do limite; você está expondo a pessoa que vai lá fazer o tratamento de beleza a uma concentração de formol acima do permitido. Então, é um caso parecido, se você tiver lá uma restrição: “olha, a partícula não pode ser menor que tal tamanho”. O produto foi avaliado e está sendo vendido. Em algum determinado momento a empresa resolveu fazer com uma partícula com tamanho menor. Vai ter que ter uma agência de fiscalização. Então, é um pouquinho complicado controlar, mas não vejo nenhuma especificidade maior do que já existe em um formol, em uma acetona, um álcool, que em determinado momento parou de ser vendido e depois voltou. Não tem nada muito diferente desses outros componentes aí, de outros produtos.

Entrevistador: vou fazer um exercício de pensamento aqui. Você deu um exemplo legal, que foi o caso de fazer uma embalagem que fizesse com que uma fruta durasse muito mais. Mas, culturalmente, nós temos aqui o hábito, por exemplo, você compra lá no mercado as frutas e tal, umas em embalagens, outras não, e essas embalagens são descartadas no lixo. E, se fosse alguma coisa, assim, que, por exemplo, as embalagens tivessem uma vantagem muito grande do ponto de vista da conservação do alimento, mas que tivesse um risco de descarte. Ou seja, vamos vender o produto com essa embalagem com nanotecnologia, só que tem que esclarecer a população que agora não pode mais fazer o que sempre fazia, que era jogar no lixo a embalagem e pronto. Tem que pegar essa embalagem e ter um descarte específico. Daria para fazer um paralelo? Teria alguma coisa que pudesse ter esse risco?

Pesquisador: esse exemplo que eu dei, ele é um exemplo bem lúdico da possibilidade de utilização da nanotecnologia para benefício nosso. A gente costuma utilizar para mostrar: “olha, dá para fazer isso”. Mas, nesse caso específico, eu vejo uma distância entre o potencial de aplicação e a aplicação muito grande por questões financeiras. Hoje em dia todo e qualquer dono de empresa ele quer o melhor, biodegradável, lindo, maravilhoso, mas não quer pagar mais por isso. Normalmente, quando você implementa, por exemplo: “a partir de hoje não vou usar mais copo de polipropileno para tomar café na minha empresa. A partir de hoje vai ser copos de bagaço de cana de açúcar, que são totalmente ecológicos, biodegradáveis, fonte renovável”. Tudo muito lindo até o momento de você pagar por aquilo. Então, um pacote que você pagaria centavos, você vai pagar reais agora. Na hora que pega no bolso, acaba que a implementação não ocorre, a não ser aquelas empresas que realmente, a vida da

empresa é baseada no *marketing* de ela ser sustentável, aí o cara aceita pagar. Recentemente, a gente ficou sabendo que o *Facebook* no Brasil eles utilizam esses copos biodegradáveis e tudo o mais. Então, assim, por quê? Porque a empresa, primeiro, o faturamento é muito alto. Então, tem dinheiro para isso e porque o próprio *marketing* corporativo depende disso. Ele vive daquilo; ele vive daquela imagem de empresa sustentável. Mas, vamos supor que fique economicamente viável fazer embalagem com partícula de prata. Teria que ter uma indicação na própria embalagem ou, não sei, se no mercado, propaganda via site, não sei de que forma fazer isso chegar na população. Deveria ter? Tem, assim como tem para a lâmpada fluorescente; ninguém descarta da forma correta. A lâmpada fluorescente ela tem fósforo, ela tem mercúrio, são os principais componentes, que de forma alguma poderiam ser descartados da forma como é, que é na rua, que é no lixo comum, onde você pode, já num primeiro momento, não só machucar o profissional que recolhe o lixo, como contaminá-lo com mercúrio. Então, esse é um tipo de produto que ele tem pontos específicos de coletas assim como as baterias. Existe a conscientização? Existe. É feito? Nosso país, ele é um pouco complicado em termos de conscientização. O pessoal não consegue jogar nem a bituca de cigarro no lixo, quanto mais “ah, tem prata”; aquele papel é similar ao outro. Então, assim, eu não enxergo que essa dificuldade é por conta do produto da nanotecnologia. Essa é uma dificuldade geral, o pessoal não joga nem o papel no lixo, não é que não é num lixo adequado. Não, não é nem no lixo. Não é que ele tem lá 4 lixos para colocar papel, vidro, plástico. Não, ele não põe em nenhum, ele põe no chão. Então, é “mais embaixo” a questão.

Entrevistador: é, o exercício foi bem longe porque eu queria ver justamente esse ponto, entrar nessa questão mais cultural mesmo. E, que fosse algo que o fato de, a partir de agora, ter uma nanotecnologia, teria que mudar radicalmente um hábito cultural.

Pesquisador: não, eu acho que o hábito cultural ele tem que ser mudado independentemente de ser nanotecnologia ou não. Por exemplo, a prata, não seria um componente que traria maiores problemas. É material inerte, talvez, por estar em escala menor, mas, assim, o problema não é a nanotecnologia. É lógico, você não vai inserir nanopartículas de chumbo, que já é comprovado que é tóxico, na embalagem. É diferente, mas, realmente, teria que ter um aviso, uma conscientização bem maior. Mas, independentemente do que você coloque na embalagem, é uma questão que está mais abaixo, assim, é cultural mesmo. A população, principalmente de São Paulo, eu sou do interior, pensa muito só em si mesmo e naquele momento ela precisa resolver aquele problema, ela está atrasada, eu faço uma caminhada de 15 minutos do meu fretado até em casa, nesse percurso eu vejo pelo menos 15, 20 pessoas jogando cigarro no chão e, assim, a lixeira do lado mesmo. Então, assim, acho que vai além. Acho que a conscientização é lixo no lixo mesmo, não é nem se é nano, se tem chumbo, se tem mercúrio, vai além.

Entrevistador: interessante. Eu fiquei pensando, por exemplo, outro caso: as mulheres que usam lá os cosméticos. Usa, aplica antes de dormir, de manhã se levanta, lava o rosto. Supondo que, por exemplo, acontecesse de ter um produto com nanotecnologia que agora não pudesse lavar o rosto simplesmente, teria que usar, sei lá, um lenço umedecido, teria que gerar uma mudança cultural muito grande de um hábito já consolidado de levantar e lavar o rosto. Não, agora tenho que usar um lenço.

Pesquisador: não, muito provavelmente isso não vai para frente esse tipo de produto, onde você requer algum tipo de cuidado muito específico. A não ser que você coloque lá alguma coisa que vai criar uma irritabilidade, alguma coisa nesse sentido: “olha, se você

lavar direto com água, a água vai interagir com o produto”. E, sei lá, que afete a saúde da pessoa, que afete a beleza dessa pessoa, porque, assim, a pessoa para chegar ao ponto de adquirir um produto desse tipo, ela tem uma preocupação já maior com a sua aparência física, não é qualquer consumidor que compraria. Já estaria disposta a fazer algum tipo de procedimento diferenciado para poder tirar o produto. Então, assim, é um produto bem específico, para uma faixa, uma parcela da população, específica, talvez, até com um poder aquisitivo um pouco maior, no sentido de poder pagar mais por aquele produto, que provavelmente não vai ser barato. Por ter um poder aquisitivo maior não acho que isso ele vai fazer da forma correta. Não enxergo essa relação entre poder aquisitivo elevado e seguir as regras. Não enxergo dessa forma. Mas, mais como um cuidado pessoal, “ah, vai dar algum problema se você não seguir esses passos”, aí acredito que sim. Mas, simplesmente pelo fato de evitar de ir para a natureza, não. Não vai seguir só por conta disso. Então, esse tipo de produto, na área cosmética, que produz, que você requer algum tipo de descarte específico, acho que ele tem muito pouca chance de ir para frente. Então, procura prestigiar matérias primas biocompatíveis, biodegradáveis para não ter essa necessidade. A própria água não tem problema de ir para a pia o material que vai solubilizar e vai embora e não vai causar nenhum tipo de toxicidade. São essas matérias primas que vão seguir para esse tipo de aplicação, se não nem vai para frente.

Entrevistador: já seria retido no projeto?

Pesquisador: antes de começar. Isso aqui não tem como seguir. Então, “ah, eu tenho dois princípios ativos que tenho que usar. Esse aqui funciona muito melhor que este; este aqui funciona também, mas esse é tóxico e esse não é”. Então, mesmo que esse aqui funcione um pouquinho pior, ele entrega? Entrega. É biodegradável? Então, esse aqui. Nem segue o outro, entendeu? Então, não é algo que vai chegar nesse ponto, porque um material que requer um descarte especial nem vai chegar lá na frente.

Entrevistador: a outra questão vai nessa direção, acho que até já foi respondida. É em relação à sustentabilidade dessa tecnologia. Acho que já está respondido.

Pesquisador: sim, sim.

Entrevistador: o próprio projeto já vai buscar isso?

Pesquisador: buscar materiais que sejam compatíveis com a aplicação. Então, é lógico, você tem aplicações. A gente já teve projeto com o setor automotivo que você vai incorporar esses sistemas num automóvel, seja lá que componente for, a preocupação com a toxicidade é menor. É um material que ele não é biodegradável, por exemplo, mas ele vai ser incorporado no carro, nada ali é. Então, essa preocupação é menor. Vai depender muito da aplicação. É uma coisa que vai para o solo? Talvez essa preocupação já aumente. Você não pode, anos após anos, aumentar o teor de um material que não se degrada com menos de 200 anos. Então, muito provavelmente, você vai utilizar outro material; você não vai usar esse, a não ser que a forma como é utilizado permite a remoção e reciclagem. Mas, de maneira geral, com sistemas vivos, essa preocupação já existe desde o levantamento bibliográfico e da escolha da matéria prima.

Entrevistador: bem, a última questão é em relação ao que se costuma chamar nessas discussões de responsabilidade social. Ou seja, alguns autores, por exemplo, dizem que algumas tecnologias aumentam as desigualdades sociais ou coisa assim. Seria possível pensar isso no caso da nanotecnologia?

Pesquisador: não, não.

Entrevistador: pensar, por exemplo, que o uso de uma tecnologia, nessa escala nanotecnológica, o conhecimento produzido nessa área nova, ampliaria desigualdades sociais, desigualdades econômicas, ou coisa assim?

Pesquisador: o [Instituto], pensando em nossa missão, a questão de concurso na entrevista de emprego, qual é a missão do [Instituto]? A nossa missão é aumentar a competitividade das empresas e melhorar a qualidade de vida da população. Essa é a nossa missão. A gente existe para isso. Tem todo o resto, de publicar, a patente, mas tudo, tudo, tudo, gira em torno disso. A gente precisa fazer com que as nossas empresas tenham maior competitividade. Então, seja com ensaio de calibração que a gente fez para ela; então, “olha, eu tenho essa balança aqui, ela pesa, eu preciso que vocês calibrem ela para a gente para garantir que ela está pesando de forma correta”. Então, traz para o [Instituto], o [Instituto] calibra, assina lá um documento, por um ano está válido isso aqui. É uma das coisas que a gente faz. Outra coisa, “olha, eu tenho um produto, o mercado está me engolindo, esse produto está perdendo espaço, eu preciso desenvolver um novo produto”, procura a gente. Eu não enxergo como, seja com nano, seja com micro, seja em outras áreas do conhecimento, novos produtos, inovação, venham a gerar desigualdades sociais. Isso, para mim, a conta não fecha. Se a gente está fazendo com que uma empresa cresça, contrate mais pessoas, ou consiga vender mais produtos e abra novas filiais em outros estados, não tem como falar que isso aumente as desigualdades sociais. Acho que a gente está em um período da história do Brasil onde existe um vitimismo muito grande em termos de “ah, abriu uma empresa e está escravizando o empregado por mil reais, ou o salário é muito baixo, não tem condições de trabalho”. É lógico, você tem que dar condições de trabalho mínimas para o seu empregado, mas eu não consigo enxergar como que um empresário que demora, às vezes, anos para abrir um negócio por conta da burocracia, como que ele pode ser penalizado, culpado por desigualdade social. Ele está abrindo a empresa dele, está dando oportunidade de emprego para as pessoas. Apesar de toda a burocracia do sistema, está tentando, fazendo projeto de P&D, lançando produto diferente, lançando produto novo, se inserir no mapa mundial de tecnologia, não consigo entender como que isso pode aumentar a desigualdade social. Eu acho que tudo o que a gente faz em termos de pesquisa, incluindo a nanotecnologia, é para gerar um produto novo, para aquela empresa crescer, contratar mais gente, abrir novas fábricas e gerar emprego. Então, não consigo relacionar de que forma a nanotecnologia poderia aumentar a desigualdade social. Na verdade, é o contrário.

Entrevistador: talvez, essa questão venha a partir de alguns exemplos históricos que são discutidos nessa perspectiva e dois deles são bem característicos. Um deles é o caso dos transgênicos. Quando surgiu essa ideia dos transgênicos, o grande marketing para usar e plantar era que iria acabar com a fome no mundo: finalmente, agora a gente tem uma tecnologia que vai aumentar muito a produção e vamos conseguir resolver, ou ao menos diminuir drasticamente, a fome no mundo. E, não aconteceu. E, o outro é o uso das células tronco para pesquisas, principalmente na área de cura de doenças. Tinha até, por exemplo, aqui no Congresso, quando foram debater aquela aprovação da lei específica para isso, tinha um pessoal que era cadeirante e chegava lá e dizia: “olha, você está impedindo que eles façam pesquisa para fazer eu andar”. Tinha um apelo e está aí, passados dez anos de pesquisa, e nenhum cadeirante começou a andar.

Pesquisador: é que existe, acho que não só no Brasil, no mundo como um todo, existem diversos interesses envolvidos, não é só a parte técnica. Então, a fome um dia no mundo vai acabar? Não. Não vai acabar, mesmo que, eu acho, que a justificativa ela é válida. Então, por exemplo, a gente conseguiria alimentar todos os 7 bilhões de pessoas

no mundo sem agrotóxico? Eu tenho sérias dúvidas se conseguiria. É legal utilizar? Não, não é. Vai fazer diferença na minha vida? Talvez, faça. Em uma exposição prolongada, a quantidade é mínima, é ppm, talvez quando a gente estiver velho aquilo vai fazer efeito. Mas, eu não consigo enxergar você alimentar tanta gente sem usar o agrotóxico para controlar uma praga. Então, assim, é lógico, aí você pega uma Monsanto que utiliza um glifosato que já é comprovado cientificamente que causa realmente sérios danos, a gente realmente tem que dosar. Nem tanto ao céu, nem tanto ao mar. Mas, existem alguns males necessários para a gente, por exemplo, ter comida para todo mundo. A questão de modificação genética, de transgênicos e tudo o mais, hoje já existe algumas variedades da cana no Brasil que foram desenvolvidas em laboratório que hoje suportam a broca, que é uma das piores pragas que existem. Será que se não tivesse essa modificação, a gente tinha essa produtividade de cana e tinha um álcool que está caro, mas será que não estaria mais caro ainda? Poderia ter uma quantidade menor de cana que sobreviveria nesse período de um ano, dois, três, cinco anos? Então, eu concordo que existe um *gap* muito grande entre a ciência e realmente a população sentir a diferença. Às vezes, já existem muitas respostas, mas que não vêm à tona porque não é economicamente viável; e isso, em várias áreas. Existe muita gente ainda vivendo em cima da indústria da fome, da seca do Nordeste. É muita gente ganhando dinheiro em cima da indústria do tratamento do câncer. É muito dinheiro envolvido na venda de remédios para controlar, mas não curar certas doenças. Só que aí a gente começa a entrar na teoria da conspiração absurda, de “ah, já existe a cura para o câncer só que não veio à tona porque não é interessante financeiramente”. Eu não falo que sim, mas não descarto a possibilidade, entendeu? Então, essas pequenas descobertas que se tornam grandes, pensando em resolver problemas como esses, de fome, de cura para uma doença que mata tanta gente, elas são realmente importantes, mas existe muita coisa além da ciência. Política, interesse econômico, e aí já foge ao nosso escopo. Realmente, não era mais para a gente ter fome na África. Não era mais para ter seca no Nordeste, mas tem. Então, é muito interesse por trás que foge um pouco do apelo científico; já é mais, como tudo no Brasil, política. Do nada surge uma lei que obriga você a usar farol. E, aí? Realmente faz diferença usar aquele farol aceso de dia? Ou existe um vendedor de farol por trás que tem um contato no governo? Então, aí já começa a entrar em outra esfera que a gente não tem nem controle mais.

Entrevistador: você falou isso, me lembrei daquele kit de primeiros socorros. Lembra daquilo?

Pesquisador: vendeu tudo o que tinha para vender, depois “olha, não mexe na vítima; espera o socorro”. Aí obrigaram todas as autoescolas a ter o carro eletrônico, para você fazer alguns testes antes. Vendeu tudo, todas as autoescolas quase fecharam para comprar aquele equipamento; “olha, não é obrigado mais”. Então, é Brasil, eu acho que outros países também são assim, talvez um pouco menos, talvez um pouco mais, mas no Brasil é demais. A gente está aqui porque a gente gosta muito do país, mas é complicado. A gente vê umas coisas que não faz o menor sentido.

Entrevistador: quer falar mais alguma coisa?

Pesquisador: só um parêntese da questão da regulamentação, que realmente eu preciso ler um pouco mais, entender como é que está essas regulamentações. Até é um parêntese de a gente não focar tanto no termo embrionário que eu citei, que eu realmente ainda preciso ver como as regras em termos de nanotecnologia no contexto de sistemas vivos, animais, então para um biocida, em termos humanos e outros termos, onde você não vai ter um contato direto com o ser humano. Eu preciso realmente dar uma olhada como estão essas questões, pegar alguns textos da ANVISA para cravar a informação que eu te falei. Na verdade, talvez seja até uma especulação,

entendeu? Não dá para falar alguma coisa digna de uma publicação com muita certeza, entendeu? É mais isso. Foi interessante.

Pesquisador 2 (P2)

A primeira questão é sobre o projeto, ou projetos, que envolvam nanotecnologia. Fale um pouco do projeto, as colaborações que existem, se puder falar dos custos e quem financia. Essa é a primeira questão geral. Eu sei que tem alguns casos que tem sigilo, não é?

É, na verdade, praticamente todos os projetos, tirando os projetos que a gente tem de capacitação, que é um projeto interno, que o próprio [Instituto] financia, para a gente estudar algum assunto, os demais projetos são junto com empresas. Então, a maioria é com sigilo. Assim, eu posso te dar uma ideia geral.

Sem identificar com quem, mas se puder falar o assunto...

Sim. Um dos projetos que eu participo na área de encapsulação, nanoencapsulação de um fármaco para injetáveis, e eu também estou trabalhando hoje em outro projeto que é relacionado a... também a gente faz nanoencapsulação, mas com partículas *pickering*. Esses são os dois projetos que eu estou trabalhando no momento. Se eu não me engano, um deles é projeto EMBRAPPII em que entra uma parte do [Instituto], uma parte da empresa e uma parte da EMBRAPPII. Esse valor eu não me lembro ao certo qual é a porcentagem para cada um, mas acho que quase um para um, 1, 1, 1. E, o outro, é um projeto diretamente com a empresa, porque nesses dois projetos eu não sou gerente do projeto, eu só participo do projeto.

Eu tinha perguntado, se possível, comentar de custos e as possíveis cooperações, mas...

É, eu não tenho como. E, assim, é um projeto, esse EMBRAPPII, como eu te disse, é o [Instituto], a empresa e a EMBRAPPII. Mas, a EMBRAPPII ela entra só como mais uma agência de fomento. E, o outro é direto com a empresa.

E a duração desses projetos?

Então, um desses está para terminar agora. Ele é um projeto de um ano; é um projeto curto. Esse de encapsulação de fármacos para injetáveis; e, o outro, que é mais relacionado a partículas *pickering*, é um projeto, se não me engano, de 3 anos. Ele começou acho que no ano passado.

Esse, está um pouco fora, mas é curiosidade minha agora, o que são essas partículas pickering?

Você tem, por exemplo, uma nanopartícula e em volta dela você tem grupos funcionais que vão promover uma determinada função para a partícula. Por exemplo, você pode ter sílica na superfície; enfim, tem n possibilidades.

E, poderia aplicar? Por exemplo, qual seria uma aplicação disso?

Então, no caso, quando você deixa a partícula... coloca, por exemplo, sílica na superfície dessa partícula, você está tornando ela mais hidrofílica e aí ela tem uma maior afinidade por... ah, fugiu o termo.

Não tem problema.

Enfim, ela se torna mais negativa, por exemplo, então em termos de potencial zeta, então, quando ele está mais negativo elas tendem a se repelir mais, então, elas não tendem a se aglomerar, enfim...

Ah, elas ganham algumas propriedades?

Ganham propriedades.

Teria como, não sei se é possível, mas enfim, teria como destacar algumas características desses projetos que promoveram uma boa avaliação deles? Ou seja, foram aprovados, certamente foram avaliados, teria como destacar alguma característica deles que favoreceu essa aprovação? Ou eles entram na classificação dos projetos de um modo geral?

Então, um dos projetos, eles estavam querendo trabalhar a questão do ativo, porque o ativo, por exemplo, ele degrada facilmente. Então, eles estavam querendo trabalhar a questão de melhorar a estabilidade do ativo e questão de, por exemplo, uma liberação controlada. Agora, o outro projeto é mais a questão de estudo, de entender um pouco mais, que é um projeto maior, ele tem vários subgrupos, e aí eles querem estudar mesmo essas tecnologias que podem auxiliar no processo na empresa, se é viável, se é funcional ou não, essas tecnologias para a empresa. É mais um estudo mesmo.

E, por se tratar de nanotecnologia, esses projetos têm uma especificidade ou eles também entram nas mesmas características dos projetos de pesquisa normais? O fato de ser em nanotecnologia exige alguma especificidade?

Não, eu não vejo, acho que entra como um projeto normal.

Se pensar, por exemplo, se fosse mandar para a FAPESP, por ser em nanotecnologia, teria que ter algumas características que para outro não seria exigido ou coisa assim?

Não, eu acho que não. Acho que entra como outro projeto comum. Na verdade, eu não sei, eu nunca submeti nenhum projeto para a FAPESP; eu não sei o que é exigido, no caso.

E, tem protocolos específicos de pesquisa por se tratar de nanotecnologia? Ou também entra nos protocolos gerais, por exemplo, de manipulação, ou de testes?

Ah, não, por exemplo, bom, questão de manipulação, a gente tem, como em qualquer área, qualquer laboratório, você tem que usar EPI. Mas, existem alguns testes que são específicos para quando você produz nanopartículas; um deles é você determinar o tamanho da nanopartícula. Isso é, normalmente, uma avaliação padrão quando se está trabalhando com nanopartícula, porque eu posso produzir algo e daí eu tenho que dizer: "como é que eu garanto que isso está nano ou não?" Então, faz-se uma avaliação, por exemplo, do tamanho dela, por exemplo, o teor de sólidos, o quanto eu tenho de sólidos ali dentro daquela formulação, porque isso pode influenciar, por exemplo, quando eu vou aplicar essa nanopartícula em alguma formulação. Eu não posso, às vezes, ter teor de sólidos muito alto. Então, tem que ver quanto que eu posso por; a

suspensão de nanopartícula. A morfologia da partícula, se ela está oval, se ela não está; a questão, por exemplo, a gente consegue promover cortes na partícula e avaliar se eu tenho algum conteúdo lá dentro ou não, porque, geralmente, a gente encapsula com um conteúdo dentro, um ativo e outros insipientes dentro, por exemplo. Então, assim, basicamente, essas são algumas avaliações. Isso que a gente chama de caracterização da nanopartícula.

E, isso tem que prever já no próprio projeto? Ou isso vai se dando com o andar da pesquisa?

Não, tudo isso é previsto antes. Quando a gente elabora uma proposta de trabalho, a gente tem que prever isso. A gente não consegue prever quantas vezes a gente vai fazer, mas, assim, a avaliação das características, tudo, e demais avaliações que podem ser feitas, a gente prevê na elaboração de uma proposta de trabalho.

Já na proposta?

É, na elaboração.

Tentando fazer um paralelo aqui, por exemplo, com as minhas pesquisas, todas as pesquisas no campo da educação, do ensino, tudo o que envolve pessoas, tem que passar pelo comitê de ética. Às vezes, pode ser coisa, assim, simples, não vai ter controvérsias, não vai expor a constrangimentos. Outras não, às vezes, vai entrevistar crianças, fazer vídeos, aí tem todo um protocolo para explicar, justificar. Então, também teria isso, fazendo um paralelo, nos casos de pesquisa em... não só em nanotecnologia, mas em geral?

Sim, sim, a gente tem que prever. Por exemplo, se eu tenho... se eu estou querendo avaliar a questão de liberação, prolongar a liberação de um ativo, avaliar qual é o perfil de liberação, em quanto tempo ele está liberando? Tudo isso tem que levar em consideração. No caso, por exemplo, quando você adiciona uma nanopartícula no caso de um cosmético, é para a pele, então, você tem que avaliar o quanto está permeando daquele ativo, porque você não pode permear muito, mas também não pode não permear, porque senão, não tem a função. Então, tudo isso a gente tem que prever na elaboração de uma proposta de trabalho. Pode ser que, eventualmente, uma coisa ou outra, alguma avaliação ou outra a gente veja a necessidade ao longo do projeto e aí a gente faça, mas, na maioria das vezes, a gente tem que propor antes. E, é como eu te disse, existem essas análises que são meio que padrão em uma pesquisa que trabalha com nanopartícula, porque se não você não tem... se você está trabalhando, produzindo uma nanopartícula que vai encapsular um agente como é que eu vou te garantir que ela está nano? Que tem um ativo lá dentro? Então, é meio que padrão.

Porque, eu imagino, elas só terão algumas propriedades se estiverem na dimensão nano.

Isso, é. Justamente, porque, se não, não haveria talvez essa necessidade de ser nano, poderia ser micro, até mesmo ser....

E ter um custo menor?

É, geralmente, sim.

E, no caso de... bom, tem muitas questões que eu vou fazer que vão parecer questões de leigo e, de fato, são.

Por exemplo, quando eu produzo uma partícula, enfim, tem alguns cuidados que são específicos para manipulação disso? Por que eu imagino que isso também se trabalha em laboratórios com técnicos...

Isso.

Tem protocolos específicos para esse tipo de manipulação, na escala nano?

Então, geralmente, como que a gente trabalha aqui? Sempre a gente adota, por exemplo, o uso de luvas, porque você está mexendo com insumos químicos, então, assim, sempre utiliza luvas. Quando, por exemplo, você trabalha com produto que é volátil, que libera vapor orgânico, você tem que usar máscara. No caso, por exemplo, a gente sempre procura trabalhar em capela, porque se você vai mexer, por exemplo, com algo que seja em pó, você tem que trabalhar com a máscara de pó, em capela. Enfim, sempre procurando manipular em capela, até mesmo as reações que nós fazemos, para a obtenção de nanopartículas é feito tudo em capela, os reatores são todos dentro de capela. Então, tem essa preocupação, assim, de no laboratório sempre estar de avental, porta de segurança, mas, assim, na verdade, não existe nada específico, são os cuidados básicos que a gente tem que ter, independente de estar trabalhando com nano ou não dentro do laboratório.

E, são instalações de acesso restrito?

Sim.

E, particularmente nos casos desses projetos, por exemplo, que tem a participação de empresas, que tem o contrato de sigilo, como é que fica, por exemplo, a divulgação disso para o pesquisador? Por exemplo, para escrever um artigo, como fica? Como vocês conseguem mediar isso? Porque eu sei aqui, assim como toda Universidade, tem que publicar. Como vocês conseguem mediar isso?

Então, aí você tem que conversar com a empresa, para chegar em um acordo e ver, assim, o que eu poderia... Primeiro que a gente tem que usar o bom senso. Bom, isso daqui eu posso, isso daqui eu não posso. Mas, assim, dentro do que eu posso publicar, aí teria que conversar com a empresa, chegar em um consenso e, provavelmente, passar pelo crivo da empresa, depois, quando você escreve, de ela avaliar se isso pode ou não.

Então, teria, antes de submeter um artigo, por exemplo, submeter à empresa?

Sim.

É razoável!

Teria que conversar, alinhar e, mesmo assim, acho que ainda passaria pela empresa.

É comum nesse meio ter esse tipo de trabalho? Quero dizer, por exemplo, como vocês têm que fazer isso aqui, os outros, em outros lugares, pensando em mundo, deve ser similar os contratos e tal.

Acredito que sim.

Como ficam os artigos? Por exemplo, eventualmente você encontra um artigo lá que está divulgando uma tecnologia e tenta replicar e não dá certo? Pode ser em função disso? De eles omitirem algumas coisas em função de contrato?

Eu acho que pode ser. Porque, assim, eu nunca tentei reproduzir um artigo na íntegra, mas conheço pessoas que tentaram reproduzir e não conseguiram, às vezes, chegar no resultado que menciona no artigo. Mas, assim, o que eu observo lendo, que a gente tem que ler para dar uma pesquisada, que, algumas vezes, algumas coisas são omitidas, nem tudo está claro. Então, uma quantidade de alguma coisa, e é nessa quantidade que você, às vezes, não consegue chegar no que se espera.

Isso que seria “o pulo do gato”.

É, por exemplo, ele pode falar: “ah, eu trabalhei com o reagente tal e tal...” mas, ele não fala, ele coloca uma certa quantidade, mas não fala qual é essa quantidade, então, você teria que ficar testando.

É uma omissão proposital?

É. Eu já vi artigo assim, que não te fala a quantidade que ele pôs. Ele fala o que ele colocou, mas ele não te fala a quantidade, como também já vi artigo que também não fala o que é.

Eventualmente, algum processo.

É. Sempre omite uma coisa ou outra.

E pode ser em função até da imposição do pagador?

Pode ser. Ou até mesmo, às vezes, alguma coisa que, algum projeto que gerou uma patente, está aguardando, também não pode divulgar.

É uma coisa interessante. Eu, por exemplo, na minha área não tenho isso. A gente pode publicar abertamente os resultados. Quando eu conversei com os primeiros colegas aqui, eles comentaram isso. É claro, é óbvio, mas como não sou da área não tinha pensado a respeito e eu fiquei curioso para saber isto: como é feita essa mediação entre manter o sigilo e publicar, que é uma coisa exigida?

É.

Imagino que seja também aqui.

Sim. Aqui a gente também tem umas metas de publicação.

É nossa “moeda”.

Não sei se é tanto quanto na Universidade, mas a gente tem meta de publicação também.

É, eu imaginei.

A impressão que a gente tem é que, como a nanotecnologia é uma coisa nova, muito recente e vai lá no muito pequeno, a impressão que dá é que ela é ultraespecífica, quer dizer, ela vai fazer uma única coisa lá, uma única aplicação. Mas, parece que é o contrário. Eu tenho ouvido que é o contrário, ela é polivalente.

Você consegue aplicar ela em várias áreas.

Isso, em áreas até diferentes. É isso mesmo?

É. Assim, até mesmo como eu vejo, por exemplo, aqui o laboratório de [nome], que é onde eu trabalho. Na verdade, ele acaba sendo suporte para várias outras áreas na questão de projetos. Por exemplo, um projeto no laboratório de corrosão, em que ele quer melhorar alguma característica, enfim, de algum material, ele pode se utilizar da nanotecnologia para criar uma nanopartícula, enfim, pode ser aplicada lá e que pode garantir para ele aquele resultado. Também, o que é comum aqui, bom, na indústria cosmética, farmacêutica, isso é normal. Na área, não me lembro se na construção civil, mas isso há possibilidade. Enfim, a gente acaba atuando mais como uma área de suporte. Não vou dizer que de suporte, mas a gente consegue atuar em projetos junto com diversas áreas.

A partir de um conhecimento só pode ser aplicado em várias áreas?

É. A necessidade de melhorar alguma característica, por exemplo, de um plástico. Sei lá, vai melhorar a característica de um material plástico que é utilizado na indústria automotiva, pode ser que a gente consiga trabalhar em conjunto, gerando, por exemplo, nanopartículas com características específicas que aí você aplica essa nanopartícula em um material plástico, enfim, antes de produzir. Aí entra conhecimento de quem trabalha na área de plásticos, e aí você aplica e você consegue gerar um resultado, sei lá, quer melhorar a característica de resistência, ou alguma coisa assim, por exemplo, você pode trabalhar dessa forma.

Então tem aplicações bem diversificadas?

Muito. Muito. Com tintas também. Enfim, tem muitas coisas.

A partir de um conhecimento básico? Básico não no sentido de simples, mas de base para pesquisa para outras áreas?

É.

Essa é uma questão que aparece muito até em canais de divulgação da ciência e da tecnologia, que é um pouco a questão dos riscos. E, no caso da nanotecnologia, a pergunta é esta: até que ponto nós temos o controle dessas nanopartículas? Até que ponto a gente pode afirmar com certeza que elas vão fazer exatamente aquilo que nós queremos que elas façam e só aquilo que nós queremos que elas façam? A gente tem esse controle já?

Então, existem algumas análises que podem ser feitas que a gente consegue avaliar isso. Como eu havia comentado com você, por exemplo, se eu quero promover uma liberação controlada de um determinado fármaco, eu tenho como avaliar, fazer uma análise, que a gente chama de perfil de liberação. Por exemplo, eu consigo avaliar por quanto tempo ele libera e como que é a curva de liberação dele. Então, assim, a gente consegue garantir, por exemplo, que ele está tendo a função dele. Eu acredito também que pode ser que, dependendo da aplicação que ele venha a ter, você não consiga controlar.

Por exemplo, pensando assim, fazendo um ensaio aqui, se eu tenho lá uma cápsula e tem alguma coisa lá dentro, um fármaco, por exemplo, que eu quero que essa capsula vá até uma célula e libere esse fármaco lá...

Específica para a célula. Por exemplo, pensando no corpo humano?

Isso.

Um fármaco encapsulado que vai ter que atingir uma célula e atuar lá?

Isso.

Eu acho que eles conseguem. É que eu nunca trabalhei com fármacos, por exemplo, que eles têm atuação sítio específica, que a gente chama. Mas, o que eu já ouvi falar, que você consegue produzir essas partículas e colocar na superfície como se fosse um, não é um antígeno, mas você consegue colocar na superfície moléculas que vão ter afinidade por aquela determinada célula, pelas moléculas da célula determinada.

Vai grudar lá naquela célula?

É. E, aí ela vai... agora, como eles monitoram isso eu também não sei dizer. Mas, óbvio que deve ter algumas no meio do caminho que não devem chegar lá, mas...

Pois é. E, essas que não chegam? Tem alguma indicação de que pode ter algum risco, alguma coisa? É discutido isso ou ainda não está nesse nível o conhecimento que a gente tem?

Então, como eu disse, nunca trabalhei num projeto específico para isso: que eu vou produzir uma nanopartícula, que ela vai ter um sítio específico de atuação. Mas, assim, o pouco que eu li, eu não vi nada mencionando os riscos dessa nanopartícula não atingir o sítio específico o que ela provoca, por exemplo, no organismo? O que ela pode provocar no organismo?

Ainda não está gerando controvérsias?

Eu não estou a par.

Eu fico também pensando o seguinte: supondo que dê tudo certo, que ela vá lá para esse lugar, para essa célula, para liberar. E essa cápsula? Para onde que vai essa cápsula?

Então, uma vez que ela rompe e libera o ativo que está ali dentro, geralmente a cápsula, principalmente se é para uso humano, ela tem que ser feita de materiais que é permitido: biodegradáveis. Ela se degrada e, assim, nada que seja tóxico no organismo. Então, dependendo da aplicação, você tem que estudar, por exemplo, quais são os insumos que eu posso usar, por exemplo, para um fármaco que eu vou administrar via oral? O que eu posso ter de administração via oral? “Ah, esse fármaco é para injetável”. O que eu posso ter injetável que, Intramuscular? Intravenoso? O que eu posso usar de insumos para um fármaco de administração, por exemplo, intravenosa? Então, a gente tem que sempre estar... porque você não pode usar nada que seja incompatível.

É, porque, entrando um pouco nessas divulgações, que normalmente não tem muita relação com o real, da ciência, é um pouco o risco das pessoas... os “robozinhos” nano fizessem lá o que tem que fazer, mas depois eles saem pelo mundo fazendo coisas que não eram para fazer.

É, porque não tem; ainda não se tem muito esclarecido. Por exemplo, você vai produzir alguma coisa e existe uma norma para produzir isso daqui. Existe uma norma. “Ah, eu vou produzir uma nanopartícula”. Mas, existe uma norma. O que eu preciso controlar não tem nada muito...

Essa é uma questão interessante. Mas não tem ainda em nível nacional, ou isso é em nível mundial?

Eu acredito que seja em nível mundial. Não ouvi falar, não.

Mas, está tendo alguma preocupação de construir essas normas ou ainda não?

Não sei te dizer. Eu sei que existem normas, por exemplo, para você caracterizar a nanopartícula, essas coisas existem. Geralmente, as ISOs têm elaborado essas normas e tudo, mas essa questão de segurança, que eu saiba, não tem nada muito especificado ainda.

Talvez, isso que produz esse receio.

É, pode ser que seja.

Interessante, porque, por exemplo, a Europa foi muito cuidadosa com essas coisas. Eles são muito cuidadosos com os protocolos. Bom, uma continuação da pergunta era isso: se há riscos potenciais? Há, então, riscos do uso da nanotecnologia? Pode-se dizer isso? Que há riscos?

Na verdade, a gente não tem nada especificado a respeito. Então, a gente não tem como dizer se tem risco ou não. Mas, assim, o que eu vejo, a minha opinião, você sempre tem que procurar trabalhar com aquilo que é permitido para determinada finalidade. Como eu lhe disse: se eu vou trabalhar, por exemplo, com um fármaco que eu vou administrar, eu tenho que me preocupar com o que eu estou adicionando para produzir minha partícula nano e que não venha a causar nenhum dano.

Eu vejo que tem algumas pessoas que comentam sobre o uso da nanotecnologia na agricultura. E, aí a pergunta é essa: ok, eu jogo lá um produto com nanotecnologia que destrói a praga que eu quero destruir, mas será que ela para por ali? Não vai fazer outras coisas no solo? Isso que eu tenho visto o pessoal se perguntar.

Você diz, assim, eu usei uma suspensão com partícula nano para produzir alguma coisa que vá...

É, vou jogar em uma agricultura qualquer para eliminar uma praga, por exemplo. E, ok, ela funciona, elimina a praga. Mas, e depois? Ela não vai para o solo?

Então, é o que eu te falei, acho que até mesmo, não só para fármacos, mas eu vejo assim, mesmo para a agricultura, pelo menos aqui, a gente tem essa preocupação, dependendo do projeto, a gente tem que sempre ver o que é viável, que não vai causar prejuízo. Por exemplo, nesse caso, você vai produzir uma partícula nano que eu vou aplicar ali. Então, assim, quando ela se romper para liberar o que ela tem de ativo, ela não pode ser prejudicial ao solo. Então, você tem que pensar com o que você vai produzir aquela partícula nano que, a partir do momento que se rompe, libera o que você tem de ativo ali dentro, você não vai estar poluindo o solo.

Mas, a pergunta é se nós conhecemos bem isso? Se a gente pode afirmar que isso que a gente acha que não vai prejudicar, de fato não vai?

Então, geralmente, você trabalha sempre em conjunto com a empresa. Não é um trabalho que a gente desenvolve e depois só chega para a empresa e fala assim: “olha,

seu resultado está aqui”. Então, será um trabalho de parceria com a empresa. Então, por exemplo, se você faz um projeto de desenvolver uma nanopartícula para aplicação agro, você não domina, a gente não domina a área agro. Mas, a gente fazendo um trabalho com essa empresa parceira, eles dominam a área agro. Então, você consegue trocar informações e aí você, por exemplo, consegue: “olha, então, se a gente usar esse produto aqui para fazer a nanopartícula, segundo a empresa que tem toda a expertise na área agro, ela falou que isso aqui não tem problema. Isso aqui não vai prejudicar o solo para ela. Tudo bem? Beleza”. Então, a gente vai fazer. Então, você tem sempre essa troca de informações. A gente sempre fala que é um projeto de parceria mesmo. Que a gente entra com informação, eles também, então, a gente está sempre com informação.

É. Imagino esses projetos interdisciplinares por definição. Não tem como uma pessoa ou um pequeno grupo fazer tudo isso. É muita coisa.

É muita coisa.

E, pelo que eu estou vendo, também conversando com vocês aqui do [Instituto], nesses casos, essas pesquisas que fazem essas cápsulas, a nanotecnologia, na verdade, é para construir a cápsula. O que está lá dentro não é, necessariamente, produto nanotecnológico, ou nanociência?

Não. Geralmente, você cria uma nanopartícula para inserir um ativo, um insumo, alguma coisa dentro, para ter um determinado efeito. Ou, você quer uma partícula que seja sítio específica como no caso, por exemplo, você quer atuar no tratamento de uma célula tumoral. Eu vou ter que criar essa nanopartícula, mas você tem que ter algo na superfície dela que vá ter afinidade pela célula cancerígena.

O remédio mesmo que vai ser levado lá já é conhecido?

Às vezes, já é conhecido.

Não necessariamente tem uma nanotecnologia ali?

Não necessariamente.

Isso é uma coisa que as pessoas não têm...

Algo que já é do mercado, por exemplo.

Você só melhora o transporte dela?

Você só melhora a atuação do fármaco, por exemplo, porque você pode tomar o fármaco. Você quer diminuir uma dosagem. Você pode tomar um fármaco que vai te destruir tanto as células benignas quanto a maligna e aí, se você encapsula e gera essa capsula que vai ter afinidade pela célula maligna, por exemplo, você vai preservar as benignas.

Não vai ser tão agressivo?

Não vai ser tão agressivo ao organismo. E, aí, às vezes, um fármaco, o mesmo fármaco que você pode administrar, você pode encapsular.

A próxima questão, acho que já foi respondida, que eu ia perguntar se a gente conhecia as possíveis consequências da produção e aplicação da nanotecnologia. Mas, pelo que você falou sim.

Sim, é.

Já se tem um bom conhecimento disso? A outra pergunta era, por exemplo, se seria possível, pelo menos em tese, que essa tecnologia fosse usada para fins muito distintos, assim, no sentido moral. Por exemplo, eu posso usar uma nanotecnologia para um insumo agrícola eficiente, mas alguém pode pegar essa mesma tecnologia para fazer uma arma química terrível. Em tese, é possível isso?

Hoje em dia tudo é possível. Mas, assim, quando você estuda; por exemplo, vou desenvolver uma nanopartícula para aplicação para determinado tipo de lavoura, por exemplo, ela é bem específica para isso. Então, claro que pode existir alguém que queira estudar a nanotecnologia para desenvolver algo mais...

Uma arma?

Algum tipo de, não digo uma arma, mas algum tipo de substância que seja nociva à saúde, pode ser que isso exista, não é?

Eu pergunto isso porque nós tivemos na história alguns exemplos disso. Por exemplo, as pesquisas em física das partículas, física quântica, que foi usada para fazer bomba e não era esse o objetivo. No caso da agricultura também, pesquisas em insumos agrícolas foram usadas para virar arma química no Vietnã.

Pois é, o ser humano é imprevisível. Então, se eu te disser que não, a gente não sabe.

Eu mais pergunto porque, de repente, já se comentou isso.

Eu nunca ouvi falar, mas eu não te digo que seja impossível, a gente não sabe até onde vai a mente do ser humano.

A maldade humana.

A maldade e a mente, então...

Essa questão eu não sei se se aplica para o caso da nanotecnologia, mas, enfim, no caso das ciências de um modo geral, existe um conceito mais moderno de quando se decide aplicar uma tecnologia, usar essa tecnologia, existe esse conceito moderno de reversibilidade. Ou seja, antes de aplicar, fazer um estudo em relação aos efeitos e se eles são reversíveis caso não dê certo. Alguns são irreversíveis, inclusive na mudança de comportamento, por exemplo, as tecnologias de comunicação, causam resultados que são irreversíveis. Daria para pensar em algum paralelo com a nanotecnologia?

É que, assim, quando a gente vai aplicar, na verdade, a gente gera e aí a gente faz a aplicação e avalia a questão de eficiência. Na verdade, o que a gente faz? Lógico, você pode ter resultados tipo: “ah, foi eficiente? Não, não foi eficiente”. Mas, em termos de reverter, não consigo...

Bom, em relação à tecnologia de um modo geral, também é muito comum a gente ouvir a tal da obsolescência programada, que é o que? Acho que o próprio celular é um bom exemplo. Quer dizer, haveria tecnologia para fazer um aparato desse durar

mais tempo, mas as empresas colocam uma tecnologia para que ele não dure tanto quanto poderia durar, para manter o comércio e tudo o mais. Um exemplo histórico é o das lâmpadas. Poderia se fazer lâmpadas incandescentes que durariam décadas, mas elas não duram, elas duram horas, é medido em horas. Teria alguma coisa assim também no campo da nanotecnologia? De acrescentar algo propositadamente para ela ter uma validade, não por uma limitação tecnológica, mas por uma imposição comercial?

Olha, eu acredito que não, você gerar um produto que vai ter uma viabilidade menor do que ele poderia ter, eu acredito que não. Você pode estudar para, tipo, vamos supor, você fez um projeto, no momento, o que eu consegui chegar foi nisso. Por n razões, o projeto tem um valor específico, ele tem um prazo específico que não é suficiente para que você fique muito tempo estudando a respeito do assunto. Então, assim, pode ser que em um determinado projeto eu consegui chegar nessa nanopartícula para aplicação que me deu isso de resultado. Mas, supondo que você possa ter mais tempo, se você tivesse mais tempo para você continuar estudando, você poderia vir a obter uma partícula que te dê um melhor resultado. Isso pode acontecer. Mas, aí é questão de tempo, de prazos, de projeto, valores envolvidos. O projeto, então, eu vejo dessa forma. Não que a gente vá fazer, por exemplo, na área de nanotecnologia você vai gerar algo que, “ah, não vamos fazer assim, porque, se não, desse jeito não vai interessar para o cliente, por exemplo, não vai trazer muito lucro para ele”. Não vejo dessa forma, não.

Por exemplo, qualquer produto que a gente compra tem uma validade, mas essa validade, elas são, às vezes, muito mais por uma degradação natural do que por uma imposição, quer dizer, se pensar, por exemplo, em um bronzeador, qualquer coisa assim, um protetor solar, que eu estou pensando alguma coisa para pele, que, por exemplo, duram dois anos, mas por limitação química, possivelmente...

Sim, degrada o ativo. O filtro vai degradando.

Mas, poderia, por exemplo, a empresa produzir algo que colocasse ali uma duração? Não, normalmente duraria dois anos, mas eu estou acrescentando aqui algo para que dure um ano. Se a pessoa não usar em um ano, ela tem que comprar outro.

Eu nunca vi algo na nano que fosse com esse objetivo, de diminuir. A gente sempre vê algo, assim, pelo menos nos projetos, de tentar aumentar a eficiência de determinado ativo, de um produto, até mesmo aumentar a validade dele.

Ainda não se depararam com coisas desse tipo?

Não. Mas, isso existe, não é?

É, pelo menos é razoável imaginar que possa existir. Em algumas tecnologias isso é comum. Como eu falei, esses artefatos, carro...

Mesmo utensílios domésticos. Antigamente, eu lembro que minha mãe falava assim: uma máquina de lavar, imagina, vinte anos. Hoje, a minha, eu tenho uma que já tive que trocar, coisa de nove anos ela quebrou. Não funciona. Aí tinha que trocar uma pecinha que o cara falou assim: então, a pecinha, uma pecinha simples, só que o fabricante dessa máquina, ele acoplou essa peça em uma peça maior e todo o conjunto sai 800 reais. Eu falei: moço, 800 reais eu compro uma máquina nova. É, justamente, acho que já é para fazer isso, porque 800 reais para trocar uma pecinha? A pecinha deve ser o que? Vinte reais! O cara acopla em uma peça maior, quer ganhar mais dinheiro ou, então, a pessoa desiste de arrumar para comprar uma máquina nova.

Isso é uma obsolescência programada.

É.

Tem gente que pesquisa isso, e eles mostram que é comum isso nos artefatos tecnológicos.

Muito. Muito. As coisas duram menos.

Não é que vai estragar tudo, algumas coisas são propositadamente colocadas para ter uma duração.

É bem isso mesmo.

Isso das coisas antigas durar bastante tempo é bem comum.

Essa é uma questão que também aparece muito nas tecnologias de modo geral e eu queria ver se também acontece na nanotecnologia, que é a questão da compreensão dessa tecnologia pelos usuários. Ou seja, poderia se pensar em algum produto que envolva nanotecnologia e que exigisse que os usuários compreendessem essa tecnologia minimamente? Seria possível pensar nisso? Talvez, um paralelo possa ser com os próprios celulares, por exemplo, com a questão das baterias, ou as baterias comuns. Antes eram descartadas, assim, as pessoas jogavam no lixo, de um tempo para cá se começou a fazer um trabalho de conscientizar que não se pode jogar em qualquer lugar, que tem que descartar em lugares específicos, em função dos compostos que tem e tal. Tem algum paralelo com a nanotecnologia? Com alguns produtos que envolvam essa tecnologia que teria que ter alguns cuidados assim?

De descarte, essas coisas, você diz?

É, que teria que educar as pessoas especificamente para aquilo? Que, por exemplo, quando não existia o celular, não tinha necessidade das pessoas saberem das baterias. Passou a ter o artefato, as pessoas passaram a ter que ter esse conhecimento de que não podia jogar em qualquer lugar. Teria algum paralelo no caso da nanotecnologia? Algo do tipo, olha, agora esse bronzeador aí tem nanotecnologia, então, não pode, sei lá, ficar lavando o rosto em qualquer lugar, tem que passar um produto tal; algo que mudasse o hábito em função de ser uma nanotecnologia.

Sim. Por exemplo, indo para a parte de cosméticos, essas coisas. Assim, eu nunca vi nada a respeito disso, de ter que fazer uma conscientização, como você disse, “ah, evitar de descartar”, enfim. Eu vejo que a indústria, na indústria farmacêutica mesmo, independente de ser nano ou não, medicamento quando está vencido, não usa mais, você teria que levar na farmácia; as pessoas jogam tudo no lixo de casa, ou pelo ralo, quando é líquido. Então, assim, é difícil. Mas, por exemplo, já vi shampoos que usam nanopartículas. Na verdade, não é nem nano; eram picopartículas. Eram picopartículas, e é para lavagem normal. Então, assim, na verdade, o que eles querem é vender mesmo. Se precisa de algum tratamento, algum cuidado, geralmente, o que eles falam? O apelo é “olha, isso aqui tem tecnologia nano”. Isso daqui vai melhorar, vai durar mais, vai demorar mais tempo, vai ter uma liberação por mais tempo, se a pessoa aplica na pele, não sei o que. Mas, assim, não vejo que essa questão que o cuidado seja uma coisa que seja necessariamente obrigatório. Porque, se você desenvolveu uma partícula nano para uma aplicação no organismo, você teve todo um cuidado de estudar, ver o que você pode estar utilizando, que seja, por exemplo, biodegradável, porque você faz uma partícula nano, você não quer que ela dure muito tempo. Você

quer que ela dure o suficiente para, sei lá, eu quero que ele tenha uma liberação. Vou fazer um creme com uma partícula nano que, em vez de passar três vezes no dia, eu vou passar só duas no mesmo dia. Então, ela tem que ter aquela durabilidade o suficiente para passar duas vezes no mesmo dia. Eu não quero que ela dure muito tempo. Então, assim, quando você estuda e faz esse tipo de estrutura, você leva tudo isso em consideração. Então, geralmente, você trabalha com produto que é biodegradável, que vai ter uma certa durabilidade, porque, se não, você não tem a ação da sua partícula. Você não vai conseguir liberar o que você tem ali dentro que é o seu ativo. Então, assim, essa questão de ter uma conscientização com relação a cuidados, enfim, geralmente não se tem.

Essa do shampoo eu não tinha visto falar ainda que existem partículas pico...

Já faz tempo. Se eu não me engano, acho que era da [marca] que eu vi. Eu não me lembro se era shampoo ou se era um creme de tratamento da [marca]. E, vem lá tecnologia pico.

E, aí a questão que aparece é essa: será que esse conhecimento que se tem é suficiente para garantir que isso aí, quando você lava e que entra para a rede, se isso não causa nenhum problema?

É, então, eu penso...

Se cria lá uma superbactéria, um supervírus, qualquer coisa assim.

Acho que não, porque para produzir uma nanopartícula a gente usa insumos químicos, geralmente bactéria não gosta muito de insumo químico. Mas, eu acredito que, por exemplo, nesse caso do creme pico, a liberação do ativo seja pelo massagear. A pressão, você rompe a partícula e libera o ativo, e o ativo, muitas vezes, já é um sal, algum ativo catiônico que já se usa em condicionador e creme que o cara só encapsulou para chegar nos fios e atuar melhor nos fios. Geralmente é algo que ele já aplica.

Ah, sim. O produto em si não é tão revolucionário, mas é a forma de fazer chegar no cabelo, por exemplo?

Isso. É.

E, aumenta a eficiência por causa disso?

Ou de permanecer por mais tempo ali. E, eu não sei, eu nunca comprei, só vi propaganda disso em uma embalagem e foi bem rápida. Mas, sei lá, às vezes, a pessoa passa, a estrutura fica aderida por ela ser pequena, quanto menor a estrutura, maior a área de superfície, ela fica ali, sei lá, em contato com a luz ou sol, a partícula se rompe e libera o ativo. Talvez, você tenha uma eficiência melhor do produto.

Mas, não tem, por exemplo, uma preocupação se eu pego um composto desse, lavo o cabelo e tal, ele não vai ter um poder de penetração na pele muito maior, por exemplo?

Então, você tem que avaliar isso. Isso você consegue avaliar através de um teste que a gente chama de permeação e retenção cutânea. Geralmente, a gente faz para cremes, que você tem um equipamento, você tem uma solução em uma célula que ela fica em agitação. Essa solução, ela tem o pH próximo do sangue e aí você coloca uma membrana de pele mesmo ou uma membrana sintética, ou uma pele de orelha de

porco, põe o seu produto com a nanopartícula em cima e aí vai fazendo coletas de tempo em tempo e vendo quanto que permeou, se permeou, quanto permeou de ativo. E, aí você consegue ver também quanto que fica retido nas camadas da pele. Isso você tem como avaliar também. Fica mais retido na superfície? Fica mais na epiderme?

É, porque, às vezes, a gente é surpreendido. Agora mesmo, ano passado, teve no Congresso a liberação de um insumo agrícola, que é sabido que faz mal, mas o Congresso resolveu liberar. Às vezes, a gente é surpreendido com essas decisões.

Mas, assim, o que eu vejo, assim, o que eu vejo de trabalho da nanotecnologia na área de agro é justamente para você deixar de usar os defensivos agrícolas e começar a trabalhar mais com a parte biológica encapsulada. Por exemplo, encapsular um passivo, encapsular uma bactéria que come determinada praga. Então, você trabalha dessa forma, de forma que você não precise usar o defensivo agrícola, deixe de usar o defensivo para usar um tratamento mais biológico. Assim, esses são os trabalhos que eu vi na área de agro.

Mas, tem como saber, por exemplo, no caso aí de uma bactéria, por exemplo, matar uma lagarta, ok, ela mata a lagarta, mas e depois essas bactérias? Não vai virar outro problema?

Mas, aí tudo tem que ser estudado, para ver o que ela pode afetar no ecossistema.

Essa questão também acho que já foi respondida. É a questão de se esses projetos são sustentáveis? Ou seja, se a aplicação de uma determinada nanotecnologia é sustentável? Isso na própria avaliação do projeto já...

Sim, é. Geralmente, a empresa que solicita o projeto, ela tem toda essa avaliação de risco. Ela sabe quais são os riscos, se é viável ou não. Eu acho que antes de aprovar ela já faz toda essa avaliação. Ela já faz toda essa avaliação de risco.

Eu imagino que sim. Eu estou tentando achar aqui um paralelo no caso das tecnologias de modo geral, que tem algumas tecnologias que, apesar de serem eficientes, elas não são sustentáveis, quer dizer, se todo mundo tivesse acesso a essas tecnologias, os recursos acabariam muito rapidamente.

Ah, tá. Entendi.

Historicamente, eu li um pouco sobre história da nanotecnologia, mas não conheço em profundidade, mas os primeiros projetos lá nos Estados Unidos de aprovação dos protocolos em nível governamental, o grande marketing era a questão ambiental, de que iria precisar de muito menos recursos naturais para produzir coisas, já que você poderia fazer de baixo para cima. Antes, a construção de qualquer artefato era de cima para baixo, perde materiais. A primeira apresentação da nanotecnologia lá foi o contrário: olha, agora conseguimos construir de baixo para cima, a gente usa exatamente o que a gente precisa.

Eu estava pensando nisso, você estava falando... Por exemplo, quando você encapsula um fármaco para um determinado tratamento, às vezes, através da nanotecnologia, desse fármaco nanoencapsulado, às vezes, você consegue diminuir a quantidade de ativo necessária para comprar e fazer aquele tratamento.

Porque aumenta a eficiência?

Aumenta a eficiência.

Faz um pouco de sentido, então, esse marketing?

Sim. Você consegue mesmo reduzir.

Bom, a última questão é em relação à responsabilidade social. Ou seja, existem algumas tecnologias que podem gerar, podem aumentar, por exemplo, desigualdades sociais, para as pessoas que têm acesso e as que não têm. Teria alguma coisa também em relação à nanotecnologia? Poderia ser feito algum paralelo?

Eu acho que, assim, por exemplo, você tem um produto com custo x, se você vai agregar nanotecnologia no produto, é bem provável que você tenha um custo um pouco diferenciado, mas eu acho que essa diferença não é uma coisa muito grande.

Uma coisa que tende a diminuir com o tempo?

É. Você consegue produzir nanopartícula em escala. Não é aquela coisa, assim, eu só produzo em escala laboratorial, então, para eu fazer determinada coisa eu vou ter que produzir muitas vezes e isso encarece. Não, você consegue fazer em escala industrial. Então, às vezes, você pensa assim: tem um custo para gerar a nanopartícula. Mas, supondo, se você está economizando a questão do ativo que você vai usar. Vou fabricar um comprimido, eu uso, sei lá, 100 gramas de ativo. Se eu usar uma nanopartícula com o ativo eu terei uma eficiência maior e, supondo, eu vou começar a usar 50 gramas. Então, assim, no fundo, acho que acaba se balanceando. Eu diminuo aquela quantidade de ativo, mesmo que eu esteja entrando com uma nanopartícula e tenha um custo em cima disso. Então, acaba, às vezes, se balanceando e isso não gera um custo adicional que seja expressivo; que vá beneficiar somente quem tem um poder aquisitivo.

Acho que você tocou em um ponto importante: já se produz em escala.

Sim. Em escala industrial. E, aí você tem toda essa economia no processo. Eu vejo, assim, pensando na indústria farmacêutica, o mais caro de um comprimido é o ativo que você põe, que é o que vai fazer o efeito. Uma vez que você encapsula o ativo e eu consigo trabalhar com uma quantidade menor de ativo, para ter a mesma eficiência, ou até melhor, eu tenho uma economia. Por mais que aqui eu esteja utilizando outros incipientes para produzir essa nanopartícula. Às vezes, ela se equilibra.

Certamente, essas grandes empresas bioquímicas já devem estar trabalhando com isso.

Hoje em dia, acho que essa parte de nanotecnologia está bem divulgada eu acho, tem bastante coisa. Assim, o que eu vejo, que eu fico um pouco triste, que quando, às vezes, eu vou em algum congresso, simpósio, você vê tanto trabalho na área de nanotecnologia para medicina, enfim, para você produzir fármacos que vão ter uma ação melhor, mais específica, e aí você fala assim: “gente, mas isso não existe na indústria farmacêutica.” Mas, aí você entende que para a indústria farmacêutica não compensa.

Ah, claro.

Por que aí a pessoa sara e não vai mais... qual é o interesse? Dela continuar usando. No ano retrasado eu fui em um simpósio, eu falei: “gente, quanto trabalho legal na área de

encapsular fármaco com agentes tumorais”. Aí você vê e fala assim: “não tem interesse comercial”.

É bem interessante essa sua observação. Mas, as pessoas, digo os pesquisadores, já têm essa percepção? Ou será que ainda não está claro para essas pessoas?

Assim, a maioria dos trabalhos que eu vi eram todos trabalhos acadêmicos, não eram trabalhos, por exemplo, de institutos de pesquisa como o [Instituto]. Quando eu vi lá, eram trabalhos de Universidade. Com certeza, eles têm essa percepção, mas, infelizmente, a indústria farmacêutica não é bom para ela financeiramente, então, aí ela não...

Pesquisador 3 (P3)

A primeira questão que eu coloco é mais geral, que envolve a sua participação em projetos de pesquisa. Tem algum projeto que você poderia falar que você esteve participando ou participou recentemente de pesquisa em nanotecnologia? Falar do que é o projeto, duração, se possível, os custos e formas de financiamento.

Quer que eu já conte do projeto?

Sim.

Bom, a gente tem aqui no [Instituto] vários projetos com empresas, mas também tem projetos de orientação de pós-graduação, de alunos. Eu vou falar desses porque aí a gente não tem a questão do sigilo.

Ok.

Eu posso contar um pouco do escopo. Então, vou contar de um aluno que está fazendo o doutorado agora. Ele fez mestrado sob minha coorientação aqui no [Instituto] e o orientador na química em [Universidade]. E, agora ele está no doutorado também. Desculpa, o mestrado foi no Instituto de Física, agora está no Instituto de Química no doutorado, também o orientador de lá e eu estou como coorientadora aqui pelo [Instituto]. Ele trabalha com o desenvolvimento de nanopartículas magnéticas, por uma rota de precipitação, com cloreto férrico. Faz uma precipitação para formar óxido de ferro, que é uma nanopartícula magnética, ferromagnética, tem uma propriedade de superparamagnetismo, e pode ter aplicações, por exemplo, na área de saúde. Agora, no doutorado, ele está revestindo com polímero a superfície dessa nanopartícula e funcionalizando com um fármaco, um quimioterápico já convencionalmente utilizado para o tratamento do câncer. A ideia é compor o que a gente chama de um dispositivo que tem uma característica de terapia e de diagnóstico. Ele faz o papel de agente de ressonância, fazendo o marcador para diagnóstico, e ele libera, de forma controlada, esse fármaco que está ligado na superfície agindo como terapia. Então, ele tem ambos os papéis. O [nome do aluno], que é o aluno desse projeto de doutorado, ele está indo para o terceiro ano, agora ele entra no terceiro ano do doutorado. Ele trabalhou muito fortemente na síntese lá em [Universidade], no início, e no revestimento com polidopamina, na secagem das partículas de funcionalização com novos revestimentos tipo acrilato aqui no [Instituto]. E, a gente também tem uma parte prevista no trabalho que é avaliar a citotoxicidade, a segurança biológica do uso dessas partículas. É um projeto de doutorado, ele recebe bolsa FAPESP, que o projeto foi aprovado pela

FAPESP, então deve ser um projeto de 39, 40 mil reais ao todo, do somatório da bolsa, mais valor de reserva técnica. Mas, é claro que tem o aporte grande de infraestrutura do [Instituto], assim como da Universidade. São coisas que a gente não contabiliza na íntegra nesses projetos, mas eles já estão ali, além do hora-homem dos orientadores, meus como do professor também que está envolvido. Então, é difícil falar em termos de recursos desse projeto em si, depois eu cito outros exemplos. Vou citar mais um aluno, que é o [nome do aluno], que está ingressando agora. É orientado de um professor da [Universidade], trabalha com produção de moléculas de RNA silenciador, para aplicação, diversas aplicações, agro, ou até na saúde. E, no trabalho do doutorado dele, ele vai encapsular esse material genético, essas moléculas de RNA silenciador, que é um silenciador de um gene específico de uma doença, ele vai encapsular em uma estrutura ou polimérica ou dendrímica. Então, ele vai trabalhar com algumas rotas de encapsulação, que também sou eu que estou orientando aqui no [Instituto], então, que a composição de uma nanopartícula contendo esse material genético encapsulado. Hoje ele também tem bolsa CNPq e recebe a bolsa parcial do [Instituto]. Tem a reserva técnica do [Instituto], tem a reserva técnica do CNPq, e ele vai trabalhar na síntese das partículas assim como nos testes biológicos dessa partícula para entender a aplicação. Dei dois exemplos de alunos de pós-graduação, um que está mais para terminar, outro que está começando agora. Tem outros, tem um que está defendendo a tese agora, tem outros exemplos, mas mais para ter um panorama. Um outro exemplo de um projeto com empresa, a gente fez um projeto interessante com quatro empresas do setor cosmético, que era um consórcio. Elas financiavam o projeto, foi um projeto de 2 milhões e meio, com duração de 21 meses. A gente desenvolveu rotas de encapsulação de princípios ativos cosméticos. A gente trabalhou com uma rota hidrofílica e com uma rota hidrofóbica, ambas geravam nanopartículas que poderiam ser incorporadas em formulações cosméticas, para tinta de cabelo, produto para a pele, hidratante, skincare, diferentes aplicações. Então, o projeto de 21 meses, tinha uma equipe grande, da ordem de 12 pessoas, de pesquisadores e técnicos envolvidos do [Instituto], 15 no total, se não me engano, mais as pessoas das empresas, pelo menos dois de cada empresa, do time técnico. Foi um projeto bacana que a gente pode escalonar, transferir a tecnologia para a empresa, então a empresa produziu alguns lotes na planta, no site produtivo, a gente chegou a produzir em escala, foi para uma segunda fase que daí era individual produzindo em escala já em plantas produtivas essas nanoestruturas. Gerou 4 patentes esse projeto, e é isso, de forma bem geral, sem entrar muito no campo técnico, que esse é o intuito, não é?

Sim. Muito provavelmente, algumas perguntas que eu vou fazer aqui vão ter um caráter meio leigo, às vezes. As questões podem levar a algumas abordagens leigas. Esse último projeto, a nanotecnologia, em que melhoraria a qualidade desses produtos?

Então, tem um aspecto de trabalhar a compatibilidade dos princípios ativos na formulação, olhando para o aspecto de encapsulação. Você pode, com a partícula, encapsular e, de certa forma, isolar um componente ativo de outros que estão presentes na formulação e impedir que ele se degrade. Você também pode liberar o princípio ativo de forma controlada para o meio. Então, mediante um gatilho de aplicação, pode ser a temperatura, o pH, pode ser a presença de uma enzima, você faz com que aquele ativo que está encapsulado dentro da nanopartícula seja liberado de forma controlada. Então, você cria um perfil de liberação controlada, dose sendo liberada de forma progressiva. Você também pode trabalhar a questão da estabilidade química, não só dos componentes da fórmula, mas com relação à degradação externa. Por exemplo, vitamina se degrada muito rapidamente, então fazer uma nanoestrutura revestindo, e aí no nível mais molecular, e menos macro, menos macroscópico. Você trabalha bem no aspecto molecular, fazendo uma espécie de revestimento, então, um sistema de

proteção, você aumenta o tempo de estabilidade química daquele componente ativo. Então, são diferentes formas de agregar valor na formulação, além da questão, principalmente em cosméticos, a gente vê a questão da textura, a questão estética da formulação, que a gente fala, a elegância cosmética, que é conferir para o produto um sensorial mais agradável. Então, uma textura, melhoria de cor, melhoria de performance do produto. Um outro ponto, talvez, o quinto, que seria interessante, é a permeação cutânea. Você consegue modular a permeação através das camadas da pele de princípios ativos que podem ter ou muito boa permeação e você quer retardar, ou permeação muito ruim, fica muito retido na superfície e você quer que ele penetre para uma camada mais profunda, dependendo da nanoestrutura que você trabalhar, você consegue melhorar esse perfil. São possibilidades de incremento que eu dei desses produtos.

Ainda no caso desse último projeto que foi financiado por um grupo de empresas, esse valor é considerável? Porque, às vezes, as pessoas não têm noção se é bastante, é pouco, é razoável.

Esse foi um projeto com recurso EMBRAPPII. O [Instituto] conta com unidades EMBRAPPII. Foi um projeto em parceria. Um terço do projeto foi o [Instituto] que pagou, um terço foi o recurso EMBRAPPII, e o outro terço foram as três empresas. A gente tem projetos hoje da ordem de alguns milhares, de 200, 300 mil reais, e tem projetos de alguns milhões. Tem um projeto hoje de 24 milhões. Para projeto de P&D, demanda investimento? Sim. Mas, demanda também a questão... o tamanho do projeto é que dita muito o valor, o número de pessoas envolvidas, o escopo de atividades. Então, pensar em uma tecnologia disruptiva, pensar em um produto chegando próximo de mercado, que é trabalhar o escalonamento, trabalhar os testes *in vitro*; a gente está falando de uma aplicação humana, então, você tem que ter uma segurança biológica, testes *in vitro*, depois testes *in vivo*. Isso tudo, é claro, tem um custo. Mas, depende muito do escopo. Existem moléculas que já são conhecidas, que se você for fazer uma reformulação, talvez seja um pouco mais barato até do que desenvolver um novo material, que você vai ter que passar por uma série de testes. E, existem rotas de processamento, rotas de processos químicos já bem estabelecidos, que a indústria já tem equipamentos, que podem ser mais facilmente adaptáveis e talvez não demandem tanto esforço no processo produtivo. Aí você também acaba economizando de certa forma. Mas, tudo depende muito do escopo.

Tem alguma vantagem de atração de recursos algum projeto que envolva nanotecnologia? Por exemplo, é um termo que atrai a atenção e que pode gerar maior facilidade de financiamento?

Minha experiência de trabalhar nessa área já há alguns anos, desde o meu doutorado que eu defendi, eu trabalho, até um pouco antes, trabalho com nanotecnologia. Talvez, tenha um *delay* entre a minha experiência, não a minha experiência, os pesquisadores que trabalham nessa área e a percepção do mercado. Vou explicar o porquê do *delay*. Assim, minha experiência é que a nanotecnologia ela começou muito fortemente, no Brasil, principalmente lá em 2003, 2005, com as redes de nano, com uma série de financiamento, muito pautada no potencial da tecnologia em trazer contribuições, tanto ao processo produtivo, quanto sobre a ótica de produção científica, mas, principalmente, para as empresas, para a indústria, para a sociedade, para o governo. Então, por isso de financiar esse tema, então, realmente, sempre causou uma... não é boa impressão, mas, assim, tem um apelo, chamativo, porque é nanotecnologia e a gente passou por alguns anos, talvez 2005 até 2010, 2012, talvez, não vou me arriscar a limitar esse período, esse intervalo de tempo, mas por um início de investimentos em que era muito atraído por esse chamariz da questão da novidade, de ser nano e é novo.

Mas, eu acho que, assim, isso Brasil, que já tem um certo delay em relação ao mundo. A gente estudou alguns relatórios de mercado de desenvolvimento na Europa, nos Estados Unidos, a gente percebeu isso de forma bem evidente; esses investimentos nesse período, muito atraído por esse movimento. Só que, assim, não é porque é nano que é novo, porque, às vezes, você está mimetizando algo que existe na natureza. Também não é porque é nano que vai ser lucrativo. Às vezes, você está agregando valor no seu produto, mas não necessariamente vai ter impacto em custo. Então, a gente tem que olhar com outra janela, não a janela estreita, olhando para a questão do investimento do recurso, do potencial financeiro que aquilo pode trazer, mas uma janela menos estreita do financeiro e mais aberta para o escopo técnico de entender quais são os benefícios que você tem quando você consegue trabalhar de forma mais precisa manipulando a matéria em uma escala cada vez mais precisa, mais subatômica, mais submolecular, em uma escala inferior. É como uma TV de pixels. Quanto mais se aumenta o pixel, melhor a qualidade da imagem, porque você está diminuindo o tamanho daquilo que você está vendo, dos pontinhos que compõem a imagem do que você está vendo, mais ou menos isso. Quanto mais você diminui na escala de tamanho, mais você consegue fazer combinações, acertar um alvo de forma mais específica, veicular materiais com uma eficiência terapêutica maior, diminuir processos de contaminação do ambiente. Então, são vários fatores técnicos que contribuem para que você tenha uma manipulação mais precisa da matéria. Isso é nanotecnologia. Nanociência é estudar e entender esses efeitos, nanotecnologia é conseguir fazer essa manipulação, esse controle, da matéria e gerar uma aplicação de forma mais precisa. Por que mais precisa? Porque eu estou na escala nano. Então, esse é o efeito que tem que ser reconhecido, entendido, e o valor agregado tem que ser esperado a partir daqui e não porque é nano. Então, vou por nano no meu projeto que eu vou ganhar o recurso, porque aconteceu muito isso. A gente que trabalha em um instituto que atende muita empresa recebe muita demanda pautada nessa expectativa. Muitas empresas chegavam: “ah, eu quero desenvolver um produto nano”. Mas, o que é nano? A empresa nem sempre sabia o que era nano. Ela só queria ter nano no rótulo. E, aí teve uma onda importante na Europa, em 2013, 2014, talvez, que, na Europa principalmente, que é um mercado bem conservador, principalmente para a área de saúde, cosméticos, alimentos, de alguns grupos fazendo algum tipo *nanofree*, sabe? É livre de conservantes, livre de parabenos, livre de nanotec; como se aquilo fosse algo prejudicial, porque a novidade era muito grande. Então, isso diminuiu um pouco essa euforia das empresas até quererem pensar que porque é nano é novo e eu tenho que ter no meu rótulo para sair na frente. Não, eu tenho que entender o valor agregado. E, aí nesse projeto, inclusive, de cosmético, a gente teve uma consultoria, a gente fez um trabalho voltado para isso, depois posso até compartilhar, que mostra que as principais empresas que mais têm patentes e produtos usando nanotecnologia são as que menos exploram o *claim* nanotecnologia, seja no rótulo ou no produto, e são as que mais vendem no mercado, exemplo: L'Oréal. Por quê? Porque ela usa o benefício da tecnologia para ter um produto melhor e o produto melhor simplesmente vende mais. Ela não precisa ter nano no rótulo, porque o que tem dentro da caixinha, a qualidade, e essa qualidade, essa melhoria de performance, ela advém da tecnologia, mas eu não preciso explicitar isso para o público leigo. Porque não é daí que ele vai, então, querer associar o nome da tecnologia. E, aí que eu falo que tem um *delay*. Eu acho que passou um pouco essa onda de querer achar que porque é nano vai ser *hightech*. Eu acho que a gente venceu um pouco isso. Hoje os grupos já têm mais maturidade e aí não só na comunidade científica como no público. Aí que eu falo do *delay*. Eu não enxergo mais isso acontecendo hoje. Eu acho que já tem um conhecimento bem mais difundido sobre nanotec e as empresas, a sociedade, e até a sociedade, a gente passou por um período de possibilidade de geração de uma lei que era bem conflituosa para regulamentar esse mercado de nano e, assim, tinha também uma abordagem muito pautada só em um aspecto, de risco ambiental e pouco esclarecedora sobre a ótica técnica. E, ela não foi

aprovada, essa lei. Então, isso foi desmistificando um pouco o que realmente é potencial risco, o que é ganho. É uma construção. Eu vejo uma evolução da tecnologia, das pesquisas, e entender quais são os benefícios que a nano pode trazer, quais são os riscos. Então, o aspecto nanotoxicológico hoje ainda tem uma discussão na literatura: nanotoxicologia é uma disciplina? Está dentro de toxicologia? Ou é uma disciplina a parte? Porque a métrica de dose, a forma de avaliação do risco e exposição é completamente diferente da toxicologia clássica, porque eu não posso tomar uma métrica por massa, porque aqui o conceito de massa mudou completamente. O que vai mandar é a área superficial, morfologia da partícula. Então, assim, tinha muito uma discussão de nanotóxico estar dentro de toxicologia clássica ou é uma nova disciplina? Então, isso tudo eu acho que está amadurecendo, porque a gente hoje tem vários novos protocolos de avaliação de risco. A gente tem vários ensaios mostrando tanto o potencial quanto o aspecto toxicológico das partículas. A gente já conhece um pouco mais sobre os aspectos de persistência, de degradação dos materiais e isso está ajudando a comunidade científica como um todo a construir uma percepção mais embasada do potencial da tecnologia.

E, por exemplo, esses projetos que envolvem nanotecnologia são apresentados para as agências de financiamento, tem alguma exigência que é específica por se tratar de nanotecnologia? Ou entra no rol dos projetos de desenvolvimento tecnológico?

Para financiamento de projeto?

É. Até foi interessante que você comentou que existe um protocolo de análise de risco e tudo o mais...

Existem na literatura propostas de protocolos de quando você vai trabalhar porque, por exemplo, se pensar em um novo produto, você vai definir uma LD 50, você vai fazer uma ficha de segurança de produto, uma FISP, Ficha de Informação Técnica e Segurança do Produto, para registrar um novo material, um novo produto, e aí você tem uma série de métodos para definir a citotoxicidade, solubilidade, propriedades do material. Se for uma nanopartícula, um nanomaterial, você pode usar os mesmos protocolos? Não necessariamente, porque a métrica de dose é muito diferente. Então você pode ter um material que na macroescala é tóxico, mas na nanoescala não é; ou o contrário. Na macroescala não é tóxico e na nanoescala é tóxico. E, na nanoescala você usar a mesma métrica de dose do material na macroescala é uma dose cavalariça e não necessariamente representa a aplicação. Então, isso precisa ser ponderado para cada aplicação. É bem do universo de nanotoxicologia. Mas, com relação às aprovações, para projeto, acho que depende muito do edital, da demanda, se tem uma característica específica. Mas, para registro de produtos no mercado, principalmente, agro, saúde, se você olhar para as agências internacionais, ou mesmo nacional, a ANVISA, eles pedem que seja detalhado o processo produtivo, que tenha informações de segurança. Não tem um protocolo padrão que você deve seguir se tiver um nanomaterial. Existem propostas. Então, até o pessoal da ABDI, junto com o pessoal da Federal do Rio Grande do Sul, criou um algoritmo binário de uma tomada de decisão do risco daquele material, tem seis classes potenciais. Então, ele começa: é solúvel ou não é? Se sim, caminha por aqui, se não, caminha... Não é solúvel? É persistente ou não é? Se sim, caminha por aqui, se não... E, aí você vai fazer o enquadramento da classe de toxicidade em função daquelas características do material. Se pensar em um material que não é solúvel, que é persistente, que é, sei lá, da ordem de dez nanômetros, porque a gente está falando de nano, pode ter 200 nanos, pode ter 10, é completamente diferente. Pode ter 700 nanômetros, mas aí “ah, não é nano”. Ainda tem essa discussão, mas é submicrométrico. 700 nanômetros é nanométrico; 10 nanômetros é nanométrico. Os efeitos são completamente diferentes. A persistência no meio, a permeabilidade em

membranas, permeabilidade em sistemas biológicos, também é diferente. Então, tudo isso tem um impacto na toxicidade do material. Aí, para produto, não tem um protocolo padrão. Então, existem sugestões e diretrizes na literatura, seja internacional, seja nacional, e para produto eles pedem no mínimo que você demonstre, evidencie, os aspectos de segurança do material, para finalidade de registro, e aí você tem que estar coberto pós testes. Você mostra resíduo, mostra manipulação na sua planta, mostra propriedades do seu produto, mostra aplicação daquilo com relação à citotoxicidade, mutagenicidade, depende muito da aplicação. Se for agro, você tem liberação no ambiente. Como que aquilo vai persistir? Como que aquilo afeta o bioma natural ali de uma plantação ou de um rio? Se for saúde humana, como que aquilo é absorvido pelas membranas? Como que é a depuração desse material? Ele é eliminado ou ele persiste? Ele atravessa a barreira hematoencefálica? Não, ele fica na circulação? Tudo depende do tamanho, se tiver 100 nanômetros, não atravessa a barreira, se tiver abaixo de 50 pode ser que atravesse a barreira. Então, tudo é nano. Na aula de nanotóxico eu costumo mostrar isso, você tem uma partícula de óxido de cério, e ela pode permear muito e ser tóxica para a célula, ou ficar do lado de fora da célula, são duas situações diferentes, só que uma é razoavelmente maior que a outra e as duas são nanométricas. Se eu for fazer um ensaio de protocolização, para avaliar a segurança desse material, em diferentes laboratórios, o primeiro ponto que eu tenho que saber não é a massa do material que eu vou usar, é o tamanho da partícula que eu estou testando. É a carga de superfície, potencial de aglomeração, porque essas propriedades do material vão influenciar o meu resultado, e quando a gente vai para uma análise toxicológica clássica, o principal ponto é saber a dose, saber a massa para você poder fazer os testes e definir. Então, a gente tem que ir varrendo esse universo e dando segurança para aquilo que você está desenvolvendo. Por vezes, as agências regulatórias aprovam sim, mas você tem que mostrar que tem, você, as empresas, os grupos precisam mostrar que tem o domínio sobre as propriedades daquele material, que conhecem, foram feitos testes e têm essa rastreabilidade.

Essa é até uma pergunta que não está aqui, mas me chamou a atenção em outras ocasiões e foi uma coisa que você comentou, porque a gente só vê, ou a gente ouve mais, a expressão nanotecnologia e não muito nanociência.

Sim.

O seu doutorado foi já em...

Em nanotecnologia.

Ah, bom, já é um curso mais aplicado, já é uma área de mais aplicação.

Sim.

Eu vi que alguns colegas, por exemplo, fizeram doutorado em química.

Sim.

Em princípio, seria mais ciência, mas depois trabalham com...

Ah, nem sempre, talvez química era assim. No Brasil começou uma política PNN, política de nanociência e nanotecnologia, e quando a gente fala de ciência é muito estudar os fenômenos, então, por exemplo, o pessoal da física, que estuda a propriedade superparamagnética de um óxido de ferro, “ah, com qual aplicação?” Ele ainda não está vislumbrando a aplicação, ele está mais vislumbrando o entendimento

das propriedades do material. Mesmo na química, sei lá, estudar o diferente ponto de fusão de um material, as diferentes propriedades elétricas de um material em um determinado tamanho de partícula, que é o que acontece com o ouro, ou a propriedade biológica do material quando reduz de tamanho, que é a propriedade bactericida da prata, então prata convencional não é bactericida, mas a nanop prata é. O ouro muda o ponto de fusão quando ele está na escala nanométrica, quer dizer, eu consigo modificar a propriedade do material. Quem é que estuda esses fenômenos? E, aí tem um universo para poder estudar e entender o porquê desses fenômenos. E, aí os grupos que estão muito focados nesse entendimento dos fenômenos acabam sendo mais estes de nanociência. Seria o que a gente diria. E, a nanotec..., mas, não deixa de ser um pouco de nanotecnologia porque você acaba pensando para que essa propriedade, esse fenômeno, pode ter uma aplicação. Para que eu me utilizaria dessa aplicação?

Ao menos um potencial já é vislumbrado?

Um potencial, sim, sim. Mas, não sei se tem essa divisão bem clara, nanociência e nanotecnologia. Mas, que, de fato, existem grupos que estudam mais a parte do fenômeno, sem necessariamente pensar na manipulação do material, porque uma coisa é estudar a propriedade de um material, o potencial magnético desse material, você é da física sabe, outra coisa é saber como que eu vou processar isso em escala. Como que eu vou purificar esse material para que ele seja utilizado como um agente de ressonância? São universos completamente diferentes. Uma coisa é entender o fenômeno, sem estar se preocupando se você vai mover a partícula em um equipamento que não existe e não vai existir industrialmente. Outra coisa é pensar em como produzir aquilo em escala. Aí a gente entra em desafios da engenharia. Aí a gente entra muito mais nessa abordagem da engenharia que, quem está aqui estudando o fenômeno, não precisa se preocupar com isso. Como que eu vou produzir isso? Como que eu vou fazer essa medida? Porque agora eu estou entendendo o fenômeno.

É possível pensar na nanotecnologia como as tecnologias abertas? Ou seja, é possível pensar que, eu nem sei se aplicam muito bem esses termos nesse caso, mas, por exemplo, acho que é mais comum na área dos softwares. Até há um tempo se defendia softwares livres, as pessoas podiam baixar esses softwares e fazer o que quisessem com aquilo. Depois passou a ter outro conceito que eram os softwares abertos, ou seja, não só as pessoas poderiam baixar para usar aquele software como tinham também liberdade de entrar internamente e mudar esse software. É possível fazer um paralelo com nanotecnologia? Ou ainda é uma coisa muito específica, muito fechada? Muito restrita? Ou não tem esse debate?

É, eu não vejo, como paralelo, porque aqui a gente está falando de um material. [interrupção] eu acho que em relação ao software não seria um bom paralelo, no sentido de que aqui envolve a manipulação de um material, da matéria. Na verdade, para construir algo na escala nanométrica, seja funcionalizar uma superfície, uma superfície com nanoestrutura, seja construir uma partícula, mas a gente está falando da manipulação da matéria. Existem vários protocolos, processos, que são de domínio público, então, qualquer pessoa pode ir lá, acessar e tentar reproduzir isso em um laboratório, com os devidos cuidados de segurança, mas não acho que é uma coisa que tem uma parte que é aberta, outra que é fechada, que depois isso vá sendo explorado. Acho que é muito da competência dos grupos desenvolvendo a experiência com cada um daqueles processos [interrupção].

Pesquisador 4 (P4)

A ideia é essa: o tema geral da pesquisa. É tentar entender um pouco esses projetos que envolvem as pesquisas em inovação tecnológica, e uma parte desse projeto é olhar a nanotecnologia, projetos de inovação ou pesquisa em nanotecnologia. Ainda é uma área nova, não é? Então, as questões vão nessa direção: algumas características dos projetos ou das pesquisas em nanotecnologia.

Só para eu ter uma noção, o que o senhor está considerando nano? Que uma das grandes discussões...

Ah, então, talvez seja melhor você me dizer isso, que talvez seja uma informação importante para mim.

É, porque as grandes discussões na parte bibliográfica é justamente o que é considerado nano. Então, tem gente que diz que abaixo de 100 ou 200 nanômetros pode ser considerado nanométrica, ou tem pessoas que, não, a partir de um micrômetro, e tem pessoas que falam, na verdade, o que é consenso é a questão que ela precisa ter propriedades diferentes das micrométricas. Mas, é que existe, não é consenso na literatura o que é nano. Então, uma partícula pode ter 800 nanômetros, se ela tem propriedades diferentes de micrométrica já é suficiente.

Poderia não ter as dimensões, mas tem as propriedades...

É, talvez, assim, eu acho que seria uma coisa interessante discutir.

Sim, sim. É. Nas discussões aí no campo da história da nanotecnologia e da filosofia da ciência e da tecnologia tem já alguma direção para dar um consenso nisso, nas propriedades e no limite das medidas, embora tenha alguns casos em que intencionalmente as estruturas ultrapassam essas medidas, mas as propriedades ainda continuam sendo nano. Um exemplo que é muito comum encontrar são os cosméticos. Parece que as pessoas deixam maior para que ele não...

Ah, sim, para não permear.

Algo assim. Mas não é de fato um consenso.

Tem que ver também o que é verdade e o que é *marketing*. Que o que mais tem também é... desculpa.

Não, ótimo. Essa questão foi muito boa, o que mostra que realmente não tem alguns consensos. Até, por falar nisso, vou até adiantar uma pergunta. Por exemplo, o teu trabalho aqui, você considera que trabalha com nanotecnologia?

Atualmente, não. Mas, sim também, porque eu defendi meu doutorado em setembro. Eu trabalhava com nanotecnologia no doutorado. O projeto que eu comecei, que eu entrei aqui não é nano, eu estou trabalhando na escala micrométrica, mas, até porque, para aplicação não é necessário, mas não tem tanto valor agregado à nanotecnologia. Mas, existem diversos outros projetos, tanto que nós estamos escrevendo; que me colocaram no meio para ajudar usando a tecnologia que eu desenvolvi durante o doutorado. Então, assim, no momento não, mas muito em breve, provavelmente, vou voltar a trabalhar com nano. E, por exemplo, um menino hoje estava pedindo uma ajuda na parte de caracterização de nanopartículas, então, querendo ou não, faz parte do dia a dia.

Claro. Claro. Então, a sua vinda para cá foi em função muito do que você fez no doutorado?

Sim. Eu fiz parte, tem um programa que chama [nome do programa] do [Instituto], e eu fiz parte desse programa e aí eu acabei ficando. Teve uma oportunidade e eu acabei ficando como pesquisadora.

Ah, legal. E, a sua formação então já foi em nanotecnologia?

Foi. Eu sou química e tive poucas, pouquíssimas diria, disciplinas de nanotecnologia, tanto na graduação quanto na pós. Na graduação o que teve mais próximo é colóide, alguma coisa assim. Mas, eu acho até que as universidades particulares atualmente elas estão sendo um pouco mais rápidas do que as públicas para mudar.

Para incorporar isso...

Incorporar, é.

Olha, que interessante!

Mas, assim, dependendo do lugar, eu acho que até aparece algumas. Tem o Centro [nome], é bem grande, forte em tecnologia. Mas, eu não digo que as Universidades trabalham, os pesquisadores estão trabalhando, mas nem sempre é passado tanto assim para os alunos.

Pelo que eu entendi, então, no momento você não está trabalhando em nenhum projeto de nanotecnologia, mas tem um projeto que está em construção aí que vai envolver mais nanotecnologia.

Assim, aqui no [Instituto] tem vários projetos que estão ocorrendo e, vira e mexe, pedem ajuda em projeto determinado e aí a gente ajuda. Então, oficialmente, eu trabalho em um projeto único, mas acabo ajudando os colegas.

Eu pergunto, porque as próximas 3 perguntas tem um pouco a ver com isso. Eu ia pedir para você falar do projeto. Mas, se você quiser falar desse projeto que está em construção também pode.

É que eu não sei o que eu posso falar.

Ah, porque é projeto que tem contrato.

Tem alguns que têm contrato de confidencialidade. Mas, eu não sei, você pode comentar o que o [chefe do departamento] comentou com você?

Ele falou de alguns projetos, mas ele falou em linhas muito gerais do que se trata e ele falou isso: “olha, tem algumas coisas que eu não posso te dizer porque tem contrato”. Então, deu muito em linhas gerais, assim, nem perguntei qual era a empresa para nem precisar dizer que não podia falar.

Sim, sim. Se quiser, eu posso falar um pouco do meu doutorado, que tem algumas coisas acontecendo aqui que podem ir nessa linha também.

Tudo bem. Pode ser.

Pode ser? Que aí eu fico mais confortável.

Dizer do que se tratava o projeto em linhas gerais, porque eu vou tentar perguntar algumas características do projeto.

Bom, tem algumas nanopartículas que são chamadas lipossomas, são bastante conhecidas. Atualmente, já tem em alguns fármacos no mercado. Um exemplo é o doxil, que foi a primeira nanopartícula lipossomal que foi introduzida no mercado. Tem um fármaco que é antitumoral, que é a doxorubicina. No meu trabalho de doutorado, eu trabalhei com o análogo polimérico do lipossoma. Então, em vez de se obter um lipídio, então, tem uma parte hidrofóbica e uma parte hidrofílica para constituir a membrana, essa casquinha eu tinha um polímero. Um polímero que tem uma parte hidrofóbica e uma parte hidrofílica, mais ou menos como um surfactante, e um detergente. E, ele se autoformava; uma vesícula que se autoforma. Está descrito na literatura várias vantagens em termos de estabilidade, diminuição da agregação proteica, porque no caso dos lipossomas, uma, que o lipossoma na corrente sanguínea desintegra; o polimerossoma é um pouco mais estável e tem algumas vantagens já descritas na literatura. E, o que eu trabalhei foi incorporar esse fármaco, a doxorubicina no interior desse polimerossoma, o nome dele, é uma vesícula polimérica. Nós fizemos ensaios tanto de toxicidade, liberação, alguns testes iniciais de tratamento de tumor, tumoral, para o tratamento utilizando esses polimerossomas e, assim, acho que a grande vantagem é que ele é nanométrico. O conteúdo interno, ele pode ser aquoso, diferente de nanopartículas, por exemplo, que normalmente é um meio hidrofóbico ou o contrário, elas são feitas em meio hidrofóbico, e o interior é hidrofílico. E, a vantagem é que você tem então água do lado externo, água do lado interno, você pode carregar proteínas, por exemplo, tentar aumentar essa unidade de proteínas, produzir reações químicas só ali, controladas, só naquele espaço confinado. É mais ou menos isso.

Não está muito aqui dentro do meu cronograma, mas surgiu essa questão. Você é química de formação, por exemplo, você vem para o [Instituto]. Tem algum limite aí para tentar diferenciar até onde é ciência e até onde é tecnologia? Você trabalha bem, quero dizer, você vem da formação em química, ciência básica, para o [Instituto]. Foi tranquila essa entrada?

Eu acho, assim, não vou falar nem em tecnologia, eu vou falar da inovação. Eu acho que inovação só acontece quando a sociedade ou o cliente consegue ver. O que a gente faz na academia, ciência básica, nem sempre chega à população, ou demora muito tempo, para realmente virar uma inovação e, para mim, essa transição foi muito interessante, porque, realmente, o que eu trabalhei durante o doutorado é uma pesquisa mais básica, está longe ainda de ser, se tornar uma tecnologia vista no mercado e tal. Mas, foi muito legal ver aqui as coisas realmente acontecendo. Então, uma pequena contribuição que nós podemos dar para um cliente pode transformar desde um produto novo até diminuição de risco, contenção de risco, mudança de materiais. Então, não diria que foi difícil, eu acho até que foi mais fácil do que eu imaginava.

Mas, você se vê agora fazendo tecnologia?

Ah, sim, é bem mais aplicado.

Ah, interessante.

Bom, é que eu não sei, esse limiar ciência e tecnologia é muito.... As duas andam em conjunto, porque quando você faz tecnologia você faz ciência também, não? Não sei [risos], é muito filosófica [risos].

Não, ok, não tem problema, quer dizer, não é mal que o pesquisador não saiba filosofia, mas é curioso ver essa relação, porque quando a gente imagina, por exemplo, que vem aqui para o [Instituto], eu imaginava que iria encontrar muitos engenheiros e, não, encontro muito bioquímico, químico...

Sim, porque eu acho que no Brasil o [Instituto] é bastante famoso na área de engenharia.

É, talvez isso tenha...

É, porque tem outros lugares, Instituto Fraunhofer, outros institutos de pesquisa no mundo inteiro, não são só esses, então eu acho que é meio que a gente aqui.

É, isso é uma coisa que me chamou a atenção. Só fazendo um parêntese, porque o que me chamou a atenção também foi que eu vi que tem muitas mulheres aqui e, como eu tinha imaginado que eram muitos engenheiros, eu pensei que ia ser ainda muito cheio de homens.

Mas, é bastante no nosso Centro, eu acho, se você for para um Centro de Engenharia mesmo, você vai encontrar bastante homens, que é o que mais tem. Esse nosso Centro aqui é bem novo. É o Centro mais novo do instituto e, atualmente, é o que acho que mais tem entrado gente.

É, porque eu perguntei isso para o [outro entrevistado], porque nesse meu projeto maior tem essa questão lá. A questão das mulheres na ciência e na nanotecnologia. Nós temos outros projetos com escolas e tal e isso ainda é forte, ainda existe essa questão de muitas meninas não aderirem a essa área por achar que não é para elas.

Ah, sim.

Poderia parecer que já não cabe mais esse tipo de problema, mas ainda é forte, ainda existe.

É, é forte.

E, eu comentei isso com [outro entrevistado] e ele disse que aqui até é o contrário; acha que tem mais mulheres que homens.

Mas, em posição de liderança, não. Aqui no nosso Centro, nós temos o chefe que é o [nome do chefe] e três laboratórios e, desses três, tem duas mulheres chefes de laboratório.

É, esse é um tema interessante também.

Só deixa eu colocar um negócio rapidinho. Isso é no nosso Centro.

Não no [Instituto]?

É. Exato. Mas, tem outros Centros que têm quase nenhuma mulher.

Ah, você quer dizer que se for ver estatisticamente no [Instituto] ainda há um predomínio masculino?

Não sei se no [Instituto] inteiro, mas em alguns Centros tem.

Ainda que talvez não seja, assim, uma coisa de preconceito, ou seja, mais de história mesmo?

É, mais de história, eu acho. É, existe, o machismo está impregnado na sociedade. Existe? Existe. Desculpa, não tem como não falar disso.

Não, é ótimo, porque tem a ver com meu projeto maior.

Então, eu tenho visto, em termos de academia, tem se discutido bastante essa questão de logo depois que você é contratado você tem três anos de período probatório e, normalmente, as mulheres já estão na época ... 30 elevados e aí quando você consegue emprego... Conheço amigas, desde que passaram em concurso, até concurso público para juiz, por exemplo, elas falam que todos os homens acabaram de ter filhos e as mulheres não podem porque estão nesse estágio probatório e, assim, não é justo.

Não, não é nada justo.

A primeira questão, agora mais no rol, é a seguinte: teria como identificar alguma especificidade desses projetos de pesquisa em nanotecnologia, por serem em nanotecnologia? Há alguma coisa que seja específico por se tratar desse assunto?

Você diz, assim, de um cliente vir e pedir: “ah, eu quero fazer qualquer coisa de nanotecnologia?”

É, pode ser. Nessa visão mais prática, pode ser também. Mas, pode ser até, por exemplo, tua pesquisa de doutorado, se você teve alguma implicação que foi em função de se tratar de nanotecnologia, que outras áreas não teriam, por exemplo.

É, a questão, por exemplo, do doutorado é que, sendo nanotecnologia, tem funções, características específicas, que são vantajosas. Por exemplo, no meu caso, era intravenoso, administração intravenosa. Então, tinha que ser nano, porque se for maior você entope o canal. Então, acho que principalmente na parte farmacêutica é interessante ser nano. Mas, assim, como contém menos química, atualmente é bem visto, assim, contém química, sendo que a química está em tudo, eu acho que a nanotecnologia tem esses dois lados também: ela pode ajudar mercadologicamente falando; não sei, assim, talvez nas vendas, “ah, tem nanopartícula de prata e não sei o que”. Acho que isso realmente pode contribuir. Mas, também tem o lado que hoje em dia as pessoas estão olhando com mais calma que é a questão de ninguém saber quais os efeitos colaterais desse monte de prata nanoparticulada que nós estamos utilizando, por exemplo. Então, eu acho que mais fora do país, nos Estados Unidos e na União Europeia, acho que está sendo discutido mais essa parte de toxicidade; a questão ambiental da nanotecnologia como um todo. Mas, acho que aos poucos aqui no Brasil vai também crescer.

É muito comum a gente ver agora nos últimos anos uma defesa, quando se fala de tecnologia de modo geral, das chamadas tecnologias abertas. O exemplo que eu tenho é da área de softwares. Então, até há um tempo se pensava em tecnologias livres. Então, muitas pessoas faziam softwares e deixavam disponível gratuitamente. Depois, se avançou para a ideia de tecnologias abertas. No caso desses softwares seria estar disponível também lá os algoritmos para entrar e modificar aquilo. Teria

um correspondente disso na nanotecnologia? Pensar, por exemplo, em nanotecnologias abertas? Ou seja, de uso livre? Ou isso não chegou nesse nível ainda?

Eu não sei, porque eu acho que, assim como o software, a pessoa tem que ter um conhecimento mínimo para usar a nanotecnologia. Mas, pensando assim, mais abertamente, eu acho que, da mesma forma que hoje nós conseguimos comprar nanopartícula para, por exemplo, incorporação de imunoproteínas, por exemplo, para fazer um teste, um diagnóstico específico. Se eu tenho uma empresa, eu preciso dessa proteína e desse nanoparticulado. Então, não sei se isso estaria aberto. Mas, seria meio que usar uma tecnologia e incorporar uma nova aplicação talvez, e vender um novo produto. Mas, não sei se isso seria considerado aberto.

No começo da entrevista, você comentou que tinha coisas que você não podia falar porque está protegida por contrato e aí suponho que esse conhecimento não está disponível, a não ser para aquelas pessoas que pagaram por ele. Como fica no caso de vocês, por exemplo, porque na Universidade a gente tem muito essa cobrança de publicação, como que fica no caso de vocês aqui?

Ah, não, aqui também tem cobrança por publicação.

E, como vocês fazem?

Então, bom, voltando nessa questão de aberta ou não. Eu estou pensando, o que eu comentei agora, foi na questão mais física, a nanopartícula física. Agora, pensando aberta, a parte de conhecimento aberto, como seria no caso do software, por exemplo, para mim, o que a gente tem hoje são os artigos serem *open access*. As revisas estão com o tempo contado, com os dias contados, porque não faz mais sentido você deixar fechado. Se você deixa, indo por esse lado, eu acho que, talvez pensando um pouco mais alto a questão de *open access*, a tecnologia aberta seria você ter uma forma de fazer todo o seu estudo, deixar todo o seu estudo disponibilizado, desde as amostras que você usou, até todos os resultados em uma planilha que todo mundo pudesse usar e continuar talvez o projeto, indo por esse lado. Agora, com relação a aqui, eu entrei há pouco tempo, então, eu realmente não sei exatamente. Mas, o que eu diria que é, assim, aqui tem vários tipos de pesquisa, então, tem desde pesquisa para cliente, tem pesquisa também; muitas pessoas de Universidades, como eu era, que estava fazendo pesquisa aqui dentro. Então, isso é publicável. Alguns projetos com instituições como Petrobras, por exemplo, FAPESP que nós temos projetos, isso também dá para publicar, dá para ser aberta. Agora, com clientes, eu acho que o problema não é nem a tecnologia em si, é mais a questão de concorrência, não sei. Não sei, realmente eu entrei faz pouco tempo.

E, por exemplo, tem uma diferença, ainda que não seja muito fácil um limite para diferenciar, mas tem uma diferença quando você publica um artigo, por exemplo, na área de química, para os químicos, e aí o cientista tem rapidez em divulgar o máximo que ele puder, o que ele fez; e tem a tecnologia, tem a produção tecnológica. Por exemplo, quando você lê um artigo de alguém dizendo que fez tal estrutura nanométrica e tenta replicar isso, consegue fazer? Ou tem alguns segredos ali que não são contados?

É, muitas vezes nem falam; muitas coisas nem falam. Realmente, acho que um dos grandes problemas da gente, da forma como é feita a pesquisa hoje, eu acho que essa ânsia por publicação, que está sendo feita a *salami science*, que todo mundo tem falado e acaba não se ajudando. É mais uma competição do que contribuição. Mas, o que eu posso falar? Qual foi a última coisa que você comentou?

Essa coisa de se a divulgação dos artigos permite você replicar aquilo?

Ah, lembrei. Alguns realmente não, outros sim. E, igual eu falei, outros não falam. Por exemplo, o que eu estou fazendo no momento. Eu estou trabalhando com uma parte de preparo de uma amostra que eu não encontro em lugar nenhum. É uma coisa simples, uma coisa, assim, teoricamente, seria trivial, só que não é trivial. Então, é preparo de amostra com uma caracterização específica e você vê algumas imagens nos artigos, só que não falam exatamente como foi feito. Então, assim, existe esse lado, mas, para mim, eu acho que a comunidade brasileira tem muito também a evoluir com relação à patente. É uma coisa que aqui no [Instituto] já tem o costume de fazer. Na Universidade muito pouco. Eu comecei a ouvir de patente no final do doutorado. Não tinha esse interesse e eu acho que agora está mudando, até em relação a *startups* e a importância; as Universidades estão vendo as pessoas criarem empresas de pesquisa e desenvolvimento. Mas, eu, antes, com olhar de academia, sempre via para as pesquisas, as revistas mais conhecidas, *Nature* e tal. Mas, hoje em dia, aquelas mais aplicadas, as que realmente mostram desde uma melhora no processo ou coisas reais acontecendo, ou o próprio, às vezes, não está nem publicado, às vezes, histórias que a gente escuta daqui ou publicações na mídia, você vê que realmente está fazendo a diferença. Isso está sendo muito bom para mim, é interessante ver acontecer, porque na academia você fica muito longe. É claro que quando você vai ensinar alunos você vê alguma modificação, você está impactando. Mas, até o doutorado é difícil quando você não trabalha com educação, você ver o impacto na sociedade.

Fica muito interno, não é?

É.

E, quando as pessoas vão para um congresso, e aí apresentam lá, por exemplo, essas imagens que você falou. As pessoas não perguntam? “Tá, mas como você fez isso aí?”

Ah, perguntam.

E, aí o que as pessoas dizem? “Não, não posso falar?”

Não, eu nunca presenciei isso. O que eu estou comentando é mais um levantamento de artigos que eu fiz e eu ainda não encontrei, entendeu? Ah, mas se eu tivesse a oportunidade eu faria. Na verdade, durante o doutorado, foi engraçado, em março do ano passado. Eu trabalho com polimerossomas, trabalhei no doutorado, e tinha uma pessoa, um professor, que é o “ban ban ban”, tipo o “pai” dessas vesículas e eu tive a oportunidade de ir em um congresso que ele estaria. No fim, não consegui conversar com ele, mas conversei com vários alunos dele e foi muito bom, porque, assim, eu achava que eu que não conseguia, que eu não estava fazendo certo, que os reagentes que chegavam aqui no Brasil não eram bons. E, eles falaram: “não, nós temos esses problemas também, não é fácil”. Então, no artigo você fala, coloca aquela coisa linda, maravilhosa, que vai mudar o mundo e tal, só que no dia a dia da bancada não é tão assim, não é?

Não é tão fácil assim?

Não é tão fácil assim.

É, lá na [nome da Universidade] eu conversei com alguns colegas que pesquisavam esses grafenos, e a primeira coisa que eles falaram foi: “olha, aquelas imagens que você vê na internet, não sai tão bonitinho assim, é mais complicado.”

Assim, outra coisa eu ficava muito brava era o cara publicar aquele artigo lindo e maravilhoso na *Nature*. Só que colocava uma vesícula e, as que estavam do lado, estavam completamente diferentes. Então, essas coisas realmente.... Mas, aí eu acho que vai muito da índole da pessoa.

Isso que nós estamos falando de pesquisas mais na ciência básica, nem é tanto na tecnologia, que é mais complicado.

É, estou falando de ciência básica. Eu não tenho tanta experiência na parte de tecnologia, como eu falei, comecei agora, mas, deve ter também.

Isso é interessante. Uma outra questão que aparece quando a gente fala em ciência e tecnologia é em relação à polivalência dos resultados. O que é, mais ou menos, isso? A impressão que se dá é que a nanotecnologia é uma coisa extremamente específica. Ou seja, que se faz uma estrutura nanométrica que vai fazer uma coisinha lá, por exemplo, fármaco, ela vai lá em uma celulazinha fazer tal coisa e só isso. É verdadeira essa percepção ou não? Não é tão específico e ela pode ser aplicada em outras coisas?

Eu acho que ela pode ser aplicada, não só ela pode ser aplicada, como ela tem os efeitos colaterais da utilização dela.

Ah, essa é a questão seguinte. Mas, pode falar já.

Não, eu acho que, como tudo na vida, tem um lado bom e um lado ruim. Pode ser que realmente não se sabe até o momento todos os problemas desde utilização até o trabalho com nanotecnologia. Os Estados Unidos tinham uma preocupação muito grande com segurança para não ter contato mesmo. A gente aqui, por exemplo, não tem tanta preocupação em termos de particulado no ar, mas porque a gente mora em São Paulo. Diríamos que particulados no ar tem muitos. Tem até o professor [nome] que trabalha bastante com isso. Mas, eu acho que sim, ela pode ter vários outros indicadores. Eu sou química, então, na minha banca de doutorado foi uma das coisas que foi levantado pela banca, não vou lembrar exatamente, mas tem a questão da farmacotoxicidade, biodegradabilidade, biodisponibilidade, porque o polímero que eu estou usando ele é biodegradável, ele não é tóxico, mas ele pode se acumular. Então, depois de cortadinho, ele pode ser liberado, mas só após um momento, uma ação específica, ele vai acabar sendo liberado. Então, é uma coisa que, assim, com olhar químico não tenho tanto conhecimento nesse sentido, mas eu acho que uma vez no organismo tem toda a ação secundária.

Mas, essa ação secundária, já se conhece?

Não, eu acho que muito pouco se sabe, ao menos é a minha opinião. Até, eu acho que muitas coisas, eu estava conversando com o pessoal sobre anticoncepcional, por exemplo, sabe-se que ele não degrada, então nós temos as águas com anticoncepcionais, tem testes mostrando que realmente os peixes ficam com características femininas, só que é, assim, até quanto femininas diríamos? É, sei lá, dos peixes, não sei exatamente, mas a gente não consegue controlar tudo, o todo, as coisas estão acontecendo e, por exemplo, na área petrolífera, a gente, muitas vezes, a gente discute: “ah, isso é interessante ou não, de óleo e gás, a gente está trabalhando com petróleo, uma coisa super tóxica”. Então, assim, quando você compara com um negócio muito tóxico, aquele outro negócio não é tão tóxico, entendeu? Eu acho que muito pouco a gente sabe sobre tudo isso. Não sei se respondi a pergunta, mas...

Respondeu sim. Essa coisa dos hormônios na água que está aí eu vejo essa discussão. A outra questão ia nessa direção. É interessante que você comentou, porque, quando se pensa a tecnologia, pelo menos a promessa, é de que a tecnologia iria ajudar o ser humano a controlar a natureza, mas a questão aí é até onde vai esse controle da própria tecnologia? Aí que eu ia perguntar isso, por exemplo, se eu tenho um fármaco que está lá em uma estrutura nano e ele vai fazer tal coisa no organismo, resolve lá, faz a cura, está bom, mas e depois? Para onde que ele vai?

Ah, não, eu acho que é tudo coisa que tem que ser avaliado, tanto que muita coisa eu acho que não foi liberado ainda para uso justamente por questões nesse sentido. Mas, eu acho que como tudo, assim, eu espero que a nanotecnologia não receba o olhar que a química recebeu, porque atualmente na sociedade, na sociedade que eu digo, que não tem tanto conhecimento, olha a química como uma coisa ruim, só que não percebe que sem química não conseguiria fazer nada, desde andar de carro até, bom, tomar banho. Então, eu espero que medidas sejam tomadas para controle ou até, assim, até ensino da população das vantagens e desvantagens. Eu acho que não pode condenar a nanotecnologia, por exemplo, por um problema que venha a causar no futuro; essa linha tênue entre vantagem e desvantagem, controle e não controle.

Isso, um pouco, talvez venha do cinema, divulgação: ajuda a criar essa concepção, nos leigos, de, por exemplo, pensar a nanotecnologia como uma espécie de “robozinho” e aí ele vai lá e faz uma coisa que a gente quer que ele faça e aí para onde que ele vai depois? Será que ele não vai fazer uma outra coisa que é ruim?

Sim, sim, os nanorrobôs. É o que eu falei, como toda tecnologia nova, aquela tecnologia de edição de DNA, também veio como uma revolução, agora estão vendo que, espera aí, não é tão, assim....

Tem isso também, o que é prometido e o que se consegue.

Não é nem questão do que se alcança. Quando você acaba editando DNA você acaba interferindo em outras coisas. Como toda tecnologia, tem o lado bom e o lado ruim. Então, são coisas que a gente ainda não sabe o que pode. Por isso, acho que teve um chinês que fez edição de DNA de duas pessoas, duas crianças, sei lá, dois fetos, e não se sabe o que a criança pode ter e não ter. Muita coisa acho que só mais para frente.

Interessante isso. Mas, tem já alguma coisa na literatura sobre isso? Quero dizer, algo prático já que se aplicou, mas que o resultado todo não se sabe e que pode gerar alguma polêmica? Tem já alguma coisa?

Não sei se nesse sentido, assim, de algum problema. O que eu sei, nos últimos congressos que eu fui, eu via discussão nesse sentido. Tem desde aqui no Brasil até encontros internacionais, a questão de regras e normas para utilização da nanotecnologia, alguns testes que devem ser feitos. É claro que tudo depende muito da aplicação. Por exemplo, para os cosméticos não pode permear e tal. Mas, então, para o ser humano não vai fazer ruim, mas e no ambiente? Então, são algumas coisas que eu acho que realmente têm que ser levadas em conta. Mas, caso negativo eu acho que, por enquanto, não. Mas, como tudo em excesso, faz mal.

Você comentou da questão da segurança na manipulação, que nos Estados Unidos está mais adiantado esse cuidado. Tem alguns exemplos que você pode dar, assim, de problemas que pode causar? Manipulando tal tipo de pesquisa, já se sabe que pode provocar tal e tal coisa?

Olha, eu posso estar falando “abobrinha”, mas uma coisa que me veio na cabeça agora é: sabe aquele recobrimento de casas que foi até proibido?

Ah, o amianto?

Amianto. Se eu não me engano, posso estar falando “abobrinha”, mas se não me engano foi porque na produção tem a questão de nanoparticulado, e tem uma doença também, não vou lembrar agora.

É, o que eu me lembro é que, de fato, as pessoas que trabalhavam com a produção daquilo tinham.

É, sim, problemas respiratórios. A outra coisa, por exemplo, em casa eu tive que fazer o corte de granito e, ao fazer o corte, estou falando do nosso dia a dia, quando faz o corte de granito com aquela máquina, nem lembro o nome, você levanta particulados e tem também problema dos particulados no pulmão e, assim, as pessoas que trabalham com isso não têm preocupação nesse sentido. Então, eu acho que não só a nanotecnologia na pesquisa e desenvolvimento, no desenvolvimento tecnológico tem que ter essa preocupação. Mas, tem como um todo, desde liberação de nanoparticulados por carros, eu acho que isso, nesse sentido, está tendo um pouco mais de preocupação. Mas, lá no Estados Unidos eu lembro de um pouco mais; é uma preocupação com a nanopartícula de carbono.

E, quais riscos que teria que causava tanta preocupação neles?

Eu não sei, eu não lembro exatamente, mas era alterações de DNA, ou realmente não saber o que acontece. Eu não sei, prefiro nem falar mais. A gente tenta não pensar, porque se a gente for pensar nisso, assim, acho que tudo na vida....

Tem o risco?

É. Tudo eu acho que tem. Se você for “ah, não vou comer mais frutas porque tem pesticidas, ah vou comer orgânico”. Mas, orgânico, muitas vezes, tem mais componentes químicos, agrotóxicos. Já está na terra.

Você falou do ar aqui em São Paulo.

É, se a gente “pirar” muito, a gente não vive.

Bom, uma outra questão é quase que o contrário das outras questões. É a questão da limitação. Por exemplo, quando se pensa em um projeto de pesquisa em nanotecnologia, como fica a questão da limitação de acesso à matéria prima, por exemplo? Isso se aplica para a nanotecnologia? Por exemplo, um projeto que tem uma solução, mas precisaria ter acesso a uma matéria prima muito difícil, ou muito cara, coisa assim.

Ah, eu acho que, assim como toda pesquisa, tem aqui no Brasil. Mas, estando aqui no [Instituto], eu acho que a gente tem acesso a bastante coisa, somos privilegiados. Mas, eu acho que em termos de material, equipamento, reagentes, acho que, até o momento, tudo o que a gente precisou a gente conseguiu. Tem um tempo, demora um pouco, mais do que fora do país, mas....

Não chega a ser um problema, então?

Acho que, por enquanto, não. Você consegue fazer nanopartículas de sais, de polímeros, coisas que a gente tem no dia a dia, consegue sintetizar. Então, acho que quanto a isso não.

Tem algum caso de cliente que pede alguma coisa e que vocês, por exemplo, dão uma solução e “olha!; mas a solução exige tal produto que tem um custo tal”.

Ah, eu não sei responder isso, porque eu estou começando agora a lidar com clientes e não passei por isso. Não sei dizer.

Outra questão que até vai nessa direção que a gente tinha comentado um pouco sobre essa questão do risco, é a reversibilidade. Ou seja, tem alguns projetos de tecnologia de um modo geral que, no próprio projeto, já se prevê a capacidade de reversibilidade dos efeitos. Isso se aplica também no caso da nanotecnologia? Ou seja, é um item para se pensar no projeto de pesquisa em nanotecnologia?

É, eu acredito que sim, tanto que tem vários desenvolvimentos na área, por exemplo, de recuperação ambiental que usa a nanotecnologia e, se você está trabalhando com recuperação ambiental, você tem que recuperar essas nanopartículas. Então, tem esse pensamento de reversibilidade. Eu acho que sim, faz sentido pensar por esse lado, mas quando a gente fala de uma vida humana eu acho que é maior do que uma reversibilidade. Por exemplo, um fármaco que você usa, ele está ali, às vezes, ele não vai ser degradado, mas se você conseguir salvar uma vida....

Tem algum exemplo? Você citou aí do meio ambiente, tem algum exemplo?

Bom, que eu posso citar; eu posso citar o projeto de uma amiga minha. Durante o doutorado, [aluna] trabalhou com nanotubos de carbono para o tratamento de corantes se não me engano, que eram efluentes de indústrias de coloração têxtil. Era um nanotubo com uma enzima que fazia a degradação dessas partículas e aí eu só não lembro como que o nanotubo era recuperado, mas eu lembro que tinha um pensamento nesse sentido, para depois pegar.

Ah, recuperar esse nanotubo do tratamento?

É, recuperar. Não lembro como, mas eu lembro de a gente conversar sobre isso. Ou, então, por exemplo, se você usa uma nanopartícula metálica, fica mais fácil de você recuperar. Acho que tem diversas maneiras.

Isso se pensar para tratamento de resíduos?

Sim, é.

E, bom, não sei se isso aqui também se aplica à nanotecnologia, mas enfim. Muitos artefatos tecnológicos, quando são produzidos, o projeto já prevê acrescentar ali uma obsolescência, ou seja, uma duração. Isso é programado. Não é uma limitação tecnológica, ao contrário, o fabricante coloca essa limitação de tempo. Teria algum similar na nanotecnologia? No campo da pesquisa em nanotecnologia?

Do tempo que a nanotecnologia vai se tornar obsoleta?

Não, de um artefato tecnológico que use a nanotecnologia.

Por exemplo, um produto?

Um produto, é; acrescentar ali propositalmente uma obsolescência, ou seja, isso dura até tal tempo.

Eu acho que isso existe muito no Brasil. Por exemplo, reagente químico tem que ter uma data de validade, porque a ANVISA determina. Eu acho que, realmente, para muita coisa, não faz sentido, porque o negócio vai ser estável e não precisa ter data de validade. Agora, para outros, sim, tem a questão da estabilidade da nanopartícula. Tem mudanças de temperatura, mudanças de estocagem, pode levar a alteração no produto, no que você produziu.

Ah, ok. Seria uma limitação técnica, não que foi proposital?

Ah, eu acho que entendi. É para durar tanto tempo?

Isso. Pensar, por exemplo, em um bronzeador. Esse bronzeador ele poderia durar 3 anos, mas se coloca ali alguma coisa que faça com que ele dure um ano. Ou seja, se a pessoa não usou aquele frasco em um ano, não adianta usar depois que não vai ter efeito. Mas, isso não é uma limitação tecnológica, foi colocado algo.

Ah, não. Eu acho que isso pode ter sim. Eu acho que algum desestabilizante. Mas, tem que fazer um estudo para isso também, para ter um controle muito preciso. Mas, eu acho que, assim como o celular é feito para durar um certo tempo, acho que dá, não sei. Mas, eu não sei de nenhum exemplo.

Uma outra coisa que eu ia perguntar é o seguinte: em relação, acho que já foi respondido, a questão da sustentabilidade. Se as pesquisas que são feitas, por exemplo, as que você já trabalhou, ou que conhece, se tem essa preocupação com a sustentabilidade. Ou seja, você até já apontou tua colega que previa a possibilidade de recuperar do ambiente as estruturas.

É, eu acho que vai muito de quem está pesquisando, do cliente, do projeto, da finalidade, eu acho que depende bastante.

Depende do projeto?

É.

E, uma coisa também que se fala da tecnologia é que ela pode resolver problemas, mas ela pode também causar e, mais especificamente, por exemplo, causar problemas de cunho socioeconômico. Ou seja, aumentar as desigualdades sociais, por exemplo. Teria algum paralelo no caso da nanotecnologia?

É que acho que a nanotecnologia é muito grande. Por um lado, enquanto você disponibiliza algum tipo de..., eu estou falando na parte de farmacêutico, por exemplo, algumas tecnologias para uma classe econômica específica, de uma forma ou outra, você está fazendo uma “seleção natural”. Então, assim, por esse lado, tem uma diferença socioeconômica. Então, algumas tecnologias só estarão disponíveis para algumas pessoas. Os nanomotores, os *nanomachines*, para tratamento de doenças e tal, eu acho que isso vai ser muito difícil estar acessível para todo mundo, mesmo no SUS, por exemplo, tem diferenças. Agora, eu não sei mais....

Está bem. Era mais para ver se você tinha. Porque, às vezes, ouve falar, quando está na área, não que tenha trabalhado com alguma coisa assim, mas ouve algum comentário. Ok. É isso, eu sintetizei as questões.

Mas, qualquer coisa, assim, um outro dia eu posso tirar, se precisar qualquer coisa.

Tem mais alguma coisa que você queira comentar para deixar registrado?

Qualquer coisa?

Sim.

Eu acho que a nanotecnologia, assim como tudo na vida, em excesso faz mal e acho que a gente tem que tomar cuidado com os problemas que pode causar. Mas, também que ela tem muito a contribuir para a sociedade, em tudo, desde pavimentação, nosso dia a dia, diagnóstico, até tratamento de doenças, novas formas de cirurgias.

Pesquisador 5 (P5)

O [Instituto] é dividido em [x] unidades. Essas unidades, elas têm foco de atuação em alguns mercados. Acho que pelo relatório que você resgatou tem um panorama de todas as áreas do [Instituto], dá para você ter uma noção, e uma dessas unidades de negócio é o Bionano. Ele vem numa abordagem, numa visão do estado de modernização do [Instituto]. Lá em 2008, 2009, o [Instituto] recebeu um recurso do governo estadual para construção desse prédio, investimento, recursos, equipamentos, e a gente começa a operar a partir de 2012. Foram 4 anos para conceber o prédio, construir e, hoje, a gente tem essas 3 áreas. Então, nós temos um laboratório de processos químicos de tecnologias de partículas, que é o laboratório que abriga a plataforma nano; que a plataforma de nanotecnologia no nosso contexto ela é muito polivalente, ela é multidisciplinar, a gente atua em várias áreas. E, quem puxou esse assunto dentro do [Instituto], antes do Bionano existir, foi esse laboratório de processos do qual eu faço parte. Então, os projetos que eu lidero, os projetos que eu atuo, eles ficam fortemente centralizados nesse laboratório de processos químicos e tecnologia de partículas. Então, essa é a estrutura que a gente tem. A nanotecnologia que a gente atua, você vai ver, provavelmente você está estudando sobre isso, a nanotecnologia é muito transversal, é muito multidisciplinar. Nós temos um olhar da engenharia, fortemente a engenharia química e a de materiais, a gente trabalha fortemente com estruturas particuladas, também temos uma linha de nanofibras. A gente atende, isso é uma característica do [Instituto], a gente atende um mercado bastante diversificado, por exemplo, óleo e gás, agroquímicos, veterinário, farmacêutico, cosmético, têxtil. Então, é bem transversal. E, por que a gente consegue atender de forma bastante transversal? Porque, no fundo, nós nos capacitamos, temos uma infraestrutura de pessoas que conhecem fortemente como obter a nanoestrutura, como caracterizar a nanoestrutura e como incorporar essa nanoestrutura num determinado material. E, isso faz com que a gente consiga atuar em diferentes mercados e o nosso parceiro complementa a pesquisa. Então, sei lá, desenvolve uma nanoestrutura para um novo cosmético. O nosso parceiro, ele tem a expertise em cosmético, normalmente ele é uma empresa de cosmético, ou uma empresa que fornece insumos para a indústria de cosméticos. Então, a gente junta as nossas capacitações para conceber o produto, para avaliar o desempenho do produto e assim por diante.

E, essa relação, como é?

Metade do nosso orçamento vem na forma de dotação governamental e a outra metade a gente capta com projetos. A gente não tem um orçamento anual garantido do Estado. Então, a gente capta esses recursos na forma de projetos de pesquisa, no setor privado e no setor público. Empresas do Estado, seja federal, municipal ou estadual, nos contratam também com projetos.

Nesse caso, pode contratar, não é?

Isso. E, a gente também presta muitos serviços, seja de ensaios, calibrações, serviços tecnológicos, que aí são coisas mais complexas. Na área de nano em específico, a maior parte dos nossos projetos em nano está ligada a projetos de P&D, pesquisa, desenvolvimento e inovação. A gente presta alguns serviços pontuais de caracterização de materiais, ou de alguma avaliação de desempenho de produtos ou de insumos nanoestruturados. Mas, isso na nossa realidade é bem minoria. Hoje a maior parte dos nossos projetos, do nosso faturamento com nanotecnologia, vem de projetos de grande porte, de médio e longo prazo, e a grande maioria com o setor privado.

É, eu imaginei, pela própria novidade, que a nanotecnologia ainda não tem uma clientela tão grande assim, não é?

A gente tem bastante. Tivemos e temos em andamento vários projetos de nano como eu disse, com foco em aplicações bem diferentes.

E, isso implica que o [Instituto] tem como meta patentes?

Sim, sim. Aí é interessante Elio, talvez, se você quiser, eu te coloco em contato com a nossa área de comunicação [nome]. Eles podem até dividir um pouco mais de detalhes, que eu não sei como que está no relatório anual, que a gente tem um painel de indicadores. Esse painel de indicadores é o que ajuda a gente a criar nossas metas anuais.

Ah, eu vi que tem lá a oferta de serviços.

Isso. Então, a gente tem publicações, a gente tem patentes, é uma meta. A gente sempre busca, se possível, patentear em parceria com a empresa. Para nós, é importante isso.

No meu caso, que trabalhei sempre em Universidade, é mais difícil entender essa, claro, eu reconheço a importância, obviamente, mas é difícil entender a relação entre a Universidade, no caso pública, e a iniciativa privada. Mas, aqui me parece que funciona muito bem.

É. A gente já tem uma tradição muito grande de relacionamento com o setor privado. Então, a gente tem uma área que chama [nome], onde lá já tem uma equipe que cuida dessas questões contratuais, acordo de propriedade intelectual. Tem uma equipe que cuida em projetar taxa de sucesso, *royalties*, isso tudo é assinado no tempo zero do projeto, entre a empresa privada e o [Instituto]. Então, isso é feito de forma bastante transparente, tudo de acordo com a lei de inovação.

E, você tinha comentado que a área de pesquisa, desenvolvimento e inovação é um ponto importante.

Para nós, em nano é superimportante, com apoio de fontes de fomento. A gente tem projetos que são financiados pelo setor privado e parcerias com fontes de fomento, seja EMBRAPPII, seja BNDES, seja FAPESP. Essas modalidades para nós são bem importantes.

A ideia de inovação é interessante. A impressão que a gente tem, aí eu estou falando quase como leigo, é que o Brasil não é muito de inovar, parece que demora muito.

É. Comparado a outros países, comparado a outras realidades, estamos bem atrasados nesse processo de inovação. Não que não exista. Existem muitas coisas acontecendo, iniciativas bacanas. Mas, ainda o nosso modo de operar, o nosso modo de relacionar setor privado com setor público, o próprio setor privado sofre muito ainda e, comparado a outros países de primeiro mundo, a gente inova pouco sim. É um desafio.

Eu vejo, porque eu sou físico, claro, os institutos de física, eu tenho mais conhecimento do que fazem, e a impressão que eu tenho é que se a gente pega um físico aqui do IF, por exemplo, põe ele para conversar com um físico dos grandes centros do mundo, eles conversam de igual para igual, no que diz respeito à física. Mas, por que lá eles conseguem fazer com que aquilo gere tecnologia e inovação e aqui parece que a gente não consegue?

Eu acho que tem um pouco; tem uma questão cultural, tem uma questão também do perfil das empresas. A gente tem empresas, dependendo do assunto, a gente não tem nenhuma empresa nacional de alta tecnologia. Pega, por exemplo, sei lá, uma coisa que físico “manja pra caramba”, equipamentos. Pensar um físico aqui estudando a construção de um novo microscópio eletrônico, que empresa brasileira que constrói microscópio eletrônico para poder absorver essa inovação? Não tem. E, a multinacional, ela tem um centro de pesquisa dela lá fora; ela vai demorar para olhar para o Brasil numa temática que ela sabe que o Brasil não atua.

E, acho que isso fica mais forte na questão da nanotecnologia, imagino?

Isso. Por outro lado, a gente vê algumas inovações, algumas coisas acontecendo principalmente nas empresas nacionais e empresas, às vezes, até de pequeno *startup*. Tem coisas bem interessantes acontecendo. Os nossos principais parceiros são nacionais. O cara conta com a base tecnológica do país para montar seus produtos, para inovar, coisa que as multinacionais, eventualmente, elas têm o grupo delas já e a tecnologia já vem pré-desenvolvida, ou quase completamente desenvolvida, só para ser nacionalizada aqui, tropicalizada.

Algumas empresas grandes inclusive elas têm a sua equipe de pesquisadores.

A maioria. Empresas grandes, multinacionais, têm um corpo técnico super bem capacitado, vários doutores.

Alguns dados que eu vi, a produção de artigos, por exemplo, é substancial.

Do [Instituto] você fala né?

É.

O [Instituto] como um todo eu não sei o número que fechou o ano passado, não saiu ainda os indicadores do ano passado, mas 2017 na casa de mais de 200 artigos.

É substancial.

A gente acha pouco ainda, acha pouco, considerando que nós somos em mais de 300 pesquisadores.

Eu ia perguntar isso.

Considerando o [Instituto] como um todo, não em nano. O [Instituto] como um todo, se cada um publicasse, talvez nós tivéssemos até mais de 300.

200 é bastante, mas se pegar o todo daria menos de um por pesquisador.

Isso. Claro que tem pesquisadores que estão em áreas que têm um foco muito grande em prestação de serviço e atividades que geram menos artigos. Não é a rotina do cara. Então, para a gente entender esse número, você precisa entender um pouco do detalhe da operação do [Instituto], as áreas de negócio, o perfil de cada pesquisador que está aqui. Então, esse é o desafio.

Bom, você trabalhava com pesquisa em nanotecnologia?

Isso. Eu trabalhava. Eu sou engenheiro químico, fiz mestrado e doutorado na temática de nanotecnologia, trabalhava com sistemas de liberação controlada, que é uma especificidade, produzindo nanopartículas poliméricas.

Então, tua entrada na nanotecnologia já foi pela formação? Porque eu observei que em alguns casos alguns acabam tendo uma formação em outras áreas, ainda que próximas, mas em função do lugar onde vão trabalhar acabam...

Eu já fazia doutorado em nano quando vim para o [Instituto].

Já foi por formação?

Isso. No meu caso, eu já trabalhava com esse assunto antes de vir para o [Instituto], antes de fazer parte da equipe aqui. Depois, chegando aqui, a gente foi implementando. Eu participei desse processo de implantação.

E, atualmente, você está em algum projeto?

Sim, sim. Eu estou envolvido em alguns projetos. Infelizmente, eu não posso te dar detalhe porque tem questões de sigilo envolvidas. Mas, estamos envolvidos em alguns projetos ligados ao setor de óleo e gás, ao setor de veterinária.

Envolvendo nanotecnologia?

Isso.

Olha, que interessante, na área de veterinária?

Isso. É, medicamentos. Na área de cosmético, tem alguns projetos sim. São projetos todos com o setor privado e, além deles, acabamos de fazer, a gente tem uma modalidade aqui que a gente chama de projetos de capacitação. São projetos menores onde o próprio [Instituto] financia o projeto para o pesquisador. A gente tocou um projeto em parceria com o laboratório de combustíveis e lubrificantes do [Instituto], para desenvolver nanoestruturas para lubrificação, aditivos de lubrificantes, para

melhorar o desempenho de lubrificantes, e o outro projeto, em parceria com o laboratório de têxteis, técnicas para desenvolver nanoestruturas para funcionalizar a fibra do tecido para desenvolver tecidos com fotoproteção, fator de proteção solar, por exemplo. Esses são projetos que eu posso falar, porque não tem empresa envolvida. E, além disso, eu supervisiono algumas pós-graduações que a gente sempre tem um viés de nanotecnologia, sistema de liberação baseado em nanopartícula de um medicamento ou de uma molécula, e assim por diante.

E, nesses projetos, por envolver nanotecnologia, tem alguma especificidade em relação a critérios de avaliação?

Sim, tem sempre os critérios de avaliação. Aqui, no nosso caso, critérios de desempenho. A gente faz algumas avaliações de segurança também, mas segurança a gente não avança em todas as frentes que deveria avançar. A gente avança até atividades *in vitro*; a gente não tem biotério para avaliar desempenho e segurança *in vivo*, por exemplo, se precisar. A gente não tem biotério, aí a gente conta com parceiro ou conta com contratação esporádica de algum laboratório que tenha infraestrutura para isso. Mas, a gente sempre tem os critérios da avaliação de desempenho da estrutura. Eu estou desenvolvendo uma capsula contendo um material lá que é para tratamento da pele, vamos supor. Então, eu tenho os critérios de tamanho dessa partícula, de biodegradabilidade, de pureza. Onde que ela vai estar? Se ela vai estar dispersa na água? Se ela vai estar dispersa num óleo? Qual a concentração do ativo de interesse que está ali? Qual material? Qual a composição química da cápsula? Então, isso tudo é desenhado com o parceiro.

E, por exemplo, quando é proposto um projeto, porque esses projetos, imagino eu, os critérios de financiamento de agências privadas e públicas são diferentes. Imagino que as empresas privadas elas querem muito o resultado.

É. O acompanhamento do projeto é diferente. As entregas são diferentes. As metas, geralmente, com o setor privado são mais agressivas. Tem que ser mais rápido. Isso existe sim.

Imagino, por exemplo, na FAPESP ou coisa desse tipo, dá para pensar num projeto mais

Isso, com risco maior, mais audacioso, mais ousado. Você tem um risco maior de errar, vamos dizer, de não dar certo. Já com o setor privado, assim, claro, os projetos também têm um grau de inovação, um grau de risco, mas tem uma condição de contorno mais estreita e o acompanhamento é diferente, a empresa está mais perto. A FAPESP, você faz um relatório a cada 6 meses ou a cada um ano. A empresa, às vezes, é reunião semanal, quinzenal, de acompanhamento dos resultados, relatórios mensais, às vezes.

E, no caso desses projetos que envolvem a nanotecnologia, nesses em particular, tem alguma questão, por exemplo, que envolvem aspectos éticos, ou algo desse tipo, que é específico por ser de nanotecnologia? Vocês esbarram em alguma questão como essa?

Não, que eu tenha vivido, ainda não. A gente tem, assim, quando você vai fazer um protocolo de avaliação de um produto, você precisa passar por um comitê de ética. Quando você vai avaliar o desempenho num camundongo, por exemplo, mas aí é o parceiro porque a gente não tem essa estrutura. Recentemente, a gente teve uma pessoa do grupo que fez o mestrado fazendo uma nanoestrutura contendo um medicamento para leishmaniose e aí ela fez uma parceria com o pessoal aqui do [outro instituto], que

eles têm biotério lá para fazer avaliação de desempenho em camundongo. Aí o professor lá passou a pesquisa pelo comitê de ética para ter aprovação.

Mas, imagino que não sejam questões assim, por exemplo, que causem alguma novidade do ponto de vista da ética.

Não, são protocolos já consagrados da indústria farmacêutica, da indústria de cosméticos. Da indústria de agro, por exemplo, eles têm um protocolo que é junto ao Ministério da Agricultura. A gente já teve. O parceiro teve que tirar um certificado para poder fazer as pesquisas, mas é tudo...

Protocolar?

Protocolar. É. Nunca me deparei com nada que seja que nunca tenha existido. Pode ser que você esteja pensando, sei lá, clonagem, coisa que ninguém nunca pensou; igual saiu lá o cara que clonou um bebê na China. Nunca me deparei com esse tipo. O que a gente aqui, às vezes, se envolve também é a questão da biodiversidade brasileira. Quando a gente vai usar algum material da biodiversidade, você tem o registro específico.

Mas, também é tudo já dentro de um protocolo?

É, um protocolo. Por exemplo, a biotecnologia também tem uma comissão de biossegurança também protocolar já bem definida.

E, tem até uma legislação já bem forte?

Tem, tem. É, em biossegurança tem. Então, a gente tem isso tudo já instalado no [Instituto] e já operacional. Mas, nunca tive nada fora do que é conhecido, não.

Uma das questões que eu tinha pensado em fazer aqui é a questão das tecnologias abertas e me chamou a atenção quando você falou “alguma coisa eu posso te dizer, outras não porque está protegida por contrato”. Como é que fica essa questão? É possível pensar no caso da nanotecnologia, nanotecnologias abertas, ou seja, de acesso aberto?

O que a gente faz é, assim, as pesquisas que a gente faz com pós-graduandos, no âmbito das co-orientações e no âmbito que a gente chama de projetos de capacitação, são tecnologias que a gente publica artigo, que a gente disponibiliza para empresas. Se a empresa tiver interesse em olhar aquela tecnologia, investir ou dar continuidade, porque, às vezes, a gente não vai até o fim, a gente vai até onde a gente tem condições em termos de infraestrutura e recursos, então elas ficam disponíveis. A gente, quando recebe uma visita ou recebe um novo cliente, a gente apresenta isso, as tecnologias que a gente trabalha, o que a gente tem de “prateleira” aí. A gente tem alguma coisa assim.

E, nesse caso, por exemplo, se alguém quiser utilizar é algo que pode tomar esse conhecimento e, partir dele, quer dizer, ele está totalmente aberto?

É, no caso, principalmente de pós-graduação, é assim.

Não é só uma parte, uma amostra, uma “amostra grátis”? Mas, tem uma parte que é fechada?

Não, não. Nesse caso, não. A não ser, assim, tem alguns projetos de pós-graduação, ou mesmo de capacitação, que a gente chega a patentear alguma coisa. Aí, o que está patenteadado a pessoa acessa via patente. Também é uma fonte de informação.

Mas, aí já está protegido por patente?

Por patente. Se ela quiser usar de alguma forma ela precisa licenciar aquela patente. Mas, a gente licencia também, disponibiliza.

E, como é lidar com isso? De ter alguma coisa que dá para divulgar e outras que, em função dos contratos, não dá? Por exemplo, eu fico imaginando assim: um aluno lá de doutorado está fazendo uma pesquisa que é financiado por origem pública, então dá para publicar. Aí tem ali um outro colega, às vezes, até do mesmo pesquisador que tem que ter todo um cuidado.

Assim, como é que funciona? As pessoas que estão envolvidas nos projetos que envolvem sigilo, geralmente a gente contrata via celetista, não são bolsistas, não são graduandos. A gente contrata. Se a pessoa é concursada, beleza, já é funcionário; ele tem que seguir as regras de sigilo do Instituto. Se a gente precisa de uma mão de obra específica para um projeto, a gente contrata ele via CLT, via fundação dentro do projeto.

É por tempo limitado?

É por tempo determinado para aquele projeto. Então, ele já entra no projeto sabendo que ele não vai poder publicar, que aqueles resultados são de propriedade do [Instituto] e da empresa.

Ok, não envolve alunos, por exemplo?

Não envolve. A gente não tem bolsistas de mestrado e doutorado nesses projetos, justamente para não ter esse conflito; porque você tem o aluno de mestrado num projeto que ele não vai poder publicar nada. O que ele vai fazer?

É prejudicial para ele.

Para ele.

Não sabe o que vai fazer depois, não é?

Isso.

Foi o que eu imaginei.

Então, a gente opta por contratar via CLT. Ele vai ter o salário, muitos deles fazem pós-graduação em paralelo, e aí a pós-graduação que ele faz ele publica; não tem nada a ver com o projeto da empresa.

Tem que ter um controle bem grande para não ferir as fronteiras, não é?

É. A gente tem todo um cuidado, assina documentos de sigilo, tem todo um cuidado o que você pode falar, o que você não pode.

E, essas empresas que vêm procurar serviços, elas vêm com pessoas capacitadas para entender o que o [Instituto] tem disponível?

Muitas sim.

Porque, em alguns casos, são pessoas altamente qualificadas para entender.

Sim. Mas, tem empresas que têm o corpo técnico bem capacitado também. A gente tem parceiros que conversam de igual para igual com a equipe, sem problemas. Claro que tem empresas que trazem assuntos que eles não dominam. Mas, eles têm aquilo que eu te falei: eles têm um *feeling* da aplicação, eles têm a vivência do mercado. Isso agrega muito para nossa equipe.

A impressão que se tem é que a nanotecnologia é uma coisa extremamente específica. E, aí, por exemplo, se pensar a tecnologia de modo geral, espera-se, seria mais interessante, que qualquer inovação tecnológica fosse o mais polivalente possível, servisse para várias coisas. Por exemplo, a pesquisa lá que você falou que envolve a área da veterinária, a impressão que a gente tem como leigo é que só vai servir para aquilo ali e não vai ter muita coisa além daquilo.

Não, não. É o desafio de você falar com o especialista. Eu acho que não. Eu acho que não, porque é justamente isso: imagina que a gente desenvolve uma nanoestrutura e essa nanoestrutura ela pode ser usada em óleo e gás, veterinária, cosmético, em têxtil. Vou te dar um exemplo típico: você pega uma nanoestrutura contendo um filtro solar. Você pode pegar essa nanoestrutura e colocar num creme para a pessoa. Você pode colocar num tecido. Você pode colocar numa lona de caminhão, num [produto] que vai ao sol. Você pode colocar numa tinta de parede que sofre com intempéries. Você pode colocar numa peça de plástico que sofre intempérie com radiação ultravioleta. E, nós estamos falando de uma mesma tecnologia. Então, assim, eu tenho uma visão diferente, talvez, dessa percepção, porque a nanotecnologia, pelo fato dela simplesmente manipular matéria numa escala de tamanho menor, dando novas propriedades a essa matéria, é muito mais amplo do que as tecnologias. Entendeu?

Sim, sim.

Como a gente pega o material que antigamente a gente manipulava assim, e o mesmo material agora eu manipulo ele assim, e pelo fato de eu manipular ele assim ele me dá outras propriedades que ele não me dava. Quando eu manipulava ele em macroescala, ou microescala, eu estou ampliando a aplicação desse material, se eu estou ampliando, eu estou tornando o negócio mais abrangente do que superespecífico. Eu tenho uma visão que, na verdade, a nanotecnologia ela expande o uso de alguns materiais; coisa que a gente usava de forma circunscrita, porque eu não conhecia direito o material. Mas, é uma visão de especialista.

E, nesse caso, nessa tua percepção, o exemplo que você deu foi bom: de que eu posso pensar uma nanoestrutura e aplicar em várias coisas. Mas, isso é uma projeção tua otimista ou é algo já factível?

Tem algumas coisas já acontecendo, já acontecendo.

Então, não está num plano de otimismo?

Tem algumas coisas que acontecem em várias áreas. Você pega o exemplo, que também acho que se você procurar você vai encontrar, nanoargilas, que é uma argila específica

que o pessoal manipula e tal. Essa nanoargila os caras estão fazendo um monte de coisas. O cara põe em pneu, antichama, compósitos, fazer nanoestruturas com polímero, várias aplicações partindo de um único material.

Uma única nanoestrutura?

Isso. Uma única nanoestrutura.

E, aplicando em áreas que aparentemente não são correlatas.

Não são correlatas. Quando você olha na essência, tem uma correlação científica, mas a hora que você é usuário você não correlaciona, um cosmético com uma tinta de parede. Mas, no fundo, é alguma coisa que você está cobrindo uma superfície.

O que ele tinha que fazer é a mesma coisa, não é? Que é filtrar a radiação.

Isso. Filtrar a radiação, por exemplo, na parede e na pele. Só que, para o leigo, que não conhece o detalhe da formulação, aparentemente são coisas completamente diferentes.

E, bom, no teu caso, tua formação é em engenharia. Então, eu imagino que essa relação entre a aplicação do conhecimento, essa relação entre ciência e tecnologia, é mais fácil de ver isso. Tem como dividir, separar, por exemplo, o que é ciência e o que é tecnologia, no caso da nanotecnologia?

Existem algumas discussões da nanociência e da nanotecnologia. O nanocientista, na verdade, essa é a minha leitura, é a leitura que eu faço, que eu vivencio, o nanocientista, ele está preocupado com o fenômeno, ele está preocupado com o material, o nanotecnólogo ele está preocupado com a aplicação, com o resultado daquele fenômeno. Eu, conversando com um físico amigo aqui, eu perguntei: você trabalha com nano? Trabalho. Trabalho com nanopartículas para fenômenos magnéticos. Tá, para que aplicação? Não sei. Eu só sei que se eu pegar uma micropartícula de níquel ela se comporta assim no fenômeno magnético e, se eu reduzir o tamanho dela para 10 nanômetros, ela se comporta [de outra forma]. Dá um fenômeno magnético diferente. Onde isso vai ser aplicado? A gente brinca aqui no [Instituto] que é uma solução atrás de problema. Às vezes, acontece isso. Você encontra o fenômeno físico ali, o fenômeno químico, você fala: “superlegal, mas para que serve?” “Ainda não sei”. Mas, deixa ele na estante, uma hora isso pode aparecer. No [Instituto] a gente faz muito menos isso. Geralmente, a gente parte de um problema prático que eu preciso resolver com aquele material, e o foco de aplicação é muito claro, que é o que a gente chama de tecnologia. Agora, a parte que a gente chama de ciência de base, a gente faz mais parceria com a Universidade, um negócio mais a médio e longo prazo. Mas, às vezes, dá para você ver claramente o que é ciência e o que é tecnologia. Ciência, o cara está preocupado com o fenômeno. Se eu pegar isso daqui que é amarelo, reduzi o tamanho ficou vermelho, mudei o material. Ou seja, o material interage diferente com a luz. É amarelo e vermelho, para que serve? Ah, isso daqui eu vou fazer um *display* eletrônico de uma tela. Pode ser. Mas, eu não vou fazer, não é esse o meu objetivo de pesquisa. Acho que dá para, convivendo com os pesquisadores, dá para perceber quem faz mais nanociência e quem faz mais nanotecnologia.

Não tanto em função de uma definição, fica estritamente em função do que cada um faz?

Isso. Qual é o objetivo do cara com a pesquisa dele? A gente vê claramente que ele não tem preocupação nenhuma com a aplicação, com a geração de algo factível de ir para o

mercado nos próximos 5 ou 10 anos. Está fazendo, está descobrindo a natureza, está ali descobrindo como é que acontece o fenômeno na nanoescala. Depois, isso pode se desdobrar em alguma aplicação. Mas, não é o papel dele.

Uma outra coisa interessante, até em função dessa polivalência da nanotecnologia, talvez essa seja uma coisa que aparece bastante, assim, acho que quanto mais leigo, aparece mais, é a impressão que me dá, que é o medo que as pessoas têm da inovação, da tecnologia. E, no caso da tecnologia, parece que há. Um dos receios que eu vejo, é, por exemplo, o quanto ela pode ser controlada? Como é isso no caso da nanotecnologia? Tem um controle? Ou seja, eu consigo garantir que aquela nanoestrutura vai fazer exatamente o que eu quero e parar ali?

Como que eu enxergo isso? Assim, eu dividiria tecnologias passivas e ativas. As tecnologias passivas, sei lá, uma partícula, você sabe que ela vai parar na superfície da pele, não tem para onde ela ir. Agora, os materiais ativos que, de alguma forma, interagem com o meio biológico, de alguma forma respondem a algum estímulo, aí ele precisa ter todas as avaliações para ele fazer realmente o que ele faz e não gerar alguma distorção no meio biológico. Acho que as questões de segurança, essas questões de ciclo de vida disso, sem sombra de dúvida, têm que ser olhadas, têm que ser cuidadas, tem que ser colocado na conta na hora de desenvolver o novo produto. Isso é fundamental. O tamanho é muito importante. Uma coisa é você fazer uma estrutura de 200 nanômetros, outra coisa é você fazer uma estrutura de 2 nanômetros. Como elas vão se relacionar com o meio biológico? Com o meio ambiente? Com o ecossistema? É completamente diferente. E, isso vai refletir no processo produtivo, no controle de efluentes, seja líquido ou gasoso. Como é que vai ser o descarte desse material? Que tipo de aparato de segurança quem manipular vai ter? Então, isso tem um monte de gente estudando. Criou até um subtema, que é a nanotoxicologia. A toxicologia clássica, operacional, existe hoje a nanotoxicologia. Tem muita gente nos centros de pesquisa, laboratórios, que se especializam em olhar para as questões de segurança. Então, só que, assim, tem estruturas, que a gente até às vezes comenta, na disciplina que a gente dá no mestrado, eu estou fazendo uma nanoestrutura de manteiga de cacau, continua sendo manteiga de cacau, é biodegradável, é biocompatível, assim, a pessoa continua podendo comer, se for passar no lábio, por exemplo, se a pessoaingere. Não é um material tóxico. É diferente se você falar, sei lá, um óxido de zinco, que não é biodegradável, que é irritante. Aí, você faz uma nanoestrutura super pequenininha de óxido de zinco. Aí você precisa ter um cuidado, entendeu? Porque ela vai ter um outro impacto no ambiente, vai ter um outro impacto no usuário, vai ter que ter um controle mais específico, com um rigor maior com relação às questões de segurança. Mas, tem muita ficção, tem muita coisa que, assim, a gente olha e está muito distante da realidade. Os nanorobôs aí ainda são ficção científica, não existem.

Talvez, seja o receio das pessoas...

Com o novo, não é?

Com o novo.

Todas trazem. Toda novidade traz alguma.

Porque a tecnologia sempre esteve associada muito à ideia do controle da natureza, ao controle das coisas; formas do ser humano controlar. E, talvez as pessoas possam pensar que a nanotecnologia é tão pequenininha, que talvez esse controle não tenha ainda, que não esteja na mão do pesquisador. Quer dizer, se eu pego, por exemplo, faço um fármaco com nanoestruturas. Eventualmente, esse fármaco é eficiente,

resolve o problema. Mas, quem me garante que essa nanoestrutura não fica em algum lugar e vá fazer outra coisa?

Isso tudo tem que ser levado em consideração. Qual é o meio de excreção? Qual é o meio de metabolismo? Se é biodegradável? Se isso tudo é colocado na conta na hora de você desenhar um projeto?

Não para só ali na cura, por exemplo?

Não. Tem todas as questões de segurança. Tem que ser. Os protocolos são bem exigentes. Quando você fala em fármaco então, é bem exigente.

Na tecnologia de um modo geral, há essa preocupação. Acho que na nano talvez tenha. Por exemplo, uma tecnologia que seja pensada para uma coisa boa e que possa virar uma coisa ruim. Por exemplo, falando em fármaco, eu posso pensar num fármaco, mas, de repente, isso pode gerar uma arma química poderosa, por exemplo?

Nunca nos deparamos com esse assunto; ainda bem. Que, no fundo, a gente trabalha, assim, com materiais relativamente conhecidos já. Acho que esse pode ser assim em situações onde você está desenvolvendo coisas muito novas, materiais muito diferentes, não sei. Mas, nunca tivemos, pelo menos que eu tenha experiência, não tivemos esse.

E, nem teve notícias em nível internacional?

Não. Nunca vi esse tipo de abordagem, não. Claro que você manipula substâncias que são tóxicas, tem que ser tomado um cuidado e tal. Mas, isso é já da indústria química de uma forma geral. Não é o fato de ser nano. O cara está manipulando lá uma nanopartícula no meio de um solvente tóxico, esse solvente tem que ser tomado cuidado; ou medicamento também. A nanotecnologia, as nanoestruturas têm muitas interfaces com o tratamento do câncer, aí você manipula drogas que são tóxicas, dependendo da concentração, que para ser remédio ou ser veneno, às vezes, é só a concentração. Numa concentração ele é remédio, na outra ele mata. Então, você precisa ter todo cuidado. O pessoal tem essa vivência. Mas, aí já é da indústria química, farmacêutica. É algo não da nanotecnologia.

Até agora não apareceu nada de novo por ser nano?

É. Falar isso aqui agora, é que eu tenho notícia, assim, claro, um exemplo clássico que é importante, mas isso já era conhecido, você tem alumínio. O alumínio numa macroescala a gente põe no fogo, faz panela. Se você transformar em nanopartícula de alumínio ele é extremamente oxidante. Ele pega fogo muito fácil. Quem trabalha com estruturas de alumínio sabe que precisa ter cuidado porque aquilo é explosivo. Então, normalmente o cara faz em atmosfera inerte, que não tem oxigênio e tal. Mas, isso é conhecido já do alumínio.

Ah, tá, não foi um risco que surgiu a partir da nanotecnologia?

Não, não. Se você tem um sal de alumínio, tem alguns sais que têm um risco.

Quem quisesse fazer bomba, por exemplo, já teria o conhecimento?

É. Acho que sim. Nunca vi nenhum relato de “ah, agora a nanotecnologia encontrou um outro meio de se construir algo”.

Uma bomba mais potente ou algo assim?

É. O que já tinha que fazer já estão fazendo com estrutura nuclear. Está no nível atômico, não está no nível da molécula.

Uma coisa que tem aparecido nos últimos tempos, não sei como está aqui no Brasil, assim, se está no mesmo padrão, é quando você pensa, por exemplo, em projetos de tecnologia de um modo geral, prevê que, se o resultado não for o esperado, tenha um nível de reversibilidade. Poderia se pensar isso na nanotecnologia?

O que seria reversibilidade?

Por exemplo, eu vou fazer uma tecnologia que vai causar uma transformação ambiental. Mas, no meio do processo, se verificou que o resultado não era o que se esperava, mas há como reverter. Eu consigo recuperar, por exemplo, uma degradação ambiental. Isso já estaria previsto no projeto: se aqui não acontecer o que a gente espera, tem como reverter, se não totalmente, boa parte. Teria como pensar isso na nanotecnologia? Tem algum caso que se aplicaria isso?

Nunca vivi, ou vi ou li sobre o assunto. É, assim, quando a gente desenvolve, não sei, pelo menos a nossa realidade, a gente desenvolve um projeto, a gente vai tanto passo a passo, até você ter um impacto ambiental tem que chegar em escala industrial para ter. Enquanto a gente está aqui, a gente faz pequenas quantidades, isso vai para um tratamento. A gente coleta, guarda aquele resíduo, isso vai para um tratamento, o parceiro leva, faz um tratamento de resíduo lá específico. Não pensei, assim, nunca chegou essa demanda para nós.

E, tampouco tem notícias de que tenha?

Também nunca procurei; nunca olhei com esses olhos de, às vezes, pode ser que alguma situação, se você procurar especificamente, exista um relato. Desenvolvimento de alguma tecnologia que tenha acontecido isso, mas, geralmente, é feito de maneira bastante... Porque, mais uma vez, a nossa atuação aqui no [Instituto], em nanotecnologia vem muito focado na indústria química e essa questão ambiental da indústria química já é um [tema] bem monitorado. Muitas indústrias já estão bem.... Geralmente, ela pega a água do rio e devolve melhor do que quando ela pega.

Até porque tem que devolver antes de onde pega, não é?

Isso. Então, eles já seguem um rigor ambiental bem grande. Então, talvez em outras áreas, outras aplicações, que sejam de outras áreas talvez tenha esse tipo de abordagem.

Outra coisa que você comentou que é interessante é a questão dos resíduos. Isso também se aplica no caso da nanotecnologia, então? Há uma preocupação com a produção de tipo de resíduo?

Sim, sim. Claro, tem sempre que pensar em qual resíduo que vai ser gerado. Como é que vai ser tratado? A gente sempre tem essas discussões.

Já é incorporado no projeto da pesquisa?

No processo do parceiro. Como é que ele vai lidar com esse material?

Lá no começo, quando surgiu essa ideia da nanotecnologia, se falava muito nisso. De que a nanotecnologia vinha como uma espécie de solução ambiental.

Tem muitas aplicações de nanotecnologia para a área ambiental, para descontaminação, tratamento de água.

E, até no menor gasto de matéria prima?

Isso.

É uma economia de matéria prima?

Isso. Uso mais racional do material. Menos desperdício.

Mas, isso é verdadeiro?

Existem algumas tecnologias que vêm da nano que, se você “gugar”, tem um produto que é superinteressante. O cara fez, sabe aqueles saches igual de chá, assim? Um sache preto e aquilo é uma nanoestrutura a base de carbono que é um filtro extremamente absorvente. Então, tem uma garrafa assim, hoje já é bem comum isso. Ele abre a garrafa, põe aquele sache, enche a garrafa com água do rio, água não potável, põe aquele sache e começa a beber. Foi desenvolvido para a área militar. Só que o cara expandiu para áreas remotas da África, onde não tem água potável. E, o cara pode beber água potável de água completamente insalubre.

É um filtro mecânico?

É mecânico. Ele vai chupando e a água vai passando por aquele filtro e já vai saindo. Tem os vídeos que o cara faz um canudo recheado. Aí o cara põe o canudo direto no rio e já puxa direto do rio. Dá uma olhada no YouTube.

É recente essa tecnologia?

É, talvez uns 4 a 5 anos. É recente.

E você lembra de que país que era?

Hoje, o produto, você sabe que era militar depois que fica público.

Ah, sim, porque até então não sabia que existia?

É, não sabia que existia. Então, a empresa, eu acho que ela está radicada na África do Sul, se eu não me engano. Parece que fez esse sache aí, que vende, que distribui. Eu nem sei se ele vende ou distribui. Mas, é um exemplo. Um exemplo de tecnologia que vem para ajudar as questões ambientais.

Isso tem até a ver com a última questão que eu tinha aqui. Que é da responsabilidade social que se cobra muito da tecnologia, bom, da pesquisa de uma maneira geral. Se uma tecnologia nova pode gerar, tanto um benefício social, como esse caso, por exemplo, quanto em outros casos gerar, piorar, as diferenças sociais.

Eu acho, assim, a pessoa que faz qualquer pesquisa bem intencionada, de alguma forma, ele deixa um legado positivo social. Seja na formação de um recurso humano especializado, seja na descoberta de um novo material; seja na descoberta de um novo

processo, seja na descoberta de um novo tratamento de uma doença. Nós recebemos recentemente um professor do ENCOR aqui. É um professor que ele tem uma carreira super consagrada e ele está há 30 anos pesquisando uma nanoestrutura, que é uma nanoestrutura derivada de um colesterol. Toda a pesquisa dele é associada a tratamento de câncer e doença do coração. Você vê o painel, de medicamento superagressivo, quimioterápico, um medicamento desse, uma pessoa aguenta 3 doses, 4 doses. Tudo bem, mata a célula cancerígena, mas o cara fica numa situação... Dentro da nanoestrutura, a pessoa fez o tratamento completo sem um sintoma de vômito, de diarreia, de nada. Assim, é fascinante a pesquisa do cara com a nanoestrutura que ele desenvolveu.

Por si só já tem um alcance social.

Um monte de gente tratada. Minha aluna de doutorado pegou 19 pacientes terminais, 15 estão vivos até hoje.

Ah, então já está em fase de aplicação?

O doxil, que é o medicamento clássico lipossomal no tratamento de câncer, é vendido no mundo todo já, com nanoestrutura. E, ele tem um efeito colateral muito menor do que o medicamento clássico.

Bom, outro problema é o custo disso para o paciente. Por exemplo, eu crio isso, como esse pesquisador. Só o fato de ele ter feito isso, a projeção de salvar vidas já é uma contribuição extraordinária.

Extraordinária. Mas, tem o custo de investimento. Mas, que, assim, conforme você vai popularizando a tecnologia; se pensar numa tela de um celular desse há 15 anos atrás era uma fortuna, hoje todo mundo tem. Eu acho que, assim, isso que a gente tem que pensar: a tecnologia hoje, talvez uma nanoestrutura, um medicamento desse nanoestruturado, hoje é mais caro, o governo tem que ajudar você a pagar, você não dá conta. Mas, vamos popularizando, vamos tendo mais empresas envolvidas que, de repente, isso daqui vai virar uma “dipirona” daqui a alguns anos, entendeu?

Até porque senão pode ampliar as desigualdades. Se é um tratamento muito caro, os países ricos vão ter boa saúde, os pobres...

Começa pelos ricos, infelizmente, que têm acesso ao recurso. Mas isso, historicamente, tende a massificar.

O último ponto é a questão da sustentabilidade. Você já comentou a questão do cuidado com resíduos. No caso da nanotecnologia, como ela é racional no uso da matéria prima, talvez já esteja implícita?

Ela tem uma abordagem sustentável. Uma preocupação com a sustentabilidade, olhando para as questões econômicas e ambientais. Social é reflexo da tecnologia propriamente dita. Isso meio que permeia as discussões.

Porque imagino eu que não faria muito sentido um país pesquisar, por exemplo, uma tecnologia, uma nanotecnologia, que exigisse uma matéria prima que seria difícil de conseguir, por exemplo?

Isso. Não tenha fornecimento industrial para depois atender o produto. Isso a gente já mata no projeto.

Nem vai para frente?

Nem pesquisa. Se eu vou fazer uma nanoestrutura com material que custa milhões de dólares a grama, talvez para outra aplicação sirva, mas para essa que a gente está buscando não faz sentido. Isso a gente já, pelo menos aqui nos nossos projetos, é meio num “v_o” ali para o projeto. Você está pesquisando uma coisa para agro, por exemplo. Agro é tudo milhões de litros, ainda mais no Brasil. Então, não faz sentido você pegar um material que você vai ter, sei lá, produz 10 quilos por ano do negócio. É um absurdo; esquece.

Ou encontra uma situação perfeita, por exemplo, para tratamento de uma lagarta que mata a soja, mas que exige uma matéria prima caríssima.

Isso; que não viabiliza economicamente, vai ficar na gaveta, não vai para frente, infelizmente. Mas, pode ser, sei lá, nesse momento não viabilizou economicamente. Mas, está aqui o conhecimento gerado. Pode ser que daqui a algum tempo, quando essa matéria prima baratear, ou o conhecimento adquirido com isso daqui poder ser usado com outra matéria prima mais barata, ou não serve para a lagarta, mas serve para o tratamento de uma doença rara em humanos. Isso, se você produz 2 quilos, trata todo mundo no ano. Não é perdido o conhecimento gerado. A gente não perde, mas para aquela aplicação, para aquele objetivo inicial do projeto, ele inviabilizou. Faz parte do risco tecnológico. As empresas, elas têm consciência disso.

Pesquisador 6 (P6)

Como eu tinha comentado, essa parte aqui envolve mais essa conversa com pesquisadores que trabalham com pesquisa em nanotecnologia. Aí a primeira questão é geral. É para você descrever, em linhas gerais, algum projeto sobre nanotecnologia que você esteja envolvido, o tema da pesquisa, a duração, se for possível, quais agências são financiadoras do projeto, essa é a primeira questão geral.

Basicamente, a principal área do nosso Centro aqui é a área de célula combustível e, dentro dessa área de célula combustível, existe dentro da parte dos eletrodos, principalmente na célula de baixa temperatura, a preparação de catalizadores. Na faixa de temperatura que nós trabalhamos aqui, que é até 80 a 100 graus Celsius, você precisa trabalhar com materiais nobres. Então, na realidade, o que nós fazemos é a síntese manométrica desses materiais. Por exemplo, no caso de uma célula combustível alimentada com hidrogênio, então, na realidade, o que é a célula? Você tem uma reação; você tem dois eletrodos onde você vai ter uma oxidação e a redução, uma espécie de uma bateria. A única diferença da bateria é que a gente tem o fornecimento dos reagentes diretamente. Então, está sempre fornecendo os reagentes. No caso do hidrogênio, a gente vai ter a oxidação do hidrogênio no anodo e a redução do oxigênio no catodo, então você gera um potencial, gera corrente elétrica. Basicamente, é isso. E, esses dois eletrodos, às vezes, têm contato com uma membrana. Aí a membrana também ela pode ser constituída de nanopartículas, então tudo é nano-partícula. E, como nós fazemos essa síntese? A gente faz por processos químicos. Tem vários tipos de processos, radiolíticos, processos químicos; no nosso laboratório aqui são processos químicos. A gente pega um agente redutor forte, parte de um sal de platina, e reduz a platina metálica num suporte, então, ela pode ser não suportada ou suportada. Geralmente, no caso de ser suportada, pode ser no carbono, pode ser no grafite, pode

ser no grafeno, pode ser em diferentes substratos. Basicamente, é essa a nossa linha de pesquisa. Hoje, a gente estuda, a gente faz aplicações, por exemplo, com essa política do que será depois dessa era dos combustíveis fósseis, uma alternativa hoje em dia, o pessoal está trabalhando com metano. Aqui, um dos projetos grandes que a gente tem no Centro é justamente a oxidação do metano ou a transformação do metano em produtos de maior valor agregado. Então, você pode, por exemplo, transformar o metano, que é um poluente ambiental, numa molécula menos agressiva ao meio ambiente. No caso, por exemplo, desse projeto que a gente trabalha do metano, que é um FAPESP/SHELL, é a obtenção do metanol. O metanol é para combustível mesmo, para se utilizar tanto como combustível em substituição ao etanol, no caso do Brasil, a gente tem o etanol, que é produzido em larga escala. Mas, é uma alternativa ao etanol para você poder também, como já existiu em outras épocas, a utilização do metanol como combustível. Então, essa é uma ideia dessas petrolíferas, dessas grandes empresas associadas à FAPESP. Um outro projeto que nós temos aqui é justamente um projeto temático da FAPESP, que é a oxidação direta do etanol. A oxidação e a reforma do etanol. Basicamente, são esses dois grandes projetos que o Centro tem, fora as pesquisas individuais de projetos menores; os Editais do CNPq e projetos pessoais da FAPESP.

Tem várias questões que eu vou fazer, provavelmente, algumas vão soar como questões de leigo. Nesse caso desses projetos, em que a nanotecnologia melhora esse produto? Por que, por exemplo, os combustíveis já têm, mas em que a nanotecnologia melhora isso?

Então, o que a gente tem como objetivo é o aumento da área superficial. Quando você tem essas partículas de platina, nanopartículas dispersas no carbono, você tem uma alta área real ativa do que se você tivesse, por exemplo, um pedaço de metal lá. Então, por exemplo, você ter essas nanopartículas, essas pequenas partículas de platina dispersas no carbono, tem uma área superficial, uma área real ativa muito maior do que se você tiver, por exemplo, um tarugo de metal. Com isso, você vai ter uma menor quantidade de material empregado e um maior rendimento para a reação.

E, também parece que tem uma diminuição de resíduos, que você comentou, que é menos agressivo ao ambiente?

É, no caso, por exemplo, você está trabalhando com metano, você tem a queima do metano, ela pode destruir a camada de ozônio, ela pode criar uma série de problemas ambientais. Então, por exemplo, o que acontece? No caso do pré-sal, você vai explorar o petróleo em profundidade, quando você retira o petróleo, você retira esse gás e o que o pessoal geralmente faz? Retorna esse gás, injeta esse gás de novo lá no mar, porque não tem um consumo desse gás. Ele pega e injeta. [melhor] que jogar no ambiente. Então, uma forma de você estar trabalhando com esse gás, ele está produzindo moléculas de maior valor usando técnicas eletroquímicas e usando a nanotecnologia para isso. Então, teoricamente você teria uma menor poluição ambiental.

Nesse caso, em um deles tem a participação da SHELL?

Tem a Shell, um projeto FAPESP/Shell, se não me engano é de 2016. 2016 ou 2017, porque demorou quase um ano para ser aprovado e aí tem a participação da Shell. A gente participa de um outro projeto também, esse que é, não sei se você já ouviu falar, que na realidade começou com a *British Gas*, que na realidade eram células combustíveis utilizando diretamente o metano. Mas, aí a Shell comprou a *British Gas*. E, aí é um projeto que é junto com a [Universidade]. A gente está nesse projeto também. Então, são 3, antes era com a *British Gas*, agora são dois projetos com a Shell.

E, esses projetos que envolvem pesquisas em nanotecnologia têm algumas exigências específicas por se tratar de nanotecnologia, por exemplo, quando é avaliado para financiamento? Tem um protocolo específico?

Parece que existe uma prioridade do tema nas agências governamentais. Então, teoricamente, existe um apoio para isso. Agora, legislação e regulamentação, ainda não. Não existe. Tinha alguma coisa lá no Congresso Nacional, mas acho que não foi aprovado, porque o pessoal não sabe que tipo de problemas a nanotecnologia pode trazer para o ser humano. Então, o pessoal já faz estudos em meio aquático, em alguns meios, e sabe que existe algum problema de causar alguma mutação, alguma coisa em alguns seres vivos, mas para o humano ainda não existe. Então, falta uma regulamentação de como se trabalhar e em que condições você deve trabalhar. Não existe uma legislação para isso. Existe certo cuidado, uma orientação para o pessoal trabalhar, mas não necessariamente; não sei se é todo mundo que segue esses procedimentos de segurança, digamos assim.

No caso de trabalhos com nanotecnologia?

Sim. Por exemplo, quando você fala em nanotecnologia, no nosso caso, a gente está falando da ordem de 3 nanômetros. Então, você não tem, por exemplo, num corte, se você tem um corte no dedo e esse metal nobre entra na sua circulação sanguínea, que tipo de problema ele pode causar? Sabe-se que é difícil a cicatrização, que a gente já viu algumas pessoas com cortes e sem luva ter problema de cicatrização. A platina ela vai catalisar as próprias reações do nosso organismo, vai ser um catalisador. Então, pode causar algum problema mais drástico.

Mas, nesse caso aí, esses problemas já são conhecidos, mas ainda não tem uma legislação?

Não, aqui no Brasil, não. Tanto é que, numa época, se não me engano, era um dos [nome do político] aí que tentou passar uma regulamentação sobre isso. Mas, era muito retrograda na época e não foi para frente.

Ah, que era ministro do meio ambiente?

É. Justamente. Agora, o grande problema, que não é só a nanotecnologia, passa a ser o problema dos fármacos em geral, que nós não temos um tratamento dos nossos resíduos residenciais, são jogados. Então, por exemplo, a gente está tendo a produção de superbactérias justamente por não tratar esses resíduos e uma possibilidade de tratar esses resíduos é associar a eletroquímica com a nanotecnologia. Então, você, por exemplo, levar para o meio ambiente ou despejar no rio, é um produto menos agressivo ao meio ambiente ou aos seres vivos que vivem nesse meio ambiente.

E, você comentou essa questão de que pode interferir no meio ambiente, nos seres vivos e meio ambiente. Mas, está no nível de cuidado ou já está no nível de saber que afeta, mas não se sabe o quanto?

É, na realidade, eu não sei se existem os estudos. Eu acho que deve estar muito no início, sabe que tem algum efeito, mas não totalmente, digamos assim, a noção total do que poderia acarretar. Sabe que tem algum efeito, mas não totalmente. É um pouco complicada essa questão.

Bom, pelo que eu entendi, um projeto que seja proposto para a FAPESP, por exemplo, não vai ter nenhuma condição específica por se tratar de uma pesquisa em nanotecnologia?

Não. Se não envolver seres vivos não tem problema nenhum.

E, se envolver seres vivos? Mas, aí entra no geral?

Aí entra nos comitês de ética que existem, de segurança, de ética. Então, por exemplo, eu não trabalho com isso, mas a nanotecnologia também pode ser direcionada para seres vivos.

Mas, aí entraria, seria uma exigência de pesquisas em todos os casos que envolvam seres vivos, não só a nanotecnologia?

Sim, sim. Mas, assim, por nanotecnologia não existe um protocolo ou um critério ou comitê que analise os trabalhos.

Que fosse específico?

Sim.

Ainda não tem?

Ainda não tem esse comitê. Provavelmente, uma hora vai ter. Mas, no momento não.

E, você sabe dizer em nível internacional como está isso? Se está na mesma discussão?

É. Tem uma discussão um pouco mais aprofundada, mas também, por exemplo, já se trabalha há muito tempo com nanotecnologia, mesmo nas indústrias automotivas, catalisador, já se trabalha com isso, mas não é dado tanta importância para isso. Mas, ultimamente tem sido dado uma importância a isso, mas já se trabalha, já tem várias empresas. Eu acredito que um estudo deva ter, mas eu não sei se baseado no efeito da nanotecnologia. Qual é o efeito da nanotecnologia, por exemplo, numa doença ocupacional? Acho que isso não tem. Mas, isso já vem, você tem, por exemplo, vários tipos de problemas em indústrias de produção, talvez a indústria cerâmica, que também envolve algum processo que é nanotecnológico, que causa determinadas doenças. Mas, eu não sei se existe uma associação da nanotecnologia com essas doenças ocupacionais. Mas, existem problemas.

E, nesses casos desses projetos, se aplica aquele conceito de ciência aberta ou tecnologia aberta? Por exemplo, nesse caso de um projeto financiado em parte pela FAPESP e em parte por uma empresa privada, a Shell; como fica isso? Imagino que tenha um contrato de proteção.

Existe um contrato que é feito geralmente entre a instituição e a FAPESP. É assinado um contrato. Aí, acho que passa pelo jurídico de cada Instituto para elaborar o contrato da melhor forma possível para as partes envolvidas.

E, de modo geral, as pesquisas em nanotecnologia, elas têm esse perfil de estarem disponíveis? Não sei se dá para fazer uma analogia, mas talvez esse termo seja mais comum assim na área de softwares. Então, um tempo se falava de softwares livres, a gente baixava e usava, e depois apareceu esse conceito de softwares abertos. Ou seja, não só as pessoas podem baixar como também elas têm o algoritmo para melhorar

ele, ou coisa assim. Fazendo um paralelo, teria alguma coisa parecida na nanotecnologia? Por exemplo, nas pesquisas que são divulgadas?

Eu acho assim: tem muitas pesquisas que são voltadas para confecção de patentes. Então, tem um certo sigilo. Mas, a partir do momento que você faz uma publicação científica, que envolve tecnologia, eu acho que de certa forma ela fica aberta para a sociedade. Então, eu acho que tem um pouco das duas coisas envolvidas.

E, tem como fazer uma análise, no caso dos artigos que são publicados? Por exemplo, as pessoas que querem replicar aquela experiência ou aquela manufatura, conseguem fazer? Ou, às vezes, tem algumas caixas pretas que não está divulgado ali? É possível fazer uma análise disso?

Então, alguns artigos você consegue repetir a experiência no laboratório, outras não. Às vezes, tem alguns segredos que a gente, no jargão da parte científica, a gente fala “pulo do gato”. Então, às vezes, tem isso sim. Aí, vai mais na experiência da pessoa, de conhecer um pouco mais sobre a química ou a física para notar o problema. Mas, existem muitas coisas que a gente tem dúvida se aquilo lá, de fato, é real e possível de obter. Tanto é que as revistas científicas estão mudando a política de publicação. Você é obrigado a enviar seus dados básicos, não o seu resultado em si. Como você chegou naquele resultado? Então, tem um protocolo que você vai enviar para aquela revista para mostrar que é possível chegar naquele resultado. Mas, hoje em dia, não. Hoje em dia, tem uma parte que sim, uma parte que não, e eu acredito que deva ser uns 30% que a gente consegue, mais ou menos, ler um artigo, pegar e replicar diretamente no laboratório. Outros você tem que fazer um pouco mais de estudo, é aquilo lá mesmo, mas tem, às vezes, a questão da temperatura, tem um ou outro detalhezinho ali, na forma de adição dos reagentes. Então, você vai meio que na tentativa e erro até você chegar.

Mas, essa omissão, ela foi pensada, ela foi intencional de quem a fez?

Às vezes, sim, às vezes, é a forma da pessoa escrever o inglês. Da forma como ela coloca no papel dá margem à interpretação. Tem a parte intencional e tem, a gente nota, sente que tem a parte intencional e a parte não intencional.

Quem fez, suponho que sabe todos os detalhes do processo.

A gente tem muita dificuldade com os artigos dos Chineses. Muita dificuldade de a gente ver ou notar que existe algum erro. Depois de um tempo, sai uma retratação com relação àquele artigo. Então, a gente vê essas coisas assim.

Interessante. Bom, uma outra questão que chama a atenção é a impressão que se dá, que traz a nanotecnologia, é de que é uma pesquisa extremamente especializada e que, portanto, cada pesquisa teria uma aplicação muito específica, para uma coisa só. E, não que fosse possível usar uma mesma pesquisa para um monte de coisas. Faz sentido isso ou não é essa a realidade?

Então, para algumas situações, sim; outras não. Por exemplo, como eu disse para você, no caso de você estar preparando um catalisador para ser utilizado no escapamento do seu carro, a nanotecnologia pode ser aplicada numa larga escala.

Todos os catalisadores de automóveis, por exemplo?

O que o pessoal vem fazendo é, justamente com a tecnologia, ir aprimorando cada vez mais esse tipo de situação. Porque, deixa eu tentar dar um exemplo. Há muitos anos atrás, você tinha, por exemplo, no caso de método de preparação, você tinha um ou outro método na literatura. Então, esses métodos eram de difícil reprodutibilidade do resultado. Você, por exemplo, preparava um lote excelente e um outro que não era tão bom. Com o advento do desenvolvimento das sínteses químicas, você adicionar um agente controlador de crescimento das partículas você, de certa forma, aprimorou essa tecnologia. Então, hoje você tem um material com maior durabilidade, um material mais resistente. Então, a nanotecnologia, com o desenvolvimento de métodos químicos, permitiu que, de certa forma, melhorasse bastante coisa.

Então, poderia se pensar que, em alguns casos, esse produto nanotecnológico é polivalente?

Sim. Agora, o que eu poderia dizer para você? Por exemplo, não dá para usar só nanotecnologia. Então, você vai ter que usar nanotecnologia para algumas coisas. Não dá para ser todos tecnologia, por causa de custos e uma série de coisas. Para uma aplicação um pouco mais rotineira, talvez não. Mas, por exemplo, o filtro de barro, o que você tem lá num filtro de barro? Você tem nanopartículas de prata. Você tinha antes prata, evoluiu para nanopartículas de prata. A prata é um bactericida. Na forma de nano ela é mais eficiente ainda. Então, por exemplo, a nanopartícula de prata você pode aplicar no cateter. Então, por exemplo, ela vai matar as bactérias quando você fizer uma cirurgia e tiver que utilizar uma bolsinha, alguma coisa, se ela tiver nanopartículas de prata automaticamente ela vai matar as bactérias e vai evitar que você tenha um processo infeccioso. De certa forma, ela pode ajudar, vai atuar na melhora do estado das pessoas. Então, tem o pessoal, por exemplo, você vê muito médico saindo do hospital, sai do consultório de jaleco e vai no restaurante, então ele está levando bactérias e trazendo bactéria. Uma forma que hoje o pessoal estuda é justamente de no tecido você depositar prata para, de uma certa forma, matar muitas dessas bactérias. Então, isso é tudo a nanotecnologia que proporciona. Agora, o custo disso é altíssimo. E, não dá para usar sempre esse tipo de coisa, então têm que ser aplicações específicas. Não dá para usar em tudo; em algumas coisas, se não encareceria muito o produto final.

E, nesse exemplo da prata, por que aumenta a capacidade?

Então, é justamente isso: porque você tem uma realidade, quando você dispersa esse material tem uma área de atuação dessa prata muito maior. Você tem essa dispersão, então ela consegue absorver muito mais coisas do que estiver concentrado numa área pequena. Então, é isso que o pessoal, às vezes, não consegue entender. Você não consegue visualizar, você tem uma quantidade muito pequena. Mas, isso está bem disperso e é uma área muito grande. É como se você pensasse numa esponja. Você tem um pedaço de pano e tem uma esponja. Você vai secar com o pano lá você vai demorar horas e a esponja você põe lá ela já puxa tudo. Seria mais ou menos isso.

A próxima questão tem até a ver com aquele tema dos riscos da nanotecnologia. E, aqui também talvez seja um pouco influenciado, o medo das pessoas talvez seja um pouco influenciado, pela divulgação científica ou coisa assim. Que é pensar, por exemplo, se a nanotecnologia, um determinado componente, uma determinada estrutura nanotecnológica, ela vai fazer exatamente aquilo que a gente quer que ela faça e só vai fazer aquilo. Por exemplo, um fármaco, alguma coisa assim, ela vai tratar algum mal e, ok tratou, mas para onde vai aquilo depois?

É, então, esse é um problema que, por exemplo, você teria que ter um tratamento dos resíduos. Você teria que ter uma reciclagem dessa nanotecnologia. Você teria que ter um posto para recolher e reciclar. O problema é que, por exemplo, quando você fala em nano, você tem diferentes tipos de materiais para você separar depois esses materiais. Então, vou dar um exemplo no caso da célula que você gera os eletrodos. O pessoal raspa os eletrodos, queima o eletrodo e fica com a platina, mas, por exemplo, quando você está trabalhando no caso da célula que você tem não só platina, tem um outro metal, você precisa saber que metal que tem ali para poder separar, então já complica. O custo do processo seria altíssimo, mas eu acho que o processo ideal seria reciclar, ter um lugar que você recebesse o material, tratasse, separasse, e tentasse colocar no mercado novamente, porque, senão, a nanotecnologia baseada em metais, você usar metais mesmo que quantidades pequenas, dependendo da aplicação, ele pode ter o problema de esgotamento desses metais, então vai existir a necessidade da reciclagem.

Mas, então, pelo que eu entendi, atualmente não tem muito esse cuidado com os resíduos?

Geralmente, aqui a gente recolhe os resíduos.

Porque está num contexto de pesquisa?

Mas, assim, a gente não tem esse controle se todo lugar que trabalha com isso tem um controle de toda a quantidade de resíduo que é gerado. Isso cabe, por exemplo, ao IBAMA, o pessoal que fiscaliza o meio ambiente estar verificando essa situação.

Porque eu fico pensando, por exemplo, no caso de grandes escalas. Tem já alguns produtos de beleza com nanotecnologia? Por exemplo, um creme qualquer que é passado no corpo para alguma coisa, tem ali o efeito esperado, mas quando a pessoa se lava aquilo vai para a rede fluvial e como fica o risco disso?

Então, isso ninguém sabe. Esse que é o problema que eu tentei fazer analogia com os fármacos, não é só da nanotecnologia. Por exemplo, se você toma um antibiótico, vai e urina, você está jogando aquele antibiótico no meio ambiente. Aquilo vai para o esgoto, tem contato com as bactérias e o que acaba acontecendo? Muita bactéria morre, mata, às vezes, a parte da flora daquela região, mas alguma bactéria fica resistente àquele antibiótico. Então, é o grande problema que nós estamos tendo que são as superbactérias que vêm justamente do descarte não efetivo dos fármacos no meio ambiente sem tratamento específico.

Que nem é nanotecnologia necessariamente?

Que não é. E, a nanotecnologia é mais ou menos uma situação parecida. Ela vai, por exemplo, catalisar reações, pode provocar uma mutação num determinado organismo, numa bactéria, num fungo, entendeu? E, a gente não sabe que tipo de problema que pode acarretar, pode surgir uma nova doença, um fungo mais resistente. Basicamente, é isso. Então, de fato, teria que ter um controle, um tratamento dos resíduos, antes de ser jogado nos rios ou no meio ambiente.

E, não teria como colocar uma vida útil, por exemplo, pegar o mesmo caso dos produtos de beleza, um creme lá que faz o que tem que fazer ali com a nanotecnologia, resolve lá o problema, mas nessa estrutura colocar uma vida útil nela? Para que em um certo tempo ela se degrade?

Então, geralmente, a gente coloca isso. Por exemplo, a gente já trabalhou com parceria com indústria, com desenvolvimento de alguns materiais, existia uma validade, um tempo de validade para isso. Mas, assim, eu acredito que na pesquisa você produz um material e o custo desse material é muito alto, você não vai pegar e descartar. Você vai deixar reservado ou faz um tratamento desse material, uma ativação desse material, que também é possível, e continua trabalhando com ele. Porque, por exemplo, no caso você trabalha com platina, com paládio, o custo disso é altíssimo, então você não pode desperdiçar esse material.

Mas, aí é em escala de pesquisa?

É. Aqui na nossa escala, é.

Mas, aí há um controle?

Aqui tem um controle efetivo. Mas, numa escala industrial você teria que usar o processo mesmo de reciclagem, não dá para fugir disso. Então, você vai ter que pegar um material vencido, tratar esse material, tentar voltar ele na condição inicial de uso, e preparar ele novamente.

E, no caso da ciência e da tecnologia, de modo geral, a gente conhece casos na história de algumas coisas que foram produzidas, conhecimento, artefatos, para uma coisa que acabou sendo usado para outra, às vezes, não tão positiva quanto o inicial. Isso se aplicaria para o caso da nanotecnologia? Pode-se pensar, por exemplo, de algum artefato, algum produto que tenha um efeito positivo e benéfico, mas que possa ser usado para algo não benéfico? Negativo? Por exemplo, no caso do fármaco, ele resolve o problema da doença, mas pode se transformar em uma arma química. Tem esse risco também na nanotecnologia?

Tem. Tem mau uso também. Hoje em dia, por exemplo, nessa questão dos lasers, você pode também, de certa forma, usar nanotecnologia, produzir nanolasers com potência muito maiores e daí você pode estar levando à criação de alguma arma com maior potência.

Uma mesma tecnologia, que poderia ajudar a fazer um bisturi mais eficiente, poderia também...

E, acontece. Você deve saber, o micro-ondas, a invenção do micro-ondas, foi exatamente, era uma ideia de fazer, ter uma arma que o exército pesquisava, eles descobriram que só esquentava a molécula de água. E, na nanotecnologia tem também. Você pode usar tanto para o lado benéfico como você pode, por exemplo, que hoje em dia que o pessoal fala muito dos nanorobôs, que nada mais é que a nanotecnologia. Você vai pegar, por exemplo, fazer uma nanopartícula cerâmica, com princípio ativo do fármaco, e vai direcionar diretamente para o tumor. E, aí teoricamente ele vai atacar e destruir aquelas células cancerígenas. Agora, por exemplo, esse material fora do organismo, na mão de determinadas pessoas, dependendo da quantidade, é um lixo atômico, que pode ser usado para uma série de coisas, essas bombas que os terroristas usam de contaminação.

E, esse caso é também um exemplo daquele problema do meio ambiente. Esse robzinho faz ali o que era para fazer, mas depois?

É, então, dependendo de como ele for descartado no meio ambiente, ele vai provocar um efeito que a gente não sabe qual vai ser na flora ou na fauna. Porque, por exemplo, o

efeito, que nem o da radiação, o efeito vai ser interno, às vezes, a radiação alfa não tem efeito nenhum, você pode pegar urânio, manipular, que não vai te acontecer nada. O problema é você ingerir a nanopartícula também. O pessoal sabe que se você ingerir ela vai catalisar as reações do organismo. Então, vai provocar uma mutação nas células e isso pode ser transferido geneticamente de geração para geração. Você pode gerar uma espécie deformada.

E, como está a literatura em relação a isso?

É, o pessoal começou a estudar. Mas, assim, sabe que tem um efeito nocivo, mas está muito em aberto. Não vejo uma conclusão muito específica. Tem uma linha de pessoas que diz que é prejudicial. Isso daí não deveria ser utilizado de forma nenhuma, outras que traz benefícios. Que, por exemplo, tem economia de material, materiais mais efetivos, mais resistentes, com maior durabilidade, então, traria um benefício para a humanidade.

Fazendo um paralelo, até fugindo da nossa área, acho que aconteceu algo parecido com os transgênicos, não é? Havia riscos que não se conhecia, uma parte dizia que tinha que produzir e outra não. Talvez seja inerente a coisas novas?

É, o pessoal não sabe. Eu acho, assim, tudo tem um efeito positivo e um efeito negativo. Assim, o efeito é bastante positivo, agora a questão do negativo não é claro ainda, mas a gente imagina que tem. Tanto que a gente já viu colegas, que não trabalhavam com tanto cuidado na época, estudante, fazendo uma pesquisa de laboratório com o dedo cortado e tendo contato com nanopartícula de platina não ter o processo de cicatrização. Por que o que acontece? A platina vai formar os radicais livres que vão atacar a pele e destruir a pele. Então, por exemplo, uma pessoa que é leiga ela não vai ter a noção disso. Mas, a gente sabe, por causa da formação desses radicais, que em contato com a pele vão ser formados e vão destruir as células. Então, é basicamente assim; são essas situações.

Nesse caso aí, desse exemplo, era uma coisa conhecida do ponto de vista teórico e empírico. Se verificou em casos empíricos.

A outra questão, acho que já foi respondida aqui, que é essa questão justamente da previsão das consequências do artefato nanotecnológico. Quer dizer, se seria possível criar, construir estruturas que tivessem esse controle? Que fosse possível controlá-las?

Então, ela está caminhando de uma forma com as outras áreas, que você, por exemplo, a nanotecnologia permite você construir chip cada vez menores com mais potência. Hoje em dia, você sabe que, por exemplo, uma forma de você armazenar mais informações é utilizar o próprio DNA. Então, você vai começar a misturar o DNA com eletrônica, com nanotecnologia, então você começa a modificar a estrutura e as coisas. De certa forma, passa a ter uma certa vida. Uma coisa que não tem vida, de certa forma, passa a ter vida.

E, teve uma hora que você comentou de um trabalho com uma indústria e era possível colocar ali uma validade no produto. Isso é uma coisa também muito comum na tecnologia de um modo geral: nos artefatos em que é colocado ali uma vida útil. Mas, em alguns casos, não é por limitação técnica, mas por questão comercial, não é?

Comercial e econômico.

No caso da nanotecnologia, tem isso também, ou ainda não chegamos nessa escala de produção?

Você falou bem. Essa parte de cosméticos tem, você tem nanopartículas de ouro que vão servir para combater as rugas das mulheres e combater uma série de coisas. A questão é o ouro no meio ambiente, dependendo das condições do meio, ele vai catalisar as reações também. Qual é o efeito desse material no meio ambiente? Então, é recolhido esses materiais? Essa é uma questão, uma legislação que não está definida. Então, por exemplo, ele produz lá, escreve no rótulo que tem uma validade, depois que sai da indústria e ninguém mais sabe, só vai saber se encontrar um pote ou alguma coisa. Então, não é rastreável. Só vai ser se tiver um código de barra que você vai saber quando foi produzido e tal. Eu acho que falta um controle, falta uma legislação e falta uma definição de quais condições que você vai poder trabalhar em termos da nanotecnologia, desde o tamanho das nanopartículas, desde quanto que você vai poder usar desses materiais.

Algumas aplicações tecnológicas têm como um dos princípios de avaliação da viabilidade de aplicação a reversibilidade. Ou seja, aplicar o uso de uma tecnologia, mas prevendo que dá para, caso não dê certo ou que não dê o resultado esperado, tenha uma reversibilidade, se não total, parcial. Tem essa discussão na nanotecnologia também? É possível pensar isso para a nanotecnologia?

O pessoal comenta alguma coisa assim. Mas, eu vejo que está muito em discussão, mas vai ter uma discussão um pouco mais profunda a partir do momento que tiver uma legislação a ser seguida. E, hoje, pelo menos no caso do Brasil, ainda não tem, não existe. Então, aí fica um pouco difícil tentar prever ou falar alguma coisa sobre isso. A discussão existe.

Um dos desdobramentos dessa questão é a coisa dos resíduos, mas acho que já foi comentado. Bom, você destacou um ponto interessante, no ambiente de pesquisa como aqui tem um tratamento, o problema é quando vira um produto que vai para o mercado. É mais difícil tratar o resíduo.

É, então, isso aí acaba, a partir do momento que passa a ser um produto industrializado, não tem uma legislação para esse controle. Acho que era isso que estavam tentando fazer, mas era de forma radical. Impedir que fossem realizadas as pesquisas. Eu acho que as pesquisas têm que ser feitas, mas com um controle. Isso precisa ser definido quais são as condições seguras para se trabalhar com isso.

A questão da avaliação do risco? Tivemos agora lá em Minas um exemplo de não cuidado.

É, porque, às vezes, o prejuízo pode ser maior da tecnologia do que os benefícios. E, não tem nada definido com relação a isso.

Bom, outra questão é em relação à sustentabilidade. Se aplicaria esse conceito de sustentabilidade na nanotecnologia? Ou seja, o uso de produtos, por exemplo, que têm um custo muito alto e que se tenha um conhecimento já para fazer uma estrutura, mas que o custo seja muito alto e, portanto, inviável. Isso também se aplica no caso da nanotecnologia?

Então, para algumas aplicações ela acaba sendo inviável, porque existem tecnologias de menor custo e menos eficiência.

Que não são nano? Mas, que na relação custo-benefício....

E, aí o pessoal prefere não. Mas, a questão da nano está mais na questão de você, se aplica muito, por exemplo, eu penso assim na área de catálise, onde você aplica muito material e tem um resultado pouco efetivo. Assim, em termos de área, então com a nano, você preparando os eletrodos com carbono, dispersando nanomateriais, você tem um emprego, uma durabilidade desse material alto, que acaba, às vezes, compensando a relação de você estar trabalhando com eletrodos somente metálicos. Então, o pessoal sabe que na própria eletrólise, se você tiver, por exemplo, monocamadas de nanomateriais depositados o processo fica muito mais eficiente do que você pegar e ter um material totalmente metálico. São os eletrodos porosos, então para algumas aplicações, é que isso também não é muito divulgado, o pessoal não vê como nano, entendeu? Mas, processo de eletrólise e tal já tem a nano lá aplicada. Bateria, por exemplo, já tem o conceito de nano lá, mas isso não é muito claro. Então, ela já está dentro do meio industrial, em alguns processos sendo aplicado, mas não é tão divulgado.

Mas, essa não divulgação é por risco de não ter boa aceitação ou é porque o produtor não sabe?

Então, essa que é a minha questão. Eu tenho dúvida. Por exemplo, hoje em dia, a tinta que você aplica para fazer embalagem tem a nanotecnologia envolvida, que a tinta tem um melhor rendimento. Aí, o pessoal fala: “ah, quero a embalagem, paga tanto”. Mas, por exemplo, já tem o conceito da nanotecnologia lá. Aí, por exemplo, eu não sei se o cara lá que trabalha na gráfica, faz a impressão, tem o conhecimento disso ou faz o que a pessoa manda ele fazer, que é um processo de “joga tinta na máquina e pinta”. O que eu estou querendo dizer? Assim, o conceito já está dentro da sociedade, está já embutido em vários processos, mas o pessoal não vê como nano, vê como um produto industrial. Então, a questão que vem mais hoje em dia que eu vejo é na questão de materiais que vêm essa questão da nanotecnologia e, na questão própria da medicina também, que vem a discussão, mas em alguns setores industriais já estão envolvidos. Por exemplo, como eu disse do automóvel, talvez. O catalisador que é utilizado. Você vê que, por exemplo, o pessoal, depois de um tempo que você troca o catalisador do seu carro, geralmente o cara fica e vai para reciclagem. Então, já está o conceito dentro, mas o pessoal não sabe que aquilo é nanotecnologia. O pessoal sabe que é catalisador, mas é um material nano.

Isso poderia, por exemplo, implicar inclusive uma mudança de comportamento na produção? Ou seja, cuidados diferentes, equipamentos de proteção na produção disso eventualmente, não é?

Sim, às vezes, até problemas trabalhistas.

É, essa dúvida é interessante: se é uma coisa que não é divulgada porque eles não sabem ou porque eles têm receio da consequência disso? Acho que aconteceu com os transgênicos, a ponto de a legislação obrigar a aparecer o símbolo ali, não é?

É. Eu acho que isso é uma questão de tempo. Eu acho que é uma questão de o Congresso Nacional brasileiro aprovar alguma lei ou alguma coisa do uso da nanotecnologia. Eu acho que é por isso que está quieto, porque não existe uma lei no Congresso sobre isso. Mas, é isso que eu queria dizer: vários processos industriais já têm nanotecnologia envolvida e as pessoas nem sabem. Como eu disse, o processo de fabricação do filtro hoje, você liga na tomada, a gente pensa naquele filtro de barro, são carbonos, você tem o nego de fumo, que é nanopartícula de carbono, às vezes, com um

pouco de prata para ser bactericida para eliminar fungos e bactérias. Então, você já tem isso envolvido, mas você compra lá o filtro e você não sabe o que está dentro daquele filtro que você está comprando.

Não sei se dá para fazer um paralelo, talvez seja um pouco grosseiro, mas uma coisa parecida aconteceu com o amianto, não é? Que já se sabia do mal daquilo na produção, mas ficou aí, a proibição disso demorou um tempão.

É. Começou a ficar quando o pessoal começou a entrar com ação trabalhista. Começaram a ter processo de muito valor, aí o pessoal resolveu dar uma legislação para isso.

O que parece é que já se sabia que fazia mal.

Tanto é que é recomendável que todo mundo que tem caixa d'água troque pela de plástico. Mas, se você mora, por exemplo, numa casa ou num prédio da década de 70, provavelmente a caixa d'água vai ser de amianto. E, às vezes, aquele amianto pode de alguma forma estar produzindo uma água de pouca qualidade para você, que você mesmo toma. A grande discussão também que tem, que eu vou dar um exemplo para você, são as garrafas plásticas. A água mineral vem na garrafa plástica e a garrafa plástica é constituída de polímeros, às vezes, pode ter nanomaterial envolvido e esse plástico, esse polímero, quando aquecido ele elimina substâncias tóxicas que podem contaminar a própria água. Então, você acha que está tomando água mineral. O ideal seriam garrafas de vidro, mas o custo de você produzir uma garrafa de plástico é muito menor.

E, até o manejo também, não é?

Então, tem tudo isso. Tem toda a questão monetária envolvida nas situações. Então, por exemplo, de certa forma, o pessoal encontra maneiras de contornar as situações de ter mais lucro ou, sei lá, ter algum lucro na sua produção, mas sem saber o risco que aquele produto pode estar causando ao consumidor.

Outra questão que normalmente se discute sobre tecnologia, de modo geral, se refere à responsabilidade social. Ou seja, os efeitos sociais da tecnologia. No caso da nanotecnologia, poderia pensar isso também? Quer dizer, algum produto nanotecnológico poderia ajudar a diminuir diferenças sociais ou, ao contrário, ampliar as diferenças?

Então, por exemplo, a célula combustível. Existe a tecnologia mais barata, mas em determinados lugares você pode ter uma célula combustível. Por exemplo, numa área remota, numa comunidade, você tendo uma célula combustível que implica o conceito da nanotecnologia funcionando, você teria geração de energia elétrica para aquele pessoal e a geração de água com alta pureza para a comunidade. E, para se tornar, por exemplo, mais eficiente, você poderia associar a célula combustível com baterias e placas solares, que também a placa solar desenvolve nanotecnologia como as baterias. Então, de certa forma, tem um apelo social. Por exemplo, vamos supor uma terra indígena, em vez de você puxar rede elétrica até lá, você poderia ter um sistema de um gerador que poderia não ser o querosene, poderia ser um outro combustível, ou a própria célula combustível acionar esse gerador para gerar energia, associado à energia que vem das placas solares que carregam as baterias que acionam as células a combustível para acionar o gerador. Então, é altíssimo o custo disso hoje, porque não é produzido em larga escala, mas tem um apelo social. Por exemplo, um hospital, ele poderia ter um sistema desse tipo funcionando, um sistema de *backup*, por exemplo,

para guardar informações e você não perder informação. Isso no caso da célula, mas tem a questão que eu disse, do tratamento. Por exemplo, o robzinho nada mais é que, o pessoal fala do robzinho inteligente, uma nanopartícula que vai ter afinidade com uma célula cancerígena. Então, você vai direcionar aquilo lá. Aí, você precisa, lógico, de ressonância, de equipamentos de alta resolução, mas você consegue com a imagem direcionar a nanopartícula para aquela região do tumor e ele, em vez de você sofrer uma dose, ou ter consequência de passar mal, você vai ter uma dose bem menor com efeito justamente na célula que tem problema no seu organismo. Muito mais eficiente, sem efeito colateral. Mas, para isso, precisa de uma legislação específica, precisa da autorização para testes em seres humanos. O pessoal faz isso muito com ratos, com cobaia de laboratório. Hoje, parece que está proibido esse tipo de pesquisa nisso.

E, de um tempo para cá, em relação à tecnologia de modo geral, começou a se adotar, de defender a ideia de participação das pessoas na tecnologia. Alguns exemplos são as pessoas comprarem determinado produto, mas junto vem uma política de educação daquelas pessoas em relação àquele produto. O próprio celular, por exemplo, de não descartar em qualquer lugar ou coisa assim. Pensa-se alguma coisa parecida com relação à nanotecnologia?

Deveria se pensar, deveria mais ou menos ser baseado nisso. Você teria que, por exemplo, ter esse tipo de informação. Você deveria ter que levar isso para um determinado lugar. Ter um determinado lugar de descarte que você entregasse lá e, acho que para a questão de a população levar isso a sério, ter algum tipo de bônus. Então, por exemplo, você entrega aquilo lá, você ganha um cupom de 10 reais. Acho que teria que ser uma política desse tipo, porque se não o brasileiro não tem consciência se não tiver algum tipo de bonificação com relação às coisas.

Eu me lembro quando era criança em relação à pilha, por exemplo. A gente não tinha informação, quando ficava velha a gente jogava no lixo, depois começou a ter essa coisa de não jogar em qualquer lugar e tal. Talvez fosse uma alternativa.

Isso porque a pilha geralmente tem chumbo. O chumbo da pilha vai contaminar o ambiente e, dependendo do lugar que é descartado, isso vai entrar no solo, vai contaminar o solo, vai trazer uma série de problemas.

E, pensar, por exemplo, a pilha é uma coisa que tem em grande quantidade. Todo mundo tem isso em casa. Quer comentar mais alguma coisa?

Só dizer que, por exemplo, essa parte da nanotecnologia ainda é muito indefinida, porque não tem uma legislação definida. Então, acho que primeiro é necessária uma legislação, uma definição de uma legislação para isso. Para, depois, ter um maior controle dessas situações que você levantou e me perguntou. Agora, como toda tecnologia, tem os benefícios e tem também a parte prejudicial. Hoje, o pessoal só vende mais a ideia da parte positiva, ninguém vende a parte negativa. Mas, para isso, precisa ter um estudo mais definido, com mais rigor para essas informações, para mostrar o que é bom e o que é ruim.

Pesquisador 7 (P7)

A primeira questão é para você falar dos projetos, ou o principal projeto que você trabalha, se tem cooperações, se tem mais algum instituto envolvido, de nanotecnologia.

O projeto principal a gente sintetiza as partículas, nanopartículas de óxido de ferro. Essas nanopartículas são funcionalizadas, ou seja, a gente dá uma característica para elas que nos interessa. No caso, a gente funcionaliza elas com aminoácidos para elas terem uma carga positiva. Tendo uma carga positiva, essas partículas vão aderir na superfície das células e, assim, a gente consegue trabalhar magnetizando esse material. Então, eu consigo levantar essas células. Elas não ficam mais completamente imersas no meio de cultura nem grudadas no plástico que seria a cultura convencional. A gente tenta fazer um corpo celular que a gente chama genericamente de esferoide e é esferoide, porque nem sempre ele é esférico. Às vezes, ele tem formatos meio esquisitos, dependendo da geometria do ímã, dependendo da distância do líquido para o ímã, depende da célula também, depende de uma série de fatores, do próprio plástico, porque o plástico tem uma carga que ajuda a gente a agregar essa célula. E, foi uma maneira que a gente encontrou aqui no laboratório, que eu encontrei há quase três anos já, um pouco mais de dois anos, de, primeiro, a gente sempre testou bastante fármaco, a gente sempre trabalhou com teste de segurança, eficácia nem tanto, mais com teste de segurança, especialmente nos radiofármacos e também de vários compósitos. Então, assim, a gente tem uma linha aqui que é mais lenta, ela é meio intermitente, mas a gente tem uma linha que, no passado, ela era mais ativa de radiomodificadores de fontes naturais. A gente trabalhou bastante com própolis, por frações de própolis, e trabalhamos um pouco com resveratrol, que é um composto do vinho, tem na uva, é um flavonoide. E, a ideia seria, quando eu comecei a ter contato com esses artigos eu falei: então, nós vamos ter que testar nessas estruturas tridimensionais agora. Assim, não faz mais sentido testar qualquer coisa, qualquer pró-fármaco candidato em tapetes bidimensionais, na verdade eles são tridimensionais, mas a terceira dimensão é desprezível, que é a altura dela, é desprezível nesses sistemas. A gente acaba trabalhando como se fossem folhas, como se fossem lençóis, tapetes, a gente fala mais tapetes. Isso dá um nível de interação com o meio de cultura muito grande, são muito expostas ao meio de cultura. Pelo menos metade delas está exposta diretamente ao meio de cultura. Por outro lado, a interação célula-célula é reduzida. Uma área muito pequena da membrana delas está em contato com as células vizinhas, então isso faz com que esse material seja menos representativo. Esse material, embora tenha uma série de características, que a gente consegue reproduzir em relação ao organismo ou, às vezes, até em organismo animal, foi constatado ao longo, principalmente dos últimos anos, que a gente perde informação. A célula meio que se adapta a essa nova vida e, portanto, ela desliga uma série de funções que seriam justamente as funções que a gente queria que ela expressasse. Então, acho que o caso mais comum, são as células de melanoma. Mais fácil de a gente observar, as células de melanoma, especialmente as de camundongo, quando a gente começa a cultivar em laboratório, elas são escuras, porque elas produzem melanina. Até o próprio meio de cultura começa a ficar um pouco amarronzado, meio castanho, por causa da melanina. Começa a extravasar da célula. Mas, ao longo das semanas, conforme a gente vai reproduzindo em laboratório, elas vão perdendo essa característica, como se estivessem esquecendo. Ou seja, elas vão se adaptando e vão perdendo a característica. E, se você for avaliar com mais profundidade, a gente vai ver que ela está se tornando uma outra coisa, embora o DNA continue o mesmo, os genes continuem os mesmos, mas eles não estão sendo expressos do jeito que a gente queria. Com célula de melanoma ele fica escuro e o meio de cultura volta a ficar com essa melanina esparsa. Ou seja, parece que ela reaprende o papel dela. Então, tudo isso fui levando, fui me convencendo, isso acompanhando a literatura,

lógico. Eu falei: “bom, preciso pensar nisso”. Ao mesmo tempo, foi até engraçado, eu estava acompanhando uma revista, a publicação de um artigo de uma aluna minha. Eu estava lá esperando sair, e na fila vão saindo os outros artigos que estavam na fila e aí um deles me chamou a atenção. Um grupo da Coreia do Sul fez uma partícula um pouco grande até, quase já no contexto de micropartícula, partículas bem grandes, 300 nanômetros mais ou menos. E, eles cobriam essas partículas com seda, na verdade, a fibrina. É a proteína fundamental do fio da seda. Então, tem um jeito de você processar essa proteína. Não forma o fio muito grande, ela forma pedacinhos pequenos. Eles cobriram essas partículas e tornou a partícula de ferro biocompatível e as células que eles trabalharam, também célula de melanoma, elas internalizaram essas partículas e também conseguiram ficar responsivas ao campo magnético. Eu peguei aquele artigo, eu achei interessante, li e falei: “isso não é tão difícil de fazer, isso é fácil”. Aí, bom, a gente vai, pega as referências que eles citaram e vai mergulhar na Internet, vai navegando, até que eu encontrei o grupo que padronizou o produto comercial. Existe um produto comercial, a gente compra, usa, ele é muito bom inclusive. E, tentando replicar a receita deles, com várias modificações, a gente chegou no que a gente tem hoje que, assim, funciona até um pouco melhor, a gente está vendo que funciona até um pouquinho melhor em outras circunstâncias. A comercial não é só ferro, ela tem outras coisas, tem partículas de ouro também. Ela tem outro sistema; é um pouquinho mais elaborado, mas a gente fez uma coisa mais simples, mas funciona, pelo menos, tão bem quanto. Aí que entrou nanotecnologia. Eu falei: “se eu continuar nessa linha, eu conseguiria trabalhar com duas linhas de inovação: uma linha de cultivo tridimensional, que é uma coisa moderna, e a nanotecnologia, que não é o hoje, ela não começou hoje, óbvio, mas é uma linha corrente”. É uma área do conhecimento que é bastante explorada hoje. De novo, não começou hoje, lógico. Mas, está aí, firme e forte, em pleno vapor. Na medida em que eu tenho os reagentes aqui, eles não são reagentes muito complexos, eu tenho aqui. A vidraria foi complicada, a gente não tinha a vidraria. Na verdade, a gente ainda não tem. A gente readaptou ela. Mas, a gente começou a fazer e a gente passou numa fase de mais ou menos um ano e meio testando receitas, até que a gente chegou numa receita que hoje ela é nossa base. A gente também já evoluiu ela, a gente publicou, a gente está evoluindo ela com colaboração com outros lugares. Então, a gente tem, para a partícula magnética, a gente tem uma colaboração que começou com o grupo da [Universidade]. Eles ajudaram bastante a gente, eles ajudaram muito a gente. Nesse começo, eu não sabia nada e eles ajudaram bastante e, em troca, a gente ajudou esse grupo fazendo os testes de toxicidade para as partículas deles; eles têm partículas diferentes. Eles trabalham com partículas de ouro que carregam aminoácidos e esses aminoácidos, mediante excitação por comprimento de onda específico, causam oxidações dentro da célula. Isso causa um *stress* na célula que ela é destruída, ou ela entra em morte programada ou ela é simplesmente destruída, porque ela não consegue lidar com os radicais oxidantes. A ideia é destruir, obviamente, quase sempre, tumor e também placa de arteriosclerose, que também daria para fazer. Enfiaria um cateter na pessoa com laser, que seria o comprimento de onda específico, e vai atingir com esse comprimento de onda essas partículas. Mediante a degradação desse aminoácido, vão produzir um radical oxidante que destruiria a placa. Então, eles têm a tecnologia, eles nadam de braçada, fazem partículas de tudo quanto é tipo de metal, inclusive ferro, ajudaram a gente nisso. E, a gente ajudou eles na parte dos ensaios biológicos que é o que a gente tinha *expertise*, microscopia também, citotoxicidade mais clássica também. Essa foi nossa primeira colaboração. Aí, a gente tem colaboração com o grupo aqui do [Centro], tecnologia das radiações, que é o pessoal da [nome da pesquisadora], que também tem uma experiência longa e também precisava que a gente ajudasse nas toxicidades. A gente ajudou eles a fazerem ensaio de toxicidade, a gente ainda ajuda. Eles trabalham com óxido de grafeno, quer dizer, trabalham com muito mais coisas, mas a parte do trabalho que a gente colabora é com grafeno. E, estou começando a colaborar com o grupo aqui do [Centro], que vai

começar a trabalhar com partículas que entram no tumor, partículas de ferro. A ideia é, no futuro, colocar o paciente dentro de uma bobina, como se fosse um equipamento de ressonância magnética, fazer essa partícula girar dentro do tumor, isso gera um atrito, e o atrito aquece o tumor a 42, 45 graus e o restante é ferro. O ferro é muito tolerável pelo organismo, é muito difícil uma pessoa que não tolera grandes quantidades de ferro. Então, é um tipo de terapia. O equipamento é caro, seria um tomógrafo, mas ele já existe, seria uma coisa parecida com isso, e com a toxicidade muito baixa, no limite do não detectável. Isso já existe experimentalmente, já foi feito em animais, mas ainda falta muita coisa, porque tem um grupo na [Universidade] que trabalha bem com isso. Ainda falta, porque, para além da liga, da ferrita, que a gente usa, pode ser com cobalto, pode ser com níquel, pode ser com manganês, não precisa ser só com o óxido de ferro, a ideia é a geometria da partícula. A partícula não pode ser cúbica ou redonda, porque ela produz pouco atrito. Ela tem que ter formatos que produzam mais atrito, então ela pode ser ou estrelada, ou no formato de uma arruela, uma rosquinha, e tudo isso é controlado quimicamente. É o processo de síntese das partículas que vai mexer no formato delas, o refinamento na síntese, e esse refinamento eu não tenho, mas pretendo aprender com esses grupos e, em troca, a gente oferece o sistema biológico para testarem, que eles não têm a facilidade e a gente tem facilidade. Então, é esse tipo de colaboração que eu estou trabalhando. Agora, é claro que, assim, a partícula de ferro elas não são as mais queridas atualmente. Tem partículas de titânio, terras raras, hoje em dia que são fluorescentes, são nanotermômetros. Ainda hoje mesmo eu estava conversando com uma aluna do Centro aqui, que também trabalha com partículas de európio, neodímio, são partículas mais refinadas, os métodos de síntese são mais refinados. O pessoal não gosta muito de trabalhar porque são partículas que agregam bastante, às vezes, elas são chatas, elas formam gruminhos. Mas, para nossa aplicação são excelentes. A gente conseguiu dominar a “besta” da coprecipitação, que é o processo mais fácil de fazer as partículas de ferro. A gente conseguiu trabalhar com confiabilidade mesmo com equipamento simples, de micro-ondas comum. A gente faz a síntese e funciona bem para nossa aplicação que a gente faz de trás para frente. Os outros grupos, primeiro fazem a partícula, caracterizam ela, físico-química, vê a carga, vê o formato, vê qual o cristal e, depois, tem a atividade biológica. Primeiro a gente vê se gruda na célula, depois a gente vê se o cristal é o correto, se o tamanho é o correto, e para nossa aplicação tem funcionado bem. A gente tem tido partículas de 30 a 50 nanômetros, o que não são as menores que você vai encontrar, mas tem um tamanho bem utilizável, está muito bom para isso, menor que 100. 100 nanômetros para nós seria o limite e uma carga que a gente mede, não é que a gente mede a carga, mas a grandeza que a gente usa é potencial Zeta. Então, quanto mais positivo para nós, é melhor. Quanto mais distante de zero ele é, melhor. Mas, para nós, se for distante de zero negativo, não é bom, tem que ter potencial positivo. O nosso está dando mais de 40 milivolts, está super bem, a gente está conseguindo suspensões bem dispersas e que adsorvem na célula. Isso o que a gente já faz. A gente já aplicou, a gente já está seguindo. O que eu estou tentando entrar agora é a nanotoxicidade. A nanotoxicologia, que seria o ensaio de toxicidade para nano-compósitos, na realidade, a gente já fez isso bastante, com esse grupo da [Universidade]. A gente já trabalhou bastante com isso. Mas, existem considerações que eu não consegui fazer usando os métodos clássicos de toxicidade. Por exemplo, até que ponto essas partículas entraram nas células? A toxicidade delas, a gente observou toxicidade em várias, foi mediante entrada na célula. Isso precisa avaliar para trabalhar com nanotoxicologia. Existem partículas que fazem isso, por exemplo, óxido de grafeno. Como ele forma exatamente uma bolinha e forma espinhos, eles têm a característica de furar a célula e causar toxicidade por aí. Já a partícula de prata tem uma capacidade. Elas têm a característica de serem internalizadas pela célula e causarem toxicidade fisiológica mesmo. Não é uma toxicidade física, não é de arrebentar, tudo isso a gente precisa avaliar e agora eu estou buscando as tecnologias para a gente poder observar isso. Meu sistema sempre foi

tentar trabalhar com o que a gente tem por um tempo para, depois, a gente seguir, buscar parcerias, coisas mais novas. Então, agora entraria numa etapa de microscopia eletrônica. Nós temos os eletrônicos aqui, mas eles não trabalham com material biológico. Eles são bons para os materiais, são ótimos para as partículas, mas o material biológico que eu tenho aqui é mais difícil porque ele carboniza o material. O feixe é muito forte, não sobra nada, então eu não consigo ver o material biológico. A gente está com parcerias para fazer isso. Tem alguns equipamentos grandes que a gente está aguardando. Tem um microscópio SNOM que ele é um microscópio ótico subnanométrico. Então, ele consegue ver muita coisa que um eletrônico de transmissão conseguiria também, só que ele é óptico. Ele é com sistema de laser e vai estar acoplado a vários outros sistemas, então vai fazer com focal também, que para nós aqui seria o mais interessante, para material biológico. Ele está para começar a operar em março ou abril. A gente já ganhou da FAPESP. Ele está sendo construído, vai ser o terceiro do mundo e, provavelmente, o único com essa configuração. Então, eu estou já me organizando para trabalhar com esse sistema, que é uma coisa muito inovadora. Para você ter uma ideia, os artigos que eu tenho, pelo que eu tenho lido, são sobre medir polo nuclear de células. É uma coisa superfina e a gente está com um equipamento que nós ganhamos da FINEP em 2016 e a gente está esperando, que eu consigo fazer os ensaios em placas de 96 poços e ele vai trabalhar com a imagem dessas células em alta resolução. Ele é basicamente um microscópio cofocal, mas que trabalha em larga escala. Então, daria para fazer células e os esferoides também, que agora a nossa tendência é trabalhar só com tridimensional. O tridimensional que a gente tem de concreto, eu estou com uma aluna terminando o mestrado agora, padronizando o teste de toxicidade, porque a gente tem que ter um teste de toxicidade confiável para poder vender. Vender é maneira de dizer, mas para poder fazer esses testes mesmo e a gente está com um convênio com a própria radiofarmácia aqui. Eles estão fazendo os ensaios de ligação dos radiofármacos. Então, a gente cultiva para eles um esferoide. Ele tem alguns milímetros de diâmetro, esse é bem visível a olho nu, de células de tumor de próstata, e eles usam o peptídeo lá que gruda no tumor de próstata junto com o isótopo radioativo. E, eles estão fazendo um ensaio de incorporação. Então, como funciona? Em duas dimensões como isso era feito? Você coloca na cultura o radiofármaco com isótopo, ele vai grudar nos receptores dessas células. Logo na sequência, você coloca a mesma solução só que sem o isótopo, porque a ideia é o seguinte: esse radiofármaco ele fica no organismo circulando e o radioisótopo, embora a molécula orgânica continue existindo, o isótopo vai decaindo. A quantidade de molécula marcada vai caindo e a quantidade de molécula não marcada vai aumentando mais ou menos na proporção. Isso, por equilíbrio químico, a não marcada tende a arrancar do tecido a marcada, porque ela é mais leve, ela vai estar em maior quantidade, então esse efeito de deslocamento é observado e é um ensaio farmacológico padrão. Eles começaram a fazer isso com os nossos esferoides e chegaram à conclusão que, embora em 2D você tem um deslocamento, você consegue mesmo arrancar, em 3D não, o fármaco aparentemente ele penetra na célula e não sai mais e fica retido na matriz. Isso significa que muito provavelmente nós poderíamos tratar pacientes com concentrações ainda menores de radiofármacos. E, portanto, além do custo, reduzindo o efeito colateral. O fármaco, o peptídeo para o câncer de próstata, que é o PSMA, ele tem um efeito colateral ruim e também ele vai ser captado pelas células das glândulas salivares. Isso causa problema, a pessoa vai ter que usar a saliva artificial. O pessoal que trata tireoide com iodo via oral também faz isso. Essas células são sensíveis à radiação, porque elas têm uma proliferação e, então, isso pode ser reversível. Às vezes, isso é só temporário, mas de qualquer forma é um efeito indesejado. Então, se a gente conseguir, se a gente conseguir “bater esse martelo”, resolver que precisa de menos fármaco ainda, reduziria essa chance. Isso de impacto direto para a população que a gente está vendo, mas é isso. É ter esse esferoide para testar nos fármacos daqui. Os fármacos da radiofarmácia, eles são mais nacionalizados. Então, pegam as coisas lá de fora e testam aqui, porque a

ANVISA preconiza que tem que ter algum tipo de teste aqui e eu entrei nisso desde 2013 mais ou menos testando em outras instâncias, fazendo teste de segurança e agora a ideia seria fornecer esses esferoides para eles. Existe um grupo que inventa radiofármacos lá, mas a gente não tem tanto. A gente ainda não conseguiu colaborar com eles em escala. Mais ou menos, é isso aí. Seriam as nanopartículas para fazer as estruturas tridimensionais e a gente está tentando agora entrar na nanotoxicidade, nanotoxicologia.

E, nesses casos, até foi interessante que você comentou que já teve algum ganho de equipamentos, esses projetos que envolvem a nanotecnologia, por exemplo, as instâncias que avaliam, têm algumas características que são específicas por se tratar de nanotecnologia ou eles entram dentro da avaliação mais geral?

Esses equipamentos, na realidade, esses projetos, eles foram, eles não são projetos de nanotecnologia. São projetos de tecnologia de saúde. A gente, aproveitando o peso que a radiofarmácia tem junto às agências de fomento e à sociedade, então a ideia é: vamos pedir estrutura de pesquisa para ajudar a fábrica de radiofármaco. 85% dos radiofármacos do Brasil saem daqui, talvez até um pouco mais. Então, esse foi um projeto de ciências da saúde, não são projetos de nano. Existem alguns projetos de nanotecnologia, mas estão concentrados mais no [Centro] e no [Centro], que é o pessoal que está mais engajado em redes de estudos de nanotecnologia. Aqui, eu estou trabalhando com colaboração mais à moda antiga mesmo. Em relação a esses equipamentos, o SNOM, que é microscópio, ele é FAPESP. Então, o tempo dele está sendo efetivamente o tempo de construção, por isso que está demorando. A plataforma é FINEP. FINEP a gente ganhou o primeiro terço já foi comprado o equipamento, ele foi liberado em 3 terços. Primeiro terço o equipamento foi comprado; os outros dois terços foi meio, assim, troca de governo, a gente achou que, por conta disso, eles iam acelerar até. Mas, não, foi o contrário e eu estou esperando. Na verdade, a gente ganhou em 2016, no finalzinho de 2016 e, FINEP nunca foi rápido, sempre demorou, sempre foi lento, numa perspectiva boa sempre são 2 ano e meio, 3 anos. Mas, eu estou com a sala pronta, assim, mais ou menos pronta. Não sabemos também como é que a gente vai operar o equipamento, porque falta pessoal também, mas de qualquer forma a gente ganhou o equipamento bem caro e nós vamos usar. Vai ser muito útil para a gente. Enquanto não tem, o melhor que eu posso fazer é pagar 100 reais para o [Laboratório] aqui no ICB. Ele é um equipamento que, ele é até um pouco mais velho, ele tem menos funções que o que a gente pediu, mas funciona bem. A gente até publicou com imagem deles. Mas, como eu disse para você, ele não foi específico para nanotecnologia. Aqui, nesse Centro, eu estou trabalhando com isso. Tem uma pesquisadora que ela aposentou e ela está lá em Manaus. Ela está tentando voltar para cá, embora ela saiba trabalhar com nano, na verdade ela trabalha com micropartículas que servem para tratar tumor hepático, tumor de fígado. Ela faz partículas e aí essas partículas congestionam a circulação sanguínea na área do tumor e ficam irradiando o tumor ali, destruindo o tumor. Ela foi, ela tirou uma licença médica, aposentou e agora está tentando voltar para São Paulo. Tem uma pesquisadora aqui que orienta um pós-doc, que são nanopartículas com lantanídeos, que são fluorescentes, que é o futuro da fluorescência para aplicação biológica, pelo menos eu não consigo ver que persiste por anos, vários meses pelo menos. A estrutura de flúor como convencional é tudo muito breve. Então, em duas semanas, por mais que a gente consiga preservar aquele material e tem que ser preservado assim, meio úmido, senão não funciona, se não cristaliza, a gente perde. E ela está agora, essa pesquisadora aposentou, mas ela tem essa pós-doc. E, essa pós-doc está lá na Austrália. Foi, não sei se ela volta, ela foi para passar alguns meses, não sei como é que vai ser. Mas, assim, aqui no Centro, quem está com quase todo mundo aqui sou eu. O laboratório tem lá um espaço nosso aqui totalmente dedicado para trabalhar com essas partículas. Agora não pedi nenhum projeto

específico. Eu estou fazendo um projeto FAPESP, em colaboração com outro grupo da [Universidade], mas ele vai ser menos de partícula e mais de cultura tridimensional. A gente vai falar menos sobre as nossas partículas, que já estão publicadas, a gente já usa, e mais para fazer os modelos tumorais para eles testarem os princípios deles. Então, eles ganharam um temático, chamaram a gente, iam fazer, só que também, eu tinha uma perspectiva, os alunos foram embora porque estão perdendo bolsa, está difícil de manter, está difícil de reter. Então, tem que reavaliar o tamanho dele. Eu ir para a bancada tudo bem, não tem problema, o problema é que se eu for para a bancada é suficiente? Tudo bem, mas não vai ser. Eu preciso de mais gente, eu estou tentando brigar, vamos lá.

Eu pergunto isso porque a questão seguinte é mais em relação aos aspectos de protocolo de segurança ou de procedimentos de pesquisa que envolvam a nanotecnologia, se já tem protocolos específicos para isso, ou, de novo, entra no escopo dos protocolos de segurança de pesquisas não só de nanotecnologia?

Aparentemente, está entrando no protocolo comum. Você quer dizer a síntese, manuseio e descarte?

Isso. Por exemplo, isso.

Olha, o nosso descarte, ele é descomplicado porque ele é ferro. O ferro, como eu falei, a toxicidade dele é mínima, então a gente pode descartar. O que eu tenho de pior nessa síntese é o NaOH, mas ele é fácil, ele não é gerado em grandes quantidades. Ácido acético que também é um ácido; nossa síntese ela é bem pouco tóxica. Existem partículas que trabalham com hexano, com ácido oleico, com coisas que são mais difíceis de descartar. Para nós aqui a gente não tem com que se preocupar, consegue ficar no fluxo comum de manuseio de laboratório, porque é tudo pouco tóxico. A gente joga fora pouco, normalmente a gente não faz bastante, usa tudo, quer dizer, o contrário, a gente faz uma quantidade que acaba usando inteira, ou usa em célula, ou usa para fazer a físico-química, vai para difração de raio-X, volta. Mas, a gente acaba fazendo outra coisa, então vai pouco para o lixo, descarta pouco. Então, eu não tive que me preocupar muito com isso. Agora, se fosse fazer as sínteses hidrofóbicas, que é uma possibilidade, aí sim tem que ter manipulação em capela. A gente não tem capela, tem em outro laboratório. Mas, eu não tenho para trabalhar todos os dias aqui, seria solvente orgânico. Eu arriscaria dizer que é uma síntese verde. Tem gente dizendo que só é verde se é produto de origem natural. Não. Verde, pelo que eu entendi, é descarte livre. Eu arriscaria dizer que sim. A gente gosta de falar que é *one pot green*. É feita toda num vidro só, e passa de um para outro. E, verde porque o resto tem umas moléculas orgânicas, mas é aminoácido também. Não tem um descarte especial para isso.

Mas, essa característica ela é uma consequência natural do tema da pesquisa ou é, por exemplo, uma característica importante para financiamentos futuros, por exemplo, de um projeto que tenha essa característica?

Olha, eu acho ser importante sim, porque se você pegar a listinha, é, assim, eu trabalho com pesquisa básica, mas eu não estou alheio ao que está acontecendo. A gente tem aí a movimentação da indústria 4.0, a chamada quarta revolução industrial. Então, tem coisa que foge do meu escopo, que é Internet das coisas, isso eu não tenho, não vou trabalhar com isso. Mas, as sínteses verdes estão na lista da indústria 4.0, nanotecnologia, o tridimensional em geral, desde fazer agregado celular até imprimir em casa, aquelas impressoras de casa, tudo isso o tridimensional ganhou mesmo, é um

grande tema transversal, ele consegue atravessar várias áreas. Eu acho que sim, tem um potencial de ser uma coisa de uma exigência.

Um ponto positivo na avaliação?

Eu acho que sim. Outra coisa que também a gente está tentando entrar, são alternativas ao uso de animais. Se eu consigo ter um ensaio *in vitro* mais representativo, a gente acaba reduzindo o uso de animais. Também é uma ideia que a gente tem levado; tem vendido um pouco assim e, de fato, ajuda mesmo a reduzir. O uso de animais eu acho desagradável. Trabalhei bastante na minha tese, hoje eu faço o mínimo necessário e seria muito bom se a gente pudesse trabalhar cada vez menos. Primeiro, que é desagradável, não é uma coisa que eu aceito tão bem hoje em dia, e tem um custo também, mesmo para quem não está muito preocupado com a razão humanitária, tem um problema do custo que é caro. E, tem ficado, com razão, cada vez mais caro, porque tem que ter cada vez mais cuidado, claro, eu acho que está certo. Estão sendo impostos cada vez mais critérios e, infelizmente, é assim. Se não, quando eu comecei a trabalhar era livre o camundongo. Você chegava lá: “eu quero noventa”. Você pedia noventa, ganhava noventa camundongo, podia usar os noventa. Se você não usasse? Ah, não vou usar, passou do ponto, sacrificava os noventa. Hoje não, você fala: “olha, eu quero cinco”. O cara: “não, não, te dou três”. E, se não for assim, ninguém vai reduzir. Infelizmente, tem que ser assim. A gente também está tentando fazer, acho que a exemplo da redução de uso de animais, eu acho que a síntese verde vai ser um ponto positivo sim. Até porque é barato. É mais barato você trabalhar com hidróxido de sódio com ferro do que trabalhar com solvente orgânico; é mais caro. Essas partículas elas precisam de agentes redutores e eu não usei até agora nenhum redutor de origem vegetal, mas o pessoal do [Centro] usa bastante; tem o carboidrato da casca da manga. O pessoal que eu colaboro aqui da [Universidade], usa coisa de orégano, usa um monte de redutores de fontes naturais, também interessante da gente fazer. Acho que sim, tem um potencial.

Uma característica interessante no teu caso é que tua formação inicial é biólogo?

Sou biólogo.

A mim parece que não é muito comum essas áreas irem para a nanotecnologia. Até agora quem eu encontrei mais são os químicos.

Mas, acho que ela já “furou a casca”. De fato, a maioria são químicos e físicos, a grande maioria mesmo. Mas, eu encontrei um nicho de síntese que foi factível para nós. Na realidade, pegando a literatura, a gente consegue. Se eu tivesse o equipamento, as ferramentas, a gente conseguiria lidar, não é tão difícil assim de fazer. Alguns tipos são mais difíceis. Tem coisas que realmente se não tivesse um químico comigo, eu não vou conseguir fazer. Então, tem sínteses mais elaboradas. As funcionalizações costumam ser mais difíceis que a partícula em si, o que você vai colocar em volta costuma ser mais difícil. Mas, por outro lado, eu vejo, assim, tem muito químico, tem muito físico, eles fazem a partícula, mas depois eles engasgam na hora de testar e aí eles vêm aqui e a gente acaba “trocando”. Eu acho que isso me ajudou bastante também a crescer no campo. Muita “troca” também que a gente teve, estudando sozinho, teve aluno empenhado, fiz bastante com os alunos, ficando lá semanas tentando fazer. Mas, teve muita “troca” também com físicos, com químicos. Não só a parte de síntese, mas também aprender a parte de caracterização. Que eu falei: bom, e aí? Fiz a partícula, coloquei na célula, funcionou e aí? Não, espera, vou pela eletrônica, tem o DLS, tem as outras técnicas, tem difração de Raio-x, tem potencial Zeta. Então, teve “troca” e eu fui adquirindo. Então, assim, eu consigo pelo menos transitar. Essa partícula específica

que a gente sintetiza a gente consegue assinar embaixo e falar: isso aqui a gente sabe fazer bem e consigo conversar bem sobre outras coisas. Então, acho que deu para “furar a casca”. Mas, tem, por exemplo, um pessoal de biológicas que trabalha, tem uma *startup* que foi financiada pela FAPESP, já é antiga, que trabalha com nanopartículas de resina de própolis. Ela não é coberta de resina; elas são feitas da própria resina e tem uma equipe multidisciplinar. Então, eu fui “furando a casca” porque eu falei assim: “ah, é um assunto que é transversal, ele consegue ultrapassar”. Além do que a gente é obrigado a estudar, você não vai parar. Outra coisa que está muito em alta são os nanoradiofármacos. Agora teve um novo impulso aí nos dois anos, estão tentando trabalhar melhor isso que muda a interação. Tem um pesquisador lá do [Centro] que ele fala assim: a prata é tóxica, nitrato de prata é bactericida. Se você faz uma nanopartícula de nitrato de prata e ela é bactericida, isso é nanotecnologia? É uma nanopartícula, mas a propriedade continua a mesma. A ideia é ver quais propriedades a gente tem nessa escala e seria mais ou menos assim: a gente tentar fazer partículas que têm propriedades distintas que se tivesse uma solução só. Acho que nessa acabou espalhando conhecimento. Numa primeira tacada foram os químicos e físicos, mas quando precisou de uma aplicação começou a abrir para os outros campos e agora está todo mundo conversando. Os congressos não estão totalmente equilibrados. Mas, tem bastante gente de biológicas, tem o pessoal de biomédicas, nanotecnologia para fazer kit diagnóstico está super em alta há muito tempo, tem vários feitos por aí por Universidades. A maioria não ganhou o comércio, mas estão aí, foram feitas, com vários métodos, então acho que já generalizou. Acho que a gente já consegue conversar, assim, pelo menos não passar vergonha.

Você usou um termo interessante aí que a maioria dessas pesquisas não ganhou o comércio ainda.

Não, a maioria ainda não ganhou.

Tem também esse perfil de pesquisa, vai até um limite, mas tem também uma parte que é o potencial de gerar uma patente.

É, aí é que está. Aqui no [Instituto], eles diferenciaram bastante, assim, a inovação não necessariamente é uma patente. Aí, tem a patente. E, a patente tem um caminho, tem a invenção, que a invenção até sai do escopo aqui da Universidade, você não precisa ter esse conhecimento técnico. E, depois da patente, viria o produto. Eu acho que aí que fica difícil, porque eu estou falando aqui do meu lado, daqui de dentro, do portão de dentro da pesquisa acadêmica. A gente tem como fazer, a gente tem como direcionar a pesquisa para um produto, tem como fazer. Mas, o produto que não é diretamente para o consumidor final. O grande público, ele depende de nichos, vender para empresa, complica. Quais empresas estão interessadas em comprar o kit genuinamente brasileiro? Uma boa parte dessas empresas são transnacionais. Elas já vão trazer de fora. Para elas é mais negócio, é mais fácil trazer. As brasileiras, muitas vão ter um pouquinho de preconceito. Ou seja, poucas empresas vão querer trabalhar, por várias questões. Pode ser a questão de até um preconceito de alguma forma, mas também a questão de custo e, assim, no fim das contas, o nosso kit acaba sendo um pouco mais caro, até porque a matéria prima é importada. Então, a gente depende de todo um outro contexto econômico que fica difícil de “furar”, embora vários “furem”, claro, eu sei que não é impossível, acontece isso. Mas, isso não acontece em escala, porque não depende só do esforço do pesquisador ou do fomento, ou da mentora da *startup*. Não depende só disso. Depende de ter depois um mercado para quem compra. Eu falo, os alunos dão risadas, eles estão falando para a gente montar um bar de drinks de guarda-chuvinha numa ilha deserta, só que tem que chegar o transatlântico lá. Se não, não compensa. Se não, nós movimentamos uma montanha de recurso público e não tem

para quem vender. Ah, mas pode vender para a própria Universidade. Sim, mas aí é um mercado soma zero. Segundo, como eu posso dizer, ultimamente a gente não tem tido muito dinheiro para gastar. Se ter uma *startup* hoje, 2019, que está tentando fazer um produto, cujo público final vai ser o pesquisador acadêmico, vai ter problemas. Tenta fazer para diagnóstico. E, aí é uma outra batalha, uma outra coisa, que é uma certificação e tal. O diagnóstico *in vitro* não para, as pessoas ficam doentes, precisa fazer, então direciona para lá. Então, isso tudo me desestimula. Eu acabei abandonando essa parte de inovação. Eu falei: bom, nós vamos fazer, para o meu currículo é bom ter lá uma patente, mas vou vender para quem?

Individualmente é bom.

Individualmente é bom, mas é uma montanha de dinheiro público para fazer um produto que vai virar o que? Não. Então, vou continuar publicando que pelo menos fica livre, todo mundo que quiser acessar, acessa. Eu penso assim. Alguns pesquisadores não pensam, tudo bem. Não tem essa divisão, não tem o antagonismo. Mas, eu preferi ficar nesse caminho, a menos que alguma coisa mude, porque realmente a gente tem muita dificuldade. É mais fácil meu pai que é aposentado resolver fazer uma raquete que mata mosquito nova e registrar a patente como inventor, que ele vai fazer isso em pouco tempo, se ele quiser, faria isso em pouco tempo, do que a gente aqui, com a faca e o queijo na mão, com todo o conhecimento técnico, tentar brigar, vai para o IMPE, bate, depois volta, depois fala: “ah, mas você já publicou uma parte disso num congressinho lá em 2012 e tal”, tem complicações. Então, a gente acabou. Agora tem pesquisador que se dá melhor com isso, que trabalha melhor com isso, que deposita a patente, se vai para algum lugar? Eu não acho interessante. Prefiro trabalhar mesmo publicando e se alguém quiser fazer a patente, paciência. O conhecimento está aí. É meio à moda antiga. Outro questionamento que também gosto de fazer, eu gosto muito de assistir a *SpaceX*, aquele sistema agora de lançamento de foguete que ele aterrissa verticalmente, reaproveita o propulsor. Eu acho aquilo incrível. Meu filho assiste, meu filho tem 4 anos, ele adora. A gente assiste, eu acho aquilo maravilhoso. E, tudo bem, só que eu acho que o erro das pessoas é achar que aquilo caiu do céu. Eu falei, queridos, teve décadas de NASA, de agência Russa, de Agência Europeia, agências estatais, agência japonesa, décadas de conhecimento científico reunidos e o cara não recebeu aquilo. Inclusive, muitos profissionais formados pela NASA, então, é incrível. Então, assim, eu preferi continuar nesse caminho, vou desse lado aqui produzindo conhecimento, décadas de desenvolvimento, quem sabe alguém lá no futuro pega. Eu acho que não é meu papel fazer a patente, talvez até a gente faça.

Você comentou também uma coisa interessante que tem a ver com o conhecimento disponível. Essa ideia de ciência aberta? A tua impressão, mais aí no campo de aplicação ou mais do conhecimento tecnológico, a tua percepção é de que também está indo nessa direção? Ou é uma área mais fechada? Por exemplo, você comentou que você até replicou o trabalho dos coreanos.

É, eu peguei eles como referência. Lógico, a gente reconstruiu tudo, não foi exatamente replicado. Mas, você vai pegando as referências também, desse lado a gente também não recebe o conhecimento do céu, a gente vai pegar as décadas de desenvolvimento que estão aí. Bom, para o lado do produto, se está fechado, eu vejo um pouco dos dois. Primeiro, eu queria voltar um pouco em uma coisa. Então, existe uma discussão, aliás ela está super em alta ultimamente, do *open access*. Você restringe bastante se continuar essa restrição orçamentária e a gente começar a perder os que já estão tendo uma redução das assinaturas há um tempo, não é de agora. A gente já está sofrendo com isso há alguns anos, mas se começar a acelerar, isso vai ser fatal. Tudo bem que existem alternativas, existem jeitos da gente ler sem pagar, tem um monte de jeito, mas

não vejo tão livre assim não. Isso está sendo discutido, está tendo muito atrito, quem está acompanhando lá fora, a Europa briga, os países europeus brigam bastante com as editoras, França, Alemanha e Holanda principalmente.

Para abrir?

Eles brigam assim: o governo chega, assim, nós vamos assinar todas as suas revistas, vocês vão ter que dar um desconto e nós vamos abrir para a academia inteira. Nós vamos fazer a assinatura em lote. Tudo bem, eles pagam, só que na época de revisão desses contratos as editoras acabam apertando. Então, a Holanda ficou 2 ou 3 meses sem assinatura por causa de renegociação desses acordos. A França está montando um grande repositório, porque o princípio é assim: se a pesquisa é paga com dinheiro público o conhecimento também deve ser. Então, esses artigos nós vamos pagar o *open access* para todos e vamos colocar no repositório público. Se a revista não quiser mais hospedar problema dela, mas nós vamos hospedar; basicamente isso.

Está impondo uma abertura?

Está impondo. Eu vou pagar o *open access*. O *open access* costuma ser de 1500 até 5 mil dólares a publicação. Nós vamos pagar e aí começa assim: mérito. Não são todos os artigos que vão conseguir isso, então, tem uma batalha, tem uma luta aí acontecendo. Não é tão aberto assim.

Mas, isso são em todas as áreas, ou é mais na área de ciência básica?

Todas as áreas. Um exemplo disso é aquele *arXiv*. É um sistema de você colocar os *preprints*. Hoje está muito na moda. Isso já tem há muito tempo na área de engenharia e de física, há muito tempo. Agora, tem o *bioRxiv* há alguns poucos anos. Eu ainda não entendi como funciona isso. Eu coloco lá e aí? Depois vai para a revista? Não vai? Eu não posso ir para a revista depois, quer dizer, eu posso desde que a revista aceite o *creative commons*, mas eu tenho que pagar o *open access* dela. Então, a menos que eu tenha os 3 mil dólares, ou coisa do tipo para pagar depois, eu não vou poder aproveitar esse sistema lindo, maravilhoso e aberto. Se não eu vou publicar num sistema lindo, maravilhoso, mas não tem impacto, também não posso ficar totalmente nisso. É um reflexo importante e já antigo desse sistema de comercial, ficou comercial demais, além da conta. Vamos ver para onde isso vai.

Voltando para o desenvolvimento de produto, como que está? Eu acho, assim, eu vejo pouquíssimas, normalmente são *startups*, mas pouquíssimas trabalhando com o sistema mais aberto. A grande maioria quer o produto e quer gerar lucro, porque é uma característica de uma empresa isso aí. Não estou nem fazendo juízo de valor, o jogo é esse. Não tem como dar de graça o produto. Inclusive eu tentei trabalhar, algumas eu trabalhei, funcionou bem, outras eu tentei trabalhar e fica muito complicado por causa dessa parte que é tudo muito segredo. Eu falei: olha, traz as células, vamos testar. “Ah, não pode trazer as células, a gente não pode nem ver a célula”. Então, paga para testar. Eu ia fazer aqui em troca de comunicação, então é meio difícil.

Isso com empresas privadas?

São empresas privadas.

Porque tem público-privada também.

Na verdade, a grande maioria é público-privada. Então, você tem o financiamento FAPESP, ou FINEP, alguma coisa assim, ou mesmo o SABRAE. O SEBRAE está

associado à FIESP, mas o sistema S ainda recebe dinheiro público, reduziu, mas ele recebe. Então, de alguma forma, tem dinheiro público indo naquilo. E, assim, não consegui ter penetração, eu também, como acabei de falar, eu também achei que não é o meu papel, pelo menos por enquanto, entrar com produto novo, pensar nisso. Pelo menos por enquanto, estou com a ideia, talvez mais para frente, quando estiver mais perto de aposentar que é comum, o pessoal perto de aposentar se enfia numa *startup* que aí tem tempo, aí talvez. Pelo menos por enquanto, a ideia é *paper* mesmo, é publicação, congresso, as orientações, mais à moda antiga mesmo. Mas, se aparecer alguma coisa boa, por que não fazer? É importante que chegue na sociedade. Mesmo que chegue com custo, não seja coisa completamente livre, mas é importante que chegue. Se a via for essa, paciência, vamos lá.

Uma outra questão que eu queria fazer é, e acho que tem a ver com a pergunta que eu tinha feito um pouco antes, dos protocolos de segurança, por exemplo, é se nesse caso das pesquisas que envolvem nanotecnologia, qual é o limite do controle? Porque a gente vê muito na divulgação comum, das pessoas comuns, ter um certo receio dessas inovações do tipo: o que vai acontecer no meio ambiente, por exemplo? Tem conhecimento até o final? Ou seja, tudo bem, pega um fármaco, ele vai fazer alguma coisa lá, com o tumor, ok, mas isso tem algum resíduo que vai para algum lugar que a gente não sabe o que vai acontecer?

Vamos lá. Eu fui de uma banca faz pouco tempo de um aluno que ele estava trabalhando com resíduo de fluoxetina em Santos. E, tem um resíduo bastante considerável, e acumula nos mexilhões e a fluoxetina, em específico, ela é interessante porque ela meio que passa batido no organismo. Ela não é metabolizada. Ela não vira uma outra coisa, ela tem a ação dela, mas isso não transforma a molécula. A molécula continua e vai para o ambiente e continua estável no ambiente. Então, tudo bem que aqueles mexilhões não são para consumo humano, o pessoal não come mexilhão, por outras razões, não é a fluoxetina. É que o esgoto inteiro está lá, mas de alguma forma a gente vê que está acumulando. Isso é só um caso que eu tive mais contato. Eu quase fui co-orientador dele. Bom, o que eu estou vendo é, assim, existe uma preocupação crescente com o descarte de nanopartículas, está crescente. Tem muita gente confundindo com o nanoplástico, que são nanofragmentos de plástico. Então, plástico vai o canudinho, o copinho inteiro e ele vai fragmentando com o passar do tempo e forma nano-caquinhas. Não foram produzidas nanopartículas. Mas, de qualquer forma, eu estou vendo o pessoal, principalmente no Canadá, trabalhando com o que chega, principalmente nanopartículas de cosméticos, nos efluentes. E, tem bastante coisa e está acumulando nos peixes; está acumulando. Bom, no Brasil, a gente sempre está atrás, mas está chegando aqui, está chegando. Sim, existe essa preocupação. Agora, se esse grito vai ser ouvido ou não, eu não sei. Mas, eu estou vendo chegar essa onda aqui da gente pesquisar mais, ir mais a fundo e procurar, especialmente produto de consumo final, higiene pessoal, tem bastante coisa. Acho que o fármaco em si é um volume pequeno para dizer a verdade. Mas, por exemplo, xampu, tem um monte de xampu com nanoesponjas, tem cremes e cosméticos, e isso é consumido em larga escala e está indo para o ambiente de verdade. São partículas de polímeros que não são degradáveis. Então, tem muito poli alguma coisa que não vai degradar. O fármaco no ambiente ele vai degradando, não tem problema. Mas, tem partícula de titânio, por exemplo, que também não degrada facilmente. O titânio tem uma preocupação especial também. Estão procurando bastante dióxido de titânio, que ele dispersa na nanoemulsão. Ele é bastante útil para creme dental também. Já era usado em creme dental, mas era usado em solução, então ele dilui fácil. Agora, estão tentando agregar em nanopartículas e ficaria no ambiente mais tempo. Estou vendo isso chegar aqui. Só que eu não sei o que isso vai representar na hora que bater na sociedade. Se vai ter alguém para ouvir isso. Mas, está acontecendo.

Mas, está chegando mais no campo da pesquisa? Por exemplo, no campo da legislação não?

Da pesquisa. Eu, pelo menos daqui de onde eu estou, não tenho visto. A legislação eu estou vendo o contrário, eu estou vendo, a gente está vendo, nos últimos tempos, a legislação afrouxar. Isso pode ser uma “ressaca”. Eu estou observando ainda, eu não sei, vamos ver o que pode voltar, mas em termos de regulamentação vinda do estado não, pelo contrário, eu estou vendo “deixando rolar”. Aí é importante a divulgação. Acho que a divulgação falha muito nisso. Nós somos ruins para conversar. E, muitos cientistas ou egressos da academia, são cientistas de folha de pagamento, mas são cientistas, tem muitos que são bons divulgadores, mas não são tão bons cientistas. Ou, às vezes, são bons cientistas nas áreas deles, mas aí começa a falar de outras coisas não fica tão bom. Então, eu acho que falta muito e está muito difícil de fazer. Está muito complicado, para além da gente não conseguir expressar direito, as pessoas simplesmente não acreditam mais que a gente está tendo problema climático. Tem gente que fala que não tem mais volta, já chegou num ponto que não vai mais voltar o que era nos últimos 20 ou 30 anos. Tem gente que diz que ainda tem volta, mas a gente está muito próximo de esgotar o sistema e provocar dano irreversível. As pessoas não acreditam. Por outro lado, às vezes, acreditam demais em coisas que não era para acreditar. Foi o caso da fosfoetanolamina, que foi vendida. Ah, a grande promessa! E, eu falei: “mas, composto nesse estágio a gente tem dezenas aqui”. Só nesse corredor tem um monte e venderam isso como a coisa mais maravilhosa do mundo e, de fato, quando foi fazer o teste *in vivo* não tem atividade apreciável. Então, está difícil. A gente está num tempo muito complicado. Eu nem sei se vale a pena, quer dizer, vale a pena, sempre vale, a gente precisa fazer, mas acho que a abordagem vai ser um pouco diferente agora, porque a gente já vai ter que “apagar alguns incêndios”. O trabalho não é só preventivo, agora a gente vai ter que reconstruir coisas, vai ser bem difícil. A minha opinião: tem que começar a falar com as crianças, ensino básico. Começar com ensino básico. Ah, mas os jovens, só três da turma. Tudo bem, pega só esses três, vamos lá, estimula os três, porque não adianta mais, passar no fantástico, ou pegar o jovem que já acabou a universidade, já está no mercado de trabalho, ele quer um conhecimento mais fácil. Então, ele vê muita coisa sem filtro, rede social. Então, está muito complicado de competir, alguns tem conseguido, mas está muito longe do ideal. É difícil, a gente também não pode se colocar na posição de “ah, a gente sabe tudo, vocês nos ouçam”. Também não vai dar certo aí, porque, por razões óbvias, porque a gente também não conhece tudo; não dá. Não dá para fazer isso, está errado assim. Não é questão de não ter esse ego, porque a gente não é isso. Então, tinha que tentar pegar criança e ver. Criança também vai ser complicado, porque tem pai que vai falar que você está ensinando coisa que não concorda, então está difícil. E, as pessoas precisam ser alertadas. Essa parte, nanotoxicologia ambiental, eu falei, lá fora está bem claro isso, está acontecendo. Eles estão fazendo, essa onda está chegando aqui, mas vamos ver o que ela vai fazer, não sei. Existem trabalhos, a gente pega esparsamente, revista FAPESP, às vezes, tem o pessoal trabalhando com isso, mas parece que ainda não formou aquela massa, mas vai chegar. Vamos ver quem vai parar para ouvir. Vamos ver o que vai acontecer.

Uma coisa que tem aparecido nos projetos, esses são mais evidentes, nos casos de aplicações de tecnologias, mas talvez dê para pensar um pouco no caso da nanotecnologia, mesmo nessas fases iniciais, que é a reversibilidade da aplicação de uma tecnologia. Tem alguma coisa em relação a isso sendo pensada no campo da nanotecnologia?

Como assim reversibilidade?

É, vou dar um exemplo que é bem típico, que é o caso de uso de celulares. É uma tecnologia que não só trouxe o benefício na comunicação, mas mudou comportamento e que, ao que parece, é uma tecnologia que ela é irreversível. Ou seja, a sociedade não vai deixar de usar o celular para voltar ao comportamento anterior. Claro que eu peguei um tema que é bem evidente, tem outros que são mais sutis, até, por exemplo, coisas de descarte. Talvez, o uso de plástico gerou uma cultura de descartar, é barato, descarta, descarta. E, agora virou um problema. Teria alguma coisa pensada nessas áreas mais da nanotecnologia?

Aqui comigo não. Mas, assim, o que eu vejo de literatura, de acompanhar divulgação científica principalmente, o que eu acho que, para mim, está logo aí inclusive, é a geração de energia. Então, isso acho que vai ser reversível mesmo, porque a gente está vivendo agora um resgate das fontes de combustível fóssil. No hemisfério norte, a gente usa muito pouco. Na verdade, a gente usa até quando tem uma escassez, tem seca. Mas, no limite, isso dá 12%, dá 15%. No hemisfério norte parece que bate em 70%, então a gente está bem abaixo. Mas, tudo bem, a gente usa. Eu acho que geração de energia tanto eólica quanto solar, a eólica, ou seja, a bateria depende de nanotecnologia, a gente tem nanoestruturas para fazer as baterias e tem nanoestruturas para captar energia solar. Tem as formas de grafeno, que são boas para captar energia solar e o custo delas está baixando, então eu acho que isso seria o principal exemplo da nanotecnologia e uso irreversível. Eu acho que a hora que começar a usar não vai parar mais, não significa que vai dominar a matriz energética, mas acho que vai ser uma tecnologia que vai estar lá para ficar. Outra coisa, os nanofármacos. Realmente, a gente vai ter fármacos dispersos em nanopartículas, isso já é uma realidade inclusive, tem estudo clínico acontecendo. Eu acho que sim, porque cai naquele contexto que eu falei para você, se a gente muda a interação, pelo fato de estar organizado em uma nanoestrutura, isso muda a interação. Uma outra coisa que eu acho que vai pegar e não vai sair mais são os organometálicos. São nanoestruturas que eu faço a partícula inorgânica, aqui a gente faz partículas inorgânicas com uma capinha orgânica. Tem cara que chama isso de organometálico. Não é bem isso. Organometálico, você tem uma molécula que tem metais e uma molécula orgânica com metais na composição, então, por exemplo, a hemoglobina seria um organometálico. Ela tem os átomos de ferro, os grupos N e tem a proteína em volta. São linhas de pesquisa muito de ponta. É o topo do topo. Novos materiais que estão sendo feitos com sínteses completamente malucas e que dá resultado. Você tem a proteína paramagnética, não é a célula, a própria proteína que é. Como ela tem lá o ferro na composição ela consegue cristalizar o ferro de uma forma que é paramagnética. Você tem moléculas orgânicas com propriedades de inorgânicas e vice-versa. Isso pode ser usado até para microchip, dá para ser usado para biossensores. Acho que isso vem de um negócio antigo que eram os sensores de DNA que já se conseguia fazer passar corrente elétrica no fiozinho de DNA. E, agora, conforme isso foi sendo refinado, a gente chegou no organometálico. Isso também a hora que “bater”, isso daí eu acho que vai ser irreversível mesmo. Agora, cosméticos e tal, isso daí é tudo muito volúvel, eu acho que amanhã ou depois, se a gente começar a pressionar e falar: não, a gente não quer mais nanoesponjas. Eles vão voltar para o lipossoma, que é um saquinho de gordura, eles vão se adaptar. Isso aí eu acho que tem reversibilidade, isso dá para fazer. Especialmente a área de energia, farmacologia e materiais eu acho que vai estar aí para ficar. A gente vai ter coisas que podem pegar mesmo de vez e mudar mesmo hábitos. O problema não é o material, o problema é o acesso. Nós vamos poder, cada um, ter em sua casa? Ou a Eletropaulo não vai deixar a gente? Acho que o problema não é só tecnologia. O problema que eu acho que tem com o combustível também, o carro elétrico já existe há muitos anos, e nós podemos ter? Me recuso a acreditar que o carro híbrido custa 100 mil reais. O carro popular não tem

nada. Me recuso a acreditar que custa 110, 120 mil reais; não custa. É que a gente tem um probleminha aí que vai além da tecnologia propriamente dita.

Quando começaram essas pesquisas sobre nanotecnologia, principalmente nos Estados Unidos, um dos argumentos favoráveis a investir nisso era a questão ambiental que, por exemplo, economizava matéria prima. A construção não era de cima para baixo, era de baixo para cima. Ainda existe isso na pesquisa ou já ficou para trás? Esse apelo ambiental, eu quero dizer.

Para economizar matéria prima?

É. Isso ainda é um argumento que se usa ou isso já ficou? Já abandonaram?

Eu não tenho visto muito. É engraçado, você colocou isso, eu parei para pensar, não tenho visto muito não. Esse argumento de redução não, eu tenho visto o argumento de substituição. De você conseguir estruturar, fazer nanoestruturados que substituem o plástico não degradável, que substituem o catalisador do automóvel; questão de substituição. Mas, economia não tenho visto muito. Agora, por outro lado, a gente vê. Meu orientando trabalha com partículas magnéticas para limpar o efluente. Então, você conseguiria recuperar determinadas substâncias de um esgoto, por exemplo. Tem bastante gente trabalhando com nanopartículas para recuperar petróleo, por exemplo. Então, a economia talvez viesse daí. Mas, você fala: “ah, a gente vai fazer aqui o nanoestruturado, o nanocomposto porque economiza”. Eu não tenho visto isso. Até vou começar a procurar, mas eu não tenho mais visto isso não. Tenho visto mais no campo da substituição.

Essa pesquisa desse seu orientando parece interessante.

Ele é meu coorientando. Ele faz os testes de toxicidade aqui, a gente conversa, “troca bastante figurinha” e tal e ajuda bastante a gente aqui nessa parte de caracterização, a parte que a gente precisa de bastante ajuda. Eles ajudam, eles são ótimos. Isso tem bastante. Essas linhas tem bastante, de limpeza de efluentes. Ou seja, aí seria a nanopartícula que você deliberadamente solta no meio ambiente para poder recuperar e, em geral, ela é feita com material paramagnético, para você poder recuperar facilmente. Talvez seja uma boa ideia também.

Uma outra questão aqui, que até já foi parcialmente respondida, mas eu vou apresentar ela. Que é a busca por uma tecnologia ser minimamente compreendida pelos usuários, por exemplo. E, aí talvez possa fazer uma conexão com o seguinte exemplo: quando começou a ter uso de equipamentos eletrônicos, esses mais antigos, por exemplo, aqueles walkmans, que usava mais pilhas, começou-se a falar para as pessoas: olha, a pilha não pode ficar jogando em qualquer lugar, tem que ter um descarte. Isso ainda não aconteceu, é comum as pessoas ainda jogarem pilha no lixo. Mas, no caso, por exemplo, dessas pesquisas que envolvem nanotecnologia, desses produtos que envolvem nanotecnologia, tem algum movimento nessa direção de, junto com isso, trazer um esclarecimento para as pessoas?

Não tenho visto, não. É o que a gente estava falando. Não tenho visto na base da pesquisa acadêmica mesmo, mas isso aí depende, na minha concepção, de política pública. Depende de conscientização, depende de regulamentação. Nenhuma empresa que produz isso vai falar: “olha, pessoal”, deliberadamente ela não vai falar, “olha pessoal é perigoso para o ambiente”. Ela não vai fazer isso. Então, isso depende de você ter um mínimo, não é nem um controle, hoje em dia você fala isso parece que as pessoas não gostam de ouvir isso, mas não dá para soltar totalmente, você precisa ter.

O interesse público precisa estar lá congregado de alguma forma, de falar: não, espera aí gente, talvez não precise proibir, mas pilha cai naquela irreversibilidade que você falou, não dá mais para voltar. Mas, vamos então pensar em uma estrutura de descarte, vamos tentar conscientizar, vamos falar com as crianças. Isso demora muito tempo, aqui demora até mais de uma geração para conscientizar, e eu acho que precisa de uma política pública. Se for ver, nem é tanto gasto assim para criar conscientização, nem é tanto, porque demora, mas não gasta tanto dinheiro assim. É um trabalho contínuo.

Persistente?

Persistente. Mas, o pessoal não gosta muito de usar exemplo de países do hemisfério norte, lembrar que no começo do século 20 tinha epidemia de mosca em Nova Iorque e acabaram com a epidemia fazendo conscientização, fazendo as pessoas lavarem as mãos, por exemplo. Tinha epidemia de cólera em Nova Iorque. Então, foi conscientização. Ah, tudo bem, teve saneamento básico também, claro, mas se só saneamento básico funcionasse não tinha dengue em São Paulo, em áreas urbanizadas, às vezes, tem terrenos até bastante valorizados aqui na cidade de São Paulo que estão sujeitos a terem foco de dengue. Então, se fosse só o saneamento, tem que ter a conscientização também. Talvez, seja até mais importante do que os dois ficarem juntos. Tinha que ter uma coisa assim, se não, não vai. Isso partir só da comunidade científica, a gente pode levantar e falar: olha pessoal e tal, mas a gente não vai ser ouvido, não é assim que funciona, ainda mais hoje, a gente até pode sair, ir a público e fazer, mas é complicado, a gente não tem essa credibilidade toda. Algumas figuras têm credibilidade. Você tem alguns pesquisadores que aparecem bastante na TV, tem alguns médicos que aparecem, esses assim ainda têm, mas depende do que eles falarem também. Hoje em dia está muito volátil, eles podem perder a credibilidade também, por causa de uma ou duas declarações. Então, é difícil fazer isso, partindo diretamente da pesquisa. A gente ainda está na base de produzir o conhecimento e tentar falar isso em canais menos formais, mais *youtube*, são os divulgadores. Eu tenho várias críticas a vários divulgadores científicos, mas são estritamente necessários, espero que eles continuem, por mais que eu tenha muitas críticas. Tem que continuar, porque é pior sem eles. Tem que ocupar um espaço inclusive que está lá sendo ocupado por malucos. Então, talvez esse seja um caminho, mas não vai resolver também sozinho. Talvez ajude bastante se a gente conseguir pegar mais as crianças, pegar mais cedo.

Pesquisador 8 (P8)

Bom, a primeira questão é mais geral, é em relação ao projeto que você participa que envolve nanotecnologia. Poderia comentar um pouco do projeto, do que se trata, ou se tem mais de um também?

É, na verdade, assim, a gente trabalha em mais de um projeto. Eu, no momento, estou trabalhando em dois projetos, mas ao longo do tempo, a gente vai, tem os ciclos, os projetos vão acabando e a gente vai trabalhando em outros projetos. Assim, mais voltado de nanotecnologia aqui no [Instituto], eu trabalhei, porque alguns projetos não foram nanotecnologia. Aqui eu trabalhei num projeto que também era nanocompósito; era um projeto com uma empresa. Só que era desenvolvimento de algum sistema ou material particulado, eu não posso abrir tanto os detalhes do projeto, mas era também nessa linha, também envolveu argila. A gente desenvolveu algum aditivo que tivesse uma nanoestrutura para incorporação de resina termofixa. Aí, o enfoque no mestrado era propriedade mecânica e aqui foi a propriedade antichama, retardante de chama, na

verdade, porque não se torna um material à prova de fogo, mas sim ele reduz a velocidade de propagação da chama. Então, esse foi um projeto de nano que eu trabalhei. Depois, eu trabalhei também com o pessoal no projeto de [nome], materiais para regulação térmica no segmento da indústria automobilística. Ali também envolveu um pouco de nanotecnologia. E, agora eu tenho um outro projeto também na área de compósitos que a gente está envolvendo nanopartículas, mas a gente incorpora nanopartículas já prontas do mercado, eu não estou sintetizando as nanopartículas, porque o enfoque é formular essas composições. Então, o produto do cliente é a formulação que interessa, já está numa escala para fazer o produto final mesmo para aplicação. Ele não é uma empresa que vai desenvolver o aditivo ou a partícula. Então, acredito que são esses os projetos que eu trabalho mais perto, assim, que eu efetivamente trabalhei, de eu mesmo ir para o laboratório, escrever relatório e acompanhar um pouco outros projetos que o pessoal fez aqui, mas acompanhei mais como espectadora.

E, esse último então é o projeto que está em andamento ainda?

Isso. Está. É um projeto pequeno; é um projeto de um ano. A gente está na metade do projeto e fora isso que eu acompanho também e a gente tem um projeto que está encerrando agora. Um projeto que levou 4 anos, é um projeto chamado Projeto [nome]. O [Instituto] já tem uma gestão da qualidade corporativa e a gente fez essa implementação para algumas técnicas analíticas que a gente não tinha. A gente tem uma pessoa na equipe, que é uma bolsista desse projeto. São técnicas analíticas que a gente usa para caracterização de materiais. Algumas são específicas de nanotecnologia, algumas também servem para nanotecnologia e tem aquelas que não são de nanotecnologia, mas também são aplicadas. Então, acompanho um pouco ela também, de alguma forma trabalho, não tanto, mas trabalho um pouco com ela nessa parte da qualidade também. É um projeto que está encerrando agora em fevereiro. Então, assim, a proposta desse projeto é elaborar os procedimentos em ensaios, baseado em normas, metodologias científicas, processos bem estabelecidos, ter um cálculo da estimativa da incerteza da medição para essas propriedades. Por exemplo, nessa técnica analítica de tamanho de partículas, que é espalhamento dinâmico de luz, uma das atividades que está encerrando agora, que são vários laboratórios que participam desse projeto, inclusive o [Instituto] também participa, tem laboratórios no Nordeste, no Sul, então para as equipes que participaram dessa técnica, a gente teve uma reunião em dezembro com eles aqui no [Instituto], para estudar um pouco mais a norma, estudar a literatura para criar um protocolo único, porque é uma técnica relativamente nova e que a Universidade também trabalha, enfim, mas que a gente ainda precisa de um refino no entendimento da técnica. A gente foi nesse projeto, a gente passou por visitas técnicas com pessoas que são auditores do INMETRO. Não era uma auditoria oficial do INMETRO, mas era para o projeto e tinham esses auditores que são do INMETRO e eles mesmos falaram: “olha, hoje a gente precisa ainda aprofundar mais essa técnica de caracterização de nanopartículas”. É uma necessidade entender melhor essa técnica. Daí que veio essa discussão de a comissão tentar criar esse protocolo. Embora já tenha norma, mas requer mais estudo para avançar nessa técnica analítica em especial. Então, isso é um pouco também do que eu tenho acompanhado e a gente também participou em novembro do projeto SisNANO. Não sei se você ouviu falar. Foi uma iniciativa do Ministério da Ciência e Tecnologia e a gente participou logo da primeira fase, onde, via CNPq, a gente teve recursos para compra de infraestrutura. A gente recebeu uma bolsista também; acabou fazendo um trabalho de desenvolvimento técnico, uma pesquisa bem na linha de nanocompósitos, muito parecida com o que eu fiz no meu mestrado e doutorado, mas com outra matriz, com outra partícula, também fazendo a modificação da partícula, o tratamento, eu acompanho um pouco ela também, um trabalho que eu acompanho mais de perto. Isso acabou virando o

doutorado dela que está em andamento, em parceria com o [Instituto]. Então, é um pouco disso que eu estou vendo na nanotecnologia.

Você comentou desse protocolo, inclusive com o pessoal do INMETRO, tem alguns pontos que daria para destacar que precisam de mais discussão, ou é meio geral?

Deixa eu tentar lembrar. É que, na verdade, a bolsista do projeto ela que acaba indo a fundo, eu participei um pouco. Deixa eu ver se anotei alguma coisa aqui na ocasião. Mas, tem, assim, dúvidas em relação à própria interpretação da norma, porque, às vezes, as pessoas interpretam diferente o que a norma traz.

Não tem problema se não lembrar.

Mas, por exemplo, disponível no mercado existem equipamentos de diferentes fabricantes. Existe um ângulo para difração do feixe de laser e isso, por exemplo, no nosso equipamento é um ângulo, nas outras pessoas é outro ângulo. Então, às vezes, você mede um padrão e ele não dá exatamente igual para todo mundo. E, às vezes, o pessoal não entende, por exemplo, que a gente não consegue mexer nesse ângulo. E, aí a gente pegou um documento, a gente viu um documento em que foi feito um estudo de materiais de referência certificado. Foram mais de 20 equipamentos, de diferentes laboratórios, para chegar ao valor médio e aí tem equipamentos que pedem o índice de refração do meio que a partícula está dispersa e a própria partícula. Então, esse foi um ponto que gerou tanta polêmica na nossa reunião, porque o nosso equipamento pede o índice de refração do meio, mas não da partícula. Mas, quando você está falando, por exemplo, num sistema encapsulado, você não está falando de uma partícula inorgânica que você sabe o que é aquela partícula, você está falando de um sistema complexo que você não tem essa propriedade catalogada, não tem como medir essa propriedade. Então, esses detalhes não são ainda bem estabelecidos. Mesmo assim, a questão de materiais de referência certificados para você acompanhar, você fazer a validação, a qualificação do seu equipamento e ter a segurança, a garantia do seu resultado, a gente não tem uma grande disponibilidade desse tipo de material. A gente comprou numa ocasião, foi o projeto que comprou para gente esses materiais, um veio do [fabricante], outro veio, acho que todos vieram do [fabricante], não me lembro, ou se veio da Europa também, não tenho certeza, e esses padrões têm uma validade muito pequena. Eles têm validade tipo de um ano e depois que você abriu a gente não tem certeza mais se tem estabilidade. Na verdade, eles são padrões para você abrir a ampola e usar na hora. Mas, a gente, às vezes, como são coisas caras que custam 2 a 4 mil reais, a gente acaba guardando para fazer pelo menos uma verificação intermediária. Enfim, a gente não tem certeza da estabilidade desses padrões. Por exemplo, a gente foi tentar comprar de novo esse padrão, o próprio [fornecedor] já não tinha mais disponível nenhum lote e a gente viu que o último lote que foi comprado eles não produziram mais, o porquê a gente não conseguiu saber. Então, existe uma dificuldade também de comprar esses padrões com essas medidas.

Talvez, eu vá fazer um monte de perguntas bem leigas, mas entra nessas especificidades que eu não tenho conhecimento. Quando você está chamando de padrões, são especificamente em relação a que?

Então, são, por exemplo, partículas que foram produzidas com certo rigor.

Partículas nanométricas?

Nanométricas. Por exemplo, tem partículas de sílica, um desses padrões são partículas de sílica, então elas são partículas que foram produzidas de um tamanho bem

controlado e elas passam por essa varredura por vários equipamentos, por diferentes laboratórios, para chegar a um valor médio. Existe uma comparação e é feito um cálculo de incerteza da medição e aí você tem, assim, esse é o meu padrão. Material de referência. Então, o meu equipamento tem que dar essa medida com essa faixa de desvio. Como é um material que foi certificado, que você tem certeza, embora tenha a estimativa da incerteza, você tem um valor nominal médio e os nossos equipamentos têm que responder a esse valor. Se os nossos equipamentos não responderem a esse valor, significa que ou nosso procedimento ou nosso equipamento pode estar com algum defeito, o nosso procedimento pode estar inadequado; é nesse sentido.

Então, por exemplo, se vocês produzem aqui uma estrutura manométrica e querem verificar se se trata dessa partícula de sílica, faz a medição dessa amostra feita aqui e compara com esse padrão, é isso?

É, ou eu vou checar que meu equipamento está respondendo ok, eu posso produzir uma outra partícula qualquer.

Ah, pode ser para verificar o equipamento?

É para verificar a garantia do resultado. Ou seja, se o equipamento está me respondendo com confiança. E, por exemplo, trabalhos que a gente teve demanda aqui, coisa que a gente está esperando, são demandas da indústria farmacêutica para a parte de serviço tecnológico, pesquisa para caracterizar tamanho de partícula dos fármacos que são também com nanotecnologia. Como a gente não tem legislações bem estabelecidas, não tem protocolo, então a ANVISA faz algumas exigências para esses laboratórios farmacêuticos e aí é necessário ter esse padrão para qualificar o equipamento.

Ah, ok, ele é mais para o equipamento?

Para qualificar o equipamento.

Bom, você mais ou menos já respondeu isso. Que não é um projeto só, são vários e, pelo que eu entendi, porque teve uma hora que você disse “olha, até onde eu posso te contar, é tal coisa”, suponho que sejam projetos protegidos por contratos com empresas privadas?

Isso. O [Instituto] trabalha essencialmente com a indústria.

E, aí são protegidos por contrato?

A gente tem um termo de confidencialidade, por isso que a gente não pode abrir, o que é, para quem é, falar muito dos materiais.

Nem as empresas não podem falar? Por exemplo, uma das perguntas que eu iria fazer é essa: os financiadores dos projetos. Mas, se não pode, não diga. Não tem problema.

É, assim, em linhas gerais, a gente teve projetos com empresa do setor automobilístico, não montadoras propriamente dita, mas empresas que, nós tivemos também projetos com montadoras, fazem componentes para montadora. A gente tem aqui no [Instituto], não só no nosso laboratório, como outros laboratórios, projetos com a Petrobras.

São projetos preservados por contrato de confidencialidade? Mesmo a Petrobras sendo pública?

Por exemplo, no servidor a gente tem as pastas e os projetos. Eu só tenho acesso às pastas e projetos que eu participo. A pasta do meu colega que está aqui do lado, pode ser que num projeto ele trabalhe comigo e tem outro projeto que ele trabalhe com outra equipe. Então, eu não vou acessar e nem ele vai acessar aquele que não trabalha.

Então, tem um cuidado bem rigoroso?

Tem. É porque uma das coisas que o [Instituto] olha também é a parte de patentes, propriedade intelectual, porque a gente precisa disso.

Entra num campo da competição, não é?

Nem sempre a gente, como todo projeto de pesquisa, nem sempre a gente chega no produto final ou alguma coisa já acabada que a gente pode por no mercado para vender. Mas, a gente tem uma trajetória, tem um caminho percorrido, um aprendizado foi feito e isso varia, tem empresa que, se você não chegou no produto que ela queria, ou, às vezes, o que foi proposto nem é tanto um produto, alguma coisa que vai depois fazer parte de um produto, eles têm uma dificuldade de entender isso. Mas, tem empresas que olham realmente isso: o aprendizado que acaba sendo até o mais importante.

Sim, porque em uma sequência você não vai partir do zero. Eu vi no site que a [empresa] tinha um projeto aqui.

Sim, a [empresa] mais de um projeto já fez aqui.

Isso me chamou a atenção e, depois que comecei a olhar, eu vi que fazia todo o sentido. Era a questão de cosméticos, não é?

Isso. Esse foi um projeto grande. Na verdade, foi um projeto que mais de uma empresa participou. A [nome da pesquisadora] e o [nome do pesquisador] que podem falar mais. A [nome da pesquisadora] que era coordenadora desse projeto. Foi um dos que eu acompanhei mais como espectadora; coisa até difícil de ver que várias empresas do segmento cosméticos participaram juntas desse projeto.

Que são concorrentes no mercado?

Isso. Mas, assim, era um projeto que tinha uma parte que era comum a todas, que era dividido, uma parte das empresas tinha uma plataforma e a outra era uma plataforma comum que depois entrava, depois dessa fase, dividia para cada uma com o seu produto específico. Então, teve uma base que era comum. Duas empresas eram de uma base que era comum, uma plataforma comum, e as outras duas em outra plataforma, depois isso se dividia cada uma com o seu e daí era tratado individualmente. Mas, é algo que foi inédito para a gente. Como que você coloca concorrentes numa mesma mesa na sala de reuniões feitas aqui? As pessoas vinham, se encontravam. Foi algo bem legal.

É, porque também tem uma coisa meio que o leigo fica muito apoiado em coisas de filme, não é? Aquelas coisas do segredo, da espionagem industrial, coisas assim. Não sei se chega a esse nível? Acho que não chega a esse nível de espionagem industrial ou coisa assim? Não sei se isso é muito de filme ou se tem mesmo.

Eu nunca presenciei, nunca senti, nem nunca percebi isso não.

Outra coisa que vem muito do cinema é a questão do armamento, que aí sim está envolto em segredos, por razões óbvias. Acho que o Brasil não tem muito essa tendência em investir em armamento, não nesse nível de pesquisa. Tem de produção. O Brasil produz armamentos, mas não sei se tem...

Uma pesquisa?

Isso.

Não sei te dizer. Aqui no [Instituto] não tem nada nessa área, que eu conheça não tem nada nessa linha. Não sei o [Instituto], que trabalha com materiais.

Essa pergunta eu já adiantei quando eu estava explicando o contexto geral, que é a questão desses projetos de nanotecnologia se você consegue identificar que ele tenha algumas especificidades por se tratar de nanotecnologia em relação a outros projetos que você já tenha participado. Consegue identificar alguma coisa? Uma parece que você até indicou, que é a questão dos protocolos que estão tentando discutir isso. Parece que é uma coisa peculiar da nanotecnologia.

Isso. É, a caracterização, às vezes, é um pouco complicada também, porque é novo. Ou mesmo os métodos de preparação, às vezes, a gente vai adaptando, é empírico mesmo, na maioria das vezes é empírico. Você leva no laboratório, faz uma preparação e caracteriza. Ah, não deu, não chegou. Vai lá, repete, muda alguma coisa e aí caminha.

Você diz caracterização de estruturas?

De estruturas. Às vezes, é difícil caracterizar as estruturas, por exemplo, quando a gente trata de materiais encapsulados. Não é a linha que eu participo diretamente, mas são capsulas que contém um ativo lá dentro. São fármacos, um agro, e você ter certeza que aquilo está lá dentro, às vezes, é um desafio fazer esse tipo de caracterização. Eu acho que um pouco os cuidados com a manipulação, a gente não tem uma legislação que fala da questão da segurança. Caminha nesse sentido de estarem estudando, mas a gente não tem muito bem identificados os riscos à segurança. Mas, alguma coisa muito diferente, assim, na prática eu não detectei.

Uma coisa que se fala muito, principalmente agora nos últimos anos, é a questão da, num modo mais geral em relação à tecnologia, é a questão da tecnologia aberta. Ou seja, alguns segmentos da sociedade defendem que o conhecimento tem que ser o mais disponível possível, o que chamam de tecnologias abertas. Tem alguma discussão disso aqui em relação às pesquisas em inovação tecnológica? Ou não é um tema discutido?

Que eu venha acompanhando de perto, que eu saiba que tem alguém fazendo, não.

Porque aqui parte do investimento é público, então se supõe que esse conhecimento produzido estaria disponível aí para quem quisesse?

Mas, é que aí tem essa questão, o projeto é contratado da empresa. Mas, o que o [Instituto] tem são os projetos de capacitação, que são projetos que o [Instituto], vamos supor, eu submeto um projeto, tem a chamada acho que todo ano, e a gente submete como se fosse submeter, por exemplo, para a FAPESP, a gente submete aqui internamente. Se ele for selecionado, a gente recebe dessa parte do recurso do governo, é o que custeia o projeto. A gente tem um número limitado de dedicação de horas, mas aí esse é um conhecimento que pode ficar mais público porque aí você pode publicar

um artigo. Agora, um projeto de um cliente pode até ser publicado, mas tem que ter um consentimento, tem que ter um acordo, provavelmente algum termo autorizando essa publicação. Mas, fora isso, a gente não pode publicar. Mas, os projetos de capacitação ou que a gente tem trabalhado um pouco hoje no [Instituto] é com o [programa]. São alunos da Universidade que vêm trabalhar com a gente, com bolsa. Então, como são trabalhos acadêmicos e que a gente tem uma colaboração nossa, tanto em coorientação como em infraestrutura, que a gente disponibiliza recurso nosso, esses são trabalhos que são publicados.

Eu ia perguntar exatamente isso, porque cobra-se muito da gente na Universidade as publicações. Nossa “moeda” é o artigo. Mas, aqui para vocês é um problema, porque tem coisa que vocês têm um conhecimento produzido, mas não podem publicar, não é?

E, a gente também tem meta aqui. Tem os indicadores de publicação que é esperado do pesquisador.

E, como fica isso? Como vocês conseguem gerenciar isso no [Instituto]? Há consciência desse problema, das agências financiadoras, pelo menos? Isso já nem está no meu cronograma, mas chama a atenção, porque é como eu falei, por exemplo, toda a USP aqui é artigo. Você vai pedir um recurso? Ah, quantos artigos você tem publicado? E, como fica aqui no caso de vocês?

O [Instituto], por um bom tempo, ele não vinha participando muito dos editais FAPESP. Acho que isso até em outras diretorias ficou meio de lado, agora que tem retomado. Então, é importante. Por isso que a [diretoria] tem ficado em cima dessa cobrança, porque todo ano, chega no fim do ano, a chefia tem que apresentar para a [diretoria] um planejamento do próximo ano e lá tem os indicadores. Então, lá ele tem que colocar um número mínimo do que a gente vai entregar no próximo ano, publicações, tudo. Então, eu acho que é um por pesquisador, eu não lembro ao certo. Mas, às vezes, você fala uma publicação no ano, mas é difícil da gente atingir.

Sim, se está tudo protegido.

Protegido e, às vezes, para você ter um resultado interessante que você possa publicar, às vezes, em um ano você não produziu isso ainda; você precisa de mais tempo. Até você submeter, às vezes, o artigo volta, demora, não aceita, aí você reestrutura, submete, demora 2, 3, 4 meses para devolver um artigo que você submete. Então, o processo de publicação também é lento.

E, isso é genérico, com a gente se passa a mesma coisa. Isso que a gente não tem o impedimento do contrato. Interessante isso. Essa questão da tecnologia aberta, eu acho que ela é mais comum na área dos softwares, ou coisa assim. Antes, se falava muito de tecnologia livre. Aqueles softwares que estão disponíveis de graça e tal e, de uns anos para cá, começou a falar das tecnologias abertas. Ou seja, além de ser esses softwares grátis, eles têm o código aberto, ou seja, o usuário pode acessar internamente esse software e modificar e tudo mais.

É, mais para a parte química, que depende muito de uma formulação, uma metodologia.

Talvez pensar essas estruturas, por exemplo, essas cápsulas. Uma coisa é divulgar que foi feito e que tem tal coisa lá dentro, como você falou. Mas, será que uma pessoa que lê um artigo desses, ela consegue replicar essa cápsula?

É, então, aí é que está. A gente pega artigos e tenta reproduzir e não consegue, às vezes, reproduzir. A gente pega um artigo experimental, tenta reproduzir e não consegue.

A hipótese é de que tem algumas coisas que não foram contadas?

Tem o “pulo do gato” escondido. Como patente, tudo dá certo. Você pega e tenta reproduzir e não. Esse projeto mesmo que eu te falei, um projeto curto de um ano que é um compósito, a gente pegou para a preparação da parte que é a matriz polimérica. Vi em mais de um artigo que eles faziam a preparação de um dos componentes da matriz polimérica num reator, com temperatura X, uma adição de um componente de tal forma, e a gente foi fazer e não deu certo. E, aí eu peguei os componentes e fiz uma mistura mais manual, direta, como são os que já vêm prontos, e deu certo. Então eu falei: “o que é que tinha?” Porque a gente seguiu praticamente os mesmos componentes que eles tinham. O que eles fizeram de diferente? Por que o nosso não deu? E, acabou dando certo de outra forma.

E, essa forma alternativa foi eficiente também? Foi equivalente?

É. Foi equivalente. A gente começou a caracterizar hoje e parece que vai responder bem. E, coisas também que eu acho que é uma grande questão da literatura é que a maior parte disso é feito na Universidade ou Instituto de pesquisa. Tudo isso é feito numa escala de bancada, tudo pequeno, pouco. Uma das coisas que a gente tem aqui no [Instituto] nos projetos é o escalonamento. Depois que você faz uma fase, chegou no produto, às vezes, você tem que ir até para a planta do cliente, ou faz aqui em escala maior, ou faz até na planta do cliente em escala maior. E, como você escalou isso? Às vezes, um artigo, por exemplo, a pessoa põe detalhes ali na preparação que, às vezes, numa escala maior é difícil você adaptar, é mais difícil você trabalhar dessa forma.

Interessante isso. E, isso é comum ou são alguns casos que acontece de não conseguir replicar?

Diria que é médio. Não é nem comum nem tão raro.

Mas, a suspeita é de que seja mesmo um detalhe que foi omitido propositalmente? E, não uma falha na descrição do processo?

É.

E, aí talvez seja um ponto de partida para diferenciar um pouco a ciência da tecnologia me parece. Aparentemente, porque quando o cientista, pensar o cientista básico o químico, o físico, quando ele pensa uma coisa nova ele tem pressa em divulgar tudo aquilo e na tecnologia me parece que nem tanto, porque envolve todas essas questões que a gente já discutiu.

Por exemplo, quando a gente deposita uma patente, a gente não tem a patente ainda de verdade, a gente tem o depósito da patente que fica incubada lá 18 meses e, depois que ela é publicada, se é aceita. E, aqui no Brasil também é um problema porque a gente não tem revisor de patente. O INPI tem essa dificuldade, porque não tem pessoas especializadas para trabalhar nessa questão. Então, às vezes, para uma patente ser concedida leva muitos anos. Você deposita, ela foi publicada, mas ela não foi concedida, ela fica lá numa fila para ser avaliada. Até ela ser concedida, já foi. De repente, quando for concedida, a tecnologia já mudou.

Nem é tão inovador assim. O quanto que se perde com isso? E, nessa questão da relação entre a ciência e a tecnologia, você comentou da tua formação que foi em química e vem para um [Instituto]. Você trabalha bem com isso, quer dizer, você se sente fazendo tecnologia? Ou se sente fazendo ciência? Ou isso não é uma coisa que te preocupa?

Não me preocupa, não. Eu acho que a gente tem que usar o conhecimento científico, que a gente tenta fazer no [Instituto], o conhecimento científico para gerar essa tecnologia. Mas, assim, a gente usa também o conhecimento fundamental. Hoje, eu trabalho num projeto que é polimerização, síntese de polímeros, são estruturas com mais de um monômero, enfim, e a gente precisa também da base. A gente precisa consultar o livro para ver como é tal coisa, qual condição, entender o mecanismo de reação. Então, a gente, às vezes, tem que voltar para poder entender aquilo que a gente está gerando.

Não são campos separados nesse caso? No teu caso, você já veio para a nanotecnologia na formação? Porque tem alguns colegas, que eu tenho observado, que eles trabalhavam com outras coisas e acabaram chegando até a nanotecnologia. No teu caso já foi na formação. E, como eu falei, algumas questões podem parecer um pouco estranhas por que são quase que leigas, e algumas são leigas e uma delas é esta: a impressão que dá é que a nanotecnologia é uma área de conhecimento que ela é extremamente específica e a pergunta é se isso se reflete na produção da tecnologia? Ou seja, se se produz uma tecnologia que seja extremamente específica? Ou seja, que ela só serve para aquela coisinha, daquele projeto, daquele ponto, ou pode-se pensar na produção de um conhecimento tecnológico que se aplique a várias áreas? Isso é válido no caso da nanotecnologia?

Pergunta difícil. É, a gente tem as divisões da nanotecnologia, mas eu acho que dá para ter uma convergência de coisas em alguns pontos. Tem coisas que são específicas, mas, por exemplo, esse projeto que eu falei que foi cooperativo, existe uma plataforma que serve para você usar de diferentes maneiras, colocando diferentes ativos. Por exemplo, você gera uma nano-partícula que pode ser incorporada numa matriz polimérica, para fazer uma aplicação que dá para outra, pode no futuro vir a fazer, no momento você só tem um compósito, mas de repente esse compósito pode fazer parte de outro produto, de repente um sensor, ou alguma coisa que você muda nessa partícula. Então, ela tem as partes específicas, mas eu acho que ela tem possibilidade de convergir.

Ela tem uma polivalência?

Tem.

Você comentou algumas vezes de algumas pesquisas no campo dos fármacos e aí poderia se pensar, por exemplo, que você cria ali uma estrutura nano que vai levar um determinado fármaco lá numa célula, aquilo dispendeu um esforço enorme de busca de conhecimento para fazer só aquilo ali. Essa que é a pergunta, se de fato tem essa especificidade quase ao extremo ou não necessariamente? Ou seja, faz exatamente aquilo ali, mas também dá para se fazer outras coisas?

Você pode fazer alguma modificação e conseguir outro efeito. Eu entendo que sim, mas não posso afirmar isso com certeza. Eu entendo que sim. Posso te falar mais dos nanocompósitos. Por exemplo, você incorpora o que a gente tinha lá no início, que todo mundo estudou, que começou lá no Toyota, na década de 90, foi a incorporação de argilas modificadas em matriz de poliamida. Então, eles queriam ganho de propriedade mecânica e leveza na peça para substituir as cargas de reforço convencionais que era

carbonato de cálcio, que usava 30%, com argila você vem com 2 a 5 %, consegue essas propriedades mecânicas e você tem uma peça mais leve por causa da densidade dos materiais. Mas, muitas vezes, uma estrutura dessas pode também fazer um filme com propriedade de barreira, pode ser utilizado numa embalagem ou pode agregar mais alguma coisa que tem a propriedade de retardar a chama. Então, você pode adaptar um pouco isso e ter funcionalidades diferentes e aí, por exemplo, você troca a partícula, você pega, por exemplo, em vez de você por uma argila, você põe uma partícula de prata, uma nanopartícula de prata, você passa a ter uma propriedade microbiana.

Então, ela tem uma polivalência.

É, tem. É que acho que, assim, o primeiro ciclo da nanotecnologia se a gente for pensar, 2000 a 2010, acho que foi muito para entender os fenômenos da matéria, das estruturas, de como produzir. Eu acho que agora a gente está numa era mais de começar a formar produtos com essas coisas. Acho que depois, na próxima década, a gente tem uma coisa mais de novas estruturas ou de convergência desses sistemas para criar coisas mais novas. Não sei, isso é um pouco de tendência do que a literatura vem falando.

É tudo muito novo ainda, não é?

É. Muito novo, porque você pensa 10, 20 anos. Na verdade, assim, a nanotecnologia é antiga se for pensar, a forma de olhar isso como nanotecnologia é que é mais recente.

Acho que na década de 90 que começou a ficar mais

Isso. O boom mesmo foi no ano 2000.

E, outra questão, ela vai na sequência dessa e acho que até o exemplo dos fármacos serve aqui também, que é a questão do controle da nanotecnologia. E, aí é um pouco até o que, de novo, minha referência está muito associada às concepções das pessoas leigas, por exemplo, o receio que as pessoas têm da tecnologia e tudo o mais, e aí a questão vai nessa direção do controle da nanotecnologia. Quer dizer, o quanto nós temos de garantia de que uma determinada estrutura, por exemplo, um fármaco, ela vai lá até aquela célula que eu quero que ela vá, resolve o problema ali, deposita aquele fármaco, e para ali?

Eu acho que essa certeza; eu acho que não tem ainda.

Ah, não tem ainda?

Eu acho que não, eu imagino que não. É que eu não sou da área de fármacos, mas eu acho que isso ainda continua estudando, tanto que a gente não tem uma legislação ainda. Não existe uma legislação pronta ainda para como tratar essas questões. O que a gente tem, por exemplo, talvez a [nome da pesquisadora] possa comentar um pouco mais isso; é mais a área dela, a gente vê muito cosmético já que o pessoal fala que tem nanotecnologia, provavelmente tem algum ativo encapsulado, alguma coisa assim. Aí, você fala do tamanho dessa estrutura, aí um físico diria que isso não é nano, porque está acima de 100 nanômetros, mas para um produto desse você não pode ter uma estrutura tão pequena porque ela não pode permear na pele. Ela pode ir até uma determinada camada, mas ela não pode ir lá para a corrente sanguínea, ela não pode entrar para dentro do corpo, são partículas de 400, 500 nanômetros. Se é uma pessoa de ciência mesmo, de base, que de repente está pensando em uma partícula metálica que é muito menor vai falar não, mas isso não é mais nano.

Mas, nesse caso aí é uma espécie de controle, então? A partícula é feita de um tamanho tal que limite a capacidade de percolar na pele?

Um tamanho que limite o risco, que ela vai ter o benefício de ser nano de ir até certa camada e liberar esse ativo. Mas, isso não pode passar dali.

E, a hora que essa cápsula libera esse ativo, o que acontece com ela?

Ah, são polímeros compatíveis, normalmente se degrada.

Ah, sim. Ocorreu-me essa analogia do fármaco, mas pode ser que existam outras. Eu não consigo imaginar, sei lá, fazer por exemplo um tecido que proteja contra o ultravioleta e se esse tecido não pode causar outra coisa, ou um defeito que não era esperado. Não há uma certeza?

Do que eu entendo, não. Mas, eu acho que devem ter muitos grupos já estudando essas questões de segurança. Eu acho que tem coisas muito legais, assim, por exemplo, as chamadas tintas *self-healing* para carro. Não é uma realidade nossa aqui no Brasil, mas são tintas que tem capsulas com alguma coisa lá dentro, não sei se é a própria tinta, é um cicatrizante, na verdade, que se você sofrer um risco no carro, como essas cápsulas estão lá dentro, elas liberam esse cicatrizante e ele vem e cobre essa falha.

Reconstrói o arranhão no carro?

São coisas interessantes, não é? Sensores. Aqui no Brasil a gente não tem muita coisa. Se puder criar sensores; a gente tem um grupo aqui no núcleo que eu sei que eles têm alguma coisa de sensores. Não sei se envolve nanotecnologia também, mas para várias coisas, de problema de saúde, detecção de outras coisas. Sensores que tivessem alguma funcionalidade da nanotecnologia que dessem uma resposta para coisa que a gente não tem hoje. É, porque, assim, outra coisa, cosméticos, às vezes, você vai em alguma perfumaria e você vê um produto lá. Aí, vem a mocinha que nem sabe o que é nanotecnologia e ela assim: “ah, esse creme de cabelo tem nanotecnologia”. Só que, assim, parece que a nanotecnologia é um ingrediente x específico.

Como se fosse um item da receita? Alguma coisa colocada ali?

É colocada. Um ingrediente.

Isso é bem comum mesmo. Mas, talvez as pessoas pensem um pouco, por exemplo, nesse caso aí da tinta, quer dizer, se tem essa estrutura lá que tem essa capacidade, a pergunta é: e o dia em que esse carro é descartado, essa tinta fica no tempo e vai para o ambiente, não pode acontecer alguma outra coisa? Essa tinta começar a fazer outras coisas no ambiente?

Aí, assim, é uma capsula polimérica de tamanho nano, provavelmente, com alguma coisa que é um líquido lá dentro.

Em princípio, seria inofensivo?

Ela rompeu e, tantas outras coisas que não são nano, mas que são produtos químicos que a gente descarta. Por exemplo, se for pensar, o pneu sempre carregou nanotecnologia, porque pneu tem negro de fumo, e negro de fumo é uma partícula

manométrica que dá a cor preta e dá reforço também. Então, tem coisas que já tinham nanotecnologia e que a gente não via.

Não eram caracterizadas como tal.

Uma outra pergunta é em relação a isso, tem até a ver com as anteriores, que é o uso que se pode fazer da nanotecnologia. Isso a gente já viu em outras áreas no campo da ciência em geral, que é, por exemplo, uma coisa que é feita para algo benéfico ser usado para algo ruim. Por exemplo, a energia nuclear virou bomba atômica. Esses insumos agrícolas viraram armas químicas. Teria esse risco também no campo da nanotecnologia ou não se aplica isso?

Não sei te dizer, mas acho que deve ter sim, nunca vi nada, nunca, não posso te responder com certeza, mas acho que deve ter algum risco sim.

Seria um risco inerente mesmo ao conhecimento científico talvez? Não só à nanotecnologia?

É.

Uma outra questão aqui, bom isso aqui também é um tema novo que aparece nas discussões de tecnologia, que é a questão da reversibilidade. Ou seja, se quando se pensa num projeto, por exemplo, em nanotecnologia, se isso seria um item considerado. Ou seja, se essa tecnologia vai produzir um efeito se há previsão de que, se esse efeito não for o que a gente gostaria, ele pode ser reversível. Isso é muito comum no campo do meio ambiente. Se eu busco uma aplicação tecnológica para alguma coisa e causa algum dano.

Como você vai remediar isso?

Isso. A expectativa é que talvez isso já devesse ser pensada no projeto. Ou seja, antes de causar o dano já prever que, se acontecer tal coisa, há como reverter. Ou, se não, ao menos amenizar o prejuízo. Teria alguma coisa similar na nanotecnologia? Por exemplo, quando você pensa em projeto de inovação em nanotecnologia, tem alguma coisa parecida com isso?

Então, eu vou te falar do que eu acompanhei aqui. O que eu venho acompanhando aqui, a gente não tem tido essa abordagem, tanto que alguns projetos, as coisas que eu trabalho hoje podem, de uma formulação de uma forma livre, passar a compor de uma forma encapsulada. Ela é encapsulada e tal, mas que, às vezes, já era uma coisa comum do produto que você tenta colocar de uma outra forma para ver se aumenta a eficiência desse efeito quando na aplicação. Mas, daqui da nossa parte a gente não teve, pelo menos que eu acompanhei, a gente não teve essa abordagem. Mas, eu não sei te dizer também como lá fora o pessoal tem trabalhado isso.

Uma outra coisa também, isso é mais para os artefatos tecnológicos, é comum, por exemplo, alguns artefatos já estar incluída na sua produção a obsolescência. Então, quando você faz um artefato tecnológico já se prevê lá um tempo de vida útil daquilo e, em alguns casos, essa obsolescência, ela é intencional. A empresa faz um artefato que vai durar tanto tempo.

Se não, depois ela não vende mais.

Exatamente. Tem esse tipo de discussão no campo da nanotecnologia? Pode-se pensar isso?

Não. Nuca vi. Eu nunca vi. Não posso afirmar se tem ou não, mas eu nunca vi.

Do que você tem contato, não tem essa questão?

Não tem essa questão aí.

Acho que você já respondeu quando eu fiz aquela comparação do fármaco, de saber se ele vai fazer exatamente o que a gente quer que ele faça e depois não vai fazer outras coisas. Você falou que ele vai se degradar, não é?

É, a cápsula sim, o ativo é absorvido. Enfim, uma vitamina, por exemplo, ela tem a ação dela.

E, essa cápsula vai para onde?

Então, não sei te dizer. Mas, isso, por exemplo, se é um cosmético, se é um creme, isso está numa base, então quando você lava é como um creme, você passa e quando você toma banho, isso tem uma camada que vai embora. Mas, isso vai para a água, vai para o esgoto, é que nem o caso dos hormônios que vão para a água, que dizem que não tem o que tire os hormônios da água. A pessoa aqui que trabalha com contaminação dizia que hormônio não tem tratamento que tire hormônio da água.

Acho que é um pouco isso que esses, como dizer, esses filmes mais “apocalípticos” usam muito essa questão. Por exemplo, essa cápsula que é lavada e vai para a água, vai para o rio, aí ela se encontra lá com uma bactéria, não sei o que, uma bacteriazinha que não faz mal para ninguém e, de repente, quando se encontra com essa capsulazinha forma uma bactéria terrível.

Não, eu acho que isso não. Uma que já são coisas que você vai usar no corpo, é sempre compatível. Na linha de um polímero, uma coisa que é aprovado já pelos órgãos reguladores para uso, então, isso para cosméticos. Agora, outras partículas a gente não sabe. O grafeno de carbono que é polêmico. O nanotubo de carbono, se inalar isso e for no seu cérebro, o que pode acontecer? Estruturas que são condutoras, como que é a toxicidade disso? Acho que isso é um pouco mais sério mesmo. Porque também a gente não tem isso em escala industrial. Você vai comprar nanotubo de carbono pronto. Você vai comprar um vidrinho, mas até onde eu conheça, não tem a produção disso em grande escala.

E, não se tem ainda muito essa informação porque não é um risco real ou porque não estão preocupados com isso?

Então, é o que eu te falei lá atrás. Devem ter grupos preocupados. Agora, eu acho que ainda não tem dados suficientes, estudos suficientes para evidenciar isso. Mas, acho que essa parte de nanotubo de carbono, esse tipo de material, deve ter riscos maiores. As argilas são extraídas da natureza, o que elas têm a mais ali é um agente químico de modificação, não é nada altamente tóxico, ou outras partículas inorgânicas que recebem modificações também, já é usada em outras coisas que não a nanotecnologia. Agora, nanotubos de carbono, grafite, as nanopartículas de prata, não sei também o quanto elas podem ser nocivas. Mas, eu sei que com os nanotubos de carbono tem um pessoal que se preocupa bastante com o que pode acontecer se for absorvido pelo corpo.

Bem, uma questão é da sustentabilidade. Ou seja, quando se pensa um projeto, esses projetos que você trabalhou, tem projetos que necessitam de materiais que são de difícil acesso? Ou, por exemplo, no caso que você citou dos artigos que você tentou reproduzir e não conseguiu, exigia algum componente que era de difícil acesso?

Não, os que eu usei já são produtos industriais.

Porque eu imagino que poderia acontecer de se produzir alguma estrutura, mas que tivesse, por exemplo, um custo muito elevado.

Ah, então, por exemplo, os nanotubos de carbono são caros.

Quer dizer: olha, com isso eu resolvo um monte de problemas aí que estão em aberto, só que o custo é altíssimo. Os nanotubos seriam um caso?

É. Os nanotubos seriam um caso. Por exemplo, esse projeto de retardamento de chama que a gente fez, aí é a visão do outro lado, da pessoa que contratou o projeto, da empresa, eles sempre falavam: “ah, mas quanto vai custar isso?” Mas, era um projeto curto, sei lá, de um ano, em que você vai estudar, testar algumas coisas, que é um primeiro momento. Se quisesse realmente avançar para ter um produto bem caracterizado e já pronto para venda, teria que investir um pouco mais, teria que estender o projeto. Mas, assim, a gente fez estimativas de custo, baseado no que a gente comprou e fez em escala de laboratório. Mas, acabava ficando um pouco mais caro do que era o convencional utilizado hoje. Então, eles falaram não. Então, não é competitivo. Tem um pouco disso.

Uma imposição do mercado aí?

É. Por exemplo, essa outra colega do grupo que trabalha também com nanocompósitos, comentei que ela é do projeto SisNANO, que ela foi do projeto SisNANO, ela trabalha com uma partícula que é também de origem de fonte natural, mas que a gente não consegue encontrar isso em escala. Não sei, devem ter jazidas para serem exploradas, mas como não foi ainda criada a demanda, o material foi pouco estudado. Então, ninguém está explorando esse tipo de jazida. Você vai comprar, você compra produto da [fornecedor], um frasquinho de meio quilo por um valor bem caro. E, aí se você fala para uma empresa, você não tem como, por mais que o resultado fosse bom, não tem como fazer um produto, porque você não tem a disponibilidade do insumo.

É, era nessa direção que eu estava comentando. Então, tem algumas limitações ainda nesse sentido?

Tem. Por exemplo, eu já avaliei um projeto FAPESP que, era aquelas *startups*, enfim, participei lá na FAPESP junto com um grupo que faz a avaliação naquele ciclo e aí a pessoa pediu para a produção de uma determinada partícula. Pedia coisas para uma estrutura, para produzir pequenininho, menos de meio litro, coisa pequenininha. E, depois, quando teve a segunda fase, eu recebi o projeto de novo e ele queria escalonar isso, sei lá, para meio litro ou um litro, ainda é uma escala de bancada, mas já é uma diferença grande do que ele tinha produzido na primeira fase. E, eu até deixei essas questões: quais são os limitantes para você mudar a escala? Mas, era uma coisa também que, se fosse querer comprar hoje para fazer uma produção mesmo, de produtos, não ia ter.

Parece que esse é um passo difícil na nanotecnologia nessa escala. Até, historicamente, os próprios nanotubos acho que aconteceu um pouco isso, não é? Eles

identificaram como estrutura. Mas, para determinar as propriedades e conseguir uma amostra razoável, demorou um tempo, não é? Parece que isso ainda é um desafio.

É um desafio.

E, no caso dos nanotubos, por que ainda é tão caro? Quais são os impedimentos?

Eu não sei te dizer com certeza, mas acredito que a rota de produção, o rendimento seja baixo. Eu imagino que seja alguma coisa por aí.

A impressão que dá é que já se sabe em que poderia ser útil, mas ainda não se consegue produzir para mostrar.

Não consegue produzir o suficiente para aplicar.

Gera até uma ansiedade em quem tem esse...

Quem trabalha com isso.

Eu tenho a solução para isso aí; deve gerar uma ansiedade.

No Brasil, a questão do investimento é menor do que no exterior; investimento em pesquisa.

Lá na Espanha eu vi, não sei se isso é verdade, que a Espanha produz grafeno de melhor qualidade do mundo. E, eles fizeram um acordo com institutos aqui no Brasil, que o Brasil é o maior produtor de grafite. Parece que eles fizeram um acordo sábio.

O [instituição] é quem está um pouco mais a frente nessa linha do grafeno.

Uma outra questão que sempre aparece quando se discute a tecnologia, claro, acesso a qualquer conhecimento, e a qualquer tecnologia, tem um preço, tem um custo, como os investimentos no Brasil podem não ser tão alto como em outros países, é possível fazer essa discussão também no campo da nanotecnologia ou ainda está muito recente? Quero dizer, o que se tem produzido ainda é algo que é do acesso de poucas pessoas? Ou já tem coisas, produtos da nanotecnologia, que já tem um acesso mais amplo?

Isso eu também não sei te dizer, porque o que eu vejo no mercado com nanotecnologia é cosmético. Eu não tenho acompanhado muito outras coisas que eu possa dizer: isso também é nanotecnologia.

E, esses cosméticos já estão disponíveis?

Protetor solar.

Portanto, não é tão caro a ponto de restringir o acesso?

É. Não, assim, você pega uma escala de protetor solar, você vai achar lá um que custa 30 reais, 40 reais, e esse outro custa 120, 140, 150.

Ah, tem um custo bem mais alto.

Aí, a população de menos recursos não vai acessar um produto desse. Até porque também não conhece. Vai comprar aquilo que é mais acessível. Eu não lembro agora de cabeça os produtos que tem no mercado, mas eu não sei se já tem tanta coisa hoje no mercado.

Bom, também tem uma questão a se considerar que, no caso dos cosméticos, apesar de ser uma coisa importante, não é essencial. Agora, poderia pensar, por exemplo, em alguma coisa bastante essencial, sei lá, a cura de uma doença, e aí só os países ricos teriam acesso.

É. É que, assim, eu acho que quando vai para esse tipo de medicação, fármacos, fármacos para câncer, na verdade, quem acessa isso é o governo, muitas vezes é o governo que acaba subsidiando isso.

Já na produção da pesquisa você quer dizer?

Não, eu digo do produto para o usuário. Não é como você ir lá no mercado e comprar; na farmácia e comprar um medicamento comum de uso no dia a dia. É um medicamento muito específico, um fármaco para o câncer, vai ter o governo comprando isso da indústria farmacêutica. Isso vai para um hospital e esse hospital que vai administrar no paciente. Ele que vai liberar para o paciente. Não é uma coisa que o paciente vai direto na farmácia comprar. É uma coisa restrita e específica, uma medicação específica.

É, a questão é nesse sentido: se alguma tecnologia poderia aumentar as desigualdades sociais?

Eu acho que não. Por exemplo, lá no começo dos nanocompósitos, o que o pessoal tentou fazer foram as garrafas de cerveja, com propriedade de barreira, só que em vez de ser de vidro, eram de plástico, mas isso parece que não evoluiu. Não sei se não atingiu o requisito necessário, tem que segurar aquele gás que está ali incorporado na bebida, ou se foi uma soma de fatores. Teve isso, teve o custo, e a aceitação do público também, porque quem compra a cerveja quer a cerveja na garrafa, que é o tradicional. Não vai querer comprar uma cerveja numa garrafa de plástico.

E, o que se alegava como vantagem dessa garrafa?

Ah, a leveza, o peso.

Ah, não tinha nada a ver com o sabor propriamente?

Uma embalagem mais leve, a logística, esse tipo de argumento. Não quebra tão fácil, a reciclagem é mais fácil, porque requer menos energia para fazer de um plástico do que um vidro, que requer temperatura muito mais alta, enfim.

Interessante. Eu não sabia disso. Mas chegou a ser amplamente discutido isso ou ficou mais no meio acadêmico?

Ficou no meio acadêmico. Acho que algumas empresas mundo afora participavam de tentar fazer isso, mas não evoluiu, que eu saiba isso não foi para o mercado. Mas, tem peças de carro que a gente nem sabe, mas tem uma peça, um para-choque, tem até uma figura que mostrava, acho que a foto de um [modelo de carro], se não me engano, de algumas peças que você nem percebe e tem. E, isso não é impactante, ninguém vai comprar esse carro porque ele tem. É um diferencial da peça que vai dar uma

resistência diferente, vai reduzir um pouco o peso por conta do que eu falei da densidade dos materiais, mas não é uma coisa evidente para o consumidor final.

Acho até que, eu nem vejo propaganda que fale isso dos carros, portanto, não é algo que seria para “vender o produto”.

Não. Para vender, não.

Acho que está mais no campo do custo da produção mesmo, não é?

É.

Bom, indiretamente pode ser que reduz o custo e, um carro mais barato, vende mais. Teve um colega seu que comentou que já se faz, por exemplo, filtros de água com estruturas nano e que filtra quase que na hora. Pega uma água poluída, passa por esse filtro, e já pode tomar a água. Isso seria uma tecnologia que seria o contrário, poderia diminuir diferenças econômico-sociais de várias regiões do mundo.

Tem uma pesquisa do grupo que trabalha com nanofibras, e as nanofibras podem ser utilizadas em processo de filtração de baterias que tem uma coisa que ela estuda. Aí, para esse tipo de produto, acho que realmente pode, poderia trazer um diferencial.

Teria um alcance econômico-social alto, não é?

Teve uma coisa que você comentou, quando você falou dos artigos que vocês liam e tentavam replicar e não conseguiam. Às vezes, a gente usa muito esse conceito de, de analogia, de caixa-preta, a gente compra uma máquina e tem alguns componentes ali na máquina, mas tem alguma parte da máquina que é uma caixinha fechada blindada, ali você não sabe o que tem; não pode mexer. Teria algum equivalente no campo da nanotecnologia? Alguma tecnologia que tem as caixas-pretas, ou seja, ninguém sabe muito bem o que tem ali, só quem fez? Ou não chega a ter isso?

Eu não sei te responder com certeza também, mas acho que não chega tanto nesse nível, não. Não sei, realmente não tenho certeza.

Bom, as questões que eu tinha para fazer eram essas. Você quer comentar mais alguma coisa, destacar alguma coisa, algo que pareça curioso no campo da nanotecnologia?

Uma outra coisa que eu ia te falar da questão da escala, que foi um outro aluno que eu recebi aqui. É um rapaz da [Universidade]. Esse já veio pelo programa de iniciação tecnológica e ele está trabalhando com geração de nanocristais extraídos da celulose. Pegou o bagaço de cana e fez o processo para extrair. Mas, assim, só conseguia fazer processos que leva muito tempo e tirava 0,2 gramas por processo. Para juntar um pouquinho de amostra de 5 gramas, ele tinha que fazer infinitas preparações para poder juntar aquilo que ele caracterizava; não era bonito como se falava na literatura. E, aí você pega um artigo e está lá, publica que é nano, em vez do cara falar: “tem a fração nano, mas tem a fração também que não fica nano”. Não fala essa informação. E, esse, por exemplo, é um caso típico que você pode fazer um corpo de prova que tem propriedades maravilhosas, mas para você escalonar isso não tem viabilidade.

E, tem uma coisa que você comentou também que me chamou a atenção e eu acabei esquecendo de voltar a ela. Lá no começo, quando nós estávamos falando dos padrões para verificar se os equipamentos estão adequados na medição, bom, a gente, se tem uma estrutura lá, uma cápsula, e que tem uma determinada substância lá dentro, a

questão é saber se aquilo que a gente acha que está lá dentro é o que está lá de fato. Eu pensava que isso já era uma tecnologia conhecida, que já era fácil saber isso.

Até é, porque os processos já são bem estabelecidos. É que, assim, a dúvida é mais minha. Às vezes, nossa, será que está lá dentro mesmo? É uma dúvida mais minha.

Que imagino, por exemplo, se algum pesquisador se compromete a fazer uma cápsula com tal substância lá dentro e vai entregar isso para quem pediu o serviço. A questão é: será que eu estou entregando o que eles estão me pagando para entregar?

Tem um nível de segurança, porque tem uma caracterização, tem evidência. Às vezes, a gente prepara no laboratório, a gente realmente pensa: nossa, será que está lá dentro mesmo?

E, poderia ter o que foi pedido, mas ter alguma outra coisa que possa resultar num defeito que não se imagina?

Aí vai dos componentes que foi nessa formulação.

Pesquisador 9 (P9)

A primeira questão que eu faço é mais geral, em relação ao projeto, porque eu vi no site que me trouxe até aqui, tem lá que você trabalha com projeto de nanocompósitos.

Nanocompósitos à base de grafeno.

Você quer comentar um pouco esse projeto? As características dele?

Então, a ideia do projeto, primeiro, assim, grafeno é um novo nano-material que tem propriedades de alta área superficial, então ele é usado, ele aumenta a condutividade térmica, elétrica de materiais. Então, se eu coloco um metal, o óxido de grafeno junto, ou grafeno, ele aumenta a condutividade elétrica do metal. Ele também pode ser usado como carreador de fármaco, ele aumenta a resistência de biomateriais. A ideia é fazer tudo via radiação, porque a radiação é boa, não é ruim não, porque na hora de colocar metal, não preciso usar um redutor químico. Eu só coloco a radiação, coloco ele em água, coloco meu óxido de grafeno, o meu sal do metal que eu quero formar nanopartícula metálica, e deixo 5 minutos. E, aí está lá, eu filtro, está lá, não gera resíduo nenhum. A ideia é fazer, além de mostrar para a vida acadêmica, para os pesquisadores, usar radiação para fazer. Então, é isso que eu faço, meu trabalho é esse. Esses nanocompósitos é quando consigo funcionalizar, quando coloco outros polímeros ou ligo outros compostos no grafeno. Então, é isso que eu trabalho.

E, esse projeto em particular ele tem uma duração? Ele é financiado?

Assim, eu tenho o dinheiro do [Instituto] que eu ganhei. Com essa válvula do coração eu ganhei 100 mil. É orçamentário, então vem quando o [Instituto] tem dinheiro, teoricamente seria um ano. E, já vai para o segundo ano, ano que vem vai entrar no segundo ano, então tenho mais uma parte desse dinheiro para gastar. Então, é mais pelo [Instituto]. Agora eu vou pedir um projeto da FAPESP. Mas, eu vou pedir para ter o projeto do [Instituto], ter o projeto da FAPESP. E, eu também agora tenho um outro projeto do [Instituto], são vários centros que se juntaram para desenvolver. É chamado

microfluídicas, o *leb-on-a-chip*, que em vez de matar um rato para fazer experimento, eles crescem a célula, por exemplo, da pele e a gente coloca um fármaco e eu vou trabalhar com sensores desse fármaco. Aí tem um projeto da Agência Internacional de Energia Atômica, que aí é por usar a radiação para fazer nanopartículas para usar em célula de combustível de hidrogênio para fazer supercapacitores.

E, são projetos que se classificam dentro da nanotecnologia?

Todos no campo da nanotecnologia. Então, não é que eu escolhi. Quando eu vim para cá o [Instituto] estava interessado na área de nano e como tinha uma pesquisadora que mexia com grafeno, eu comecei a mexer com grafeno. Eu nem pensava em fazer nano, desenvolver essa área, mas como eu vim para cá, para o [Centro], vamos trabalhar com a nanotecnologia que o [Instituto] está investindo na nanotecnologia e a gente tem vários equipamentos aqui no [Instituto] para isso. E, quando a gente não tem, a gente vai para [Laboratório], que tem o LNNano.

Aquele comentário que você tinha feito no início é interessante, que você disse que a tua formação não é em nanotecnologia, mas o tema foi te carregando. Nem no doutorado você chegou a fazer?

Não. Eu fiz eletroquímica orgânica. Mas, eu tento usar a eletroquímica, como agora estou trabalhando com células de hidrogênio, combustível de hidrogênio, ou supercapacitores, tem que mexer com rotametria, aí eu tenho esse *background*. Então, eu consigo entender como auxiliar os alunos, então sempre tento, porque, assim, a formação é química, então sempre é bom, na verdade, mas essa área de nano é multidisciplinar. Sempre tem que ter colaboração.

Isso que eu ia perguntar, se funciona de fato essa colaboração interdisciplinar? Se há várias áreas de formação que trabalham com isso?

Todas as minhas colaborações são com o pessoal que entrou comigo, que estão mais interessados em fazer pesquisa. Então, aí tem o pessoal, porque, assim, se for estudar tudo, não dá. Tem um pessoal que mexe com DRX, raio X, que é o [nome], então os alunos fazem a síntese aqui, vão lá tirar o raio X e ele explica para os alunos. É claro que eu entendo, mas eu também não entro em detalhes, aí tem o pessoal da química que mexe com RAMAN, aí tem o pessoal da microscopia, mas aí eu me envolvo mais com a parte de microscopia, e agora tem o pessoal do [Instituto] que mexe com citotoxicidade. E, aí eles fazem experimentos de citotoxicidade, no [Instituto] de microbiológico. E, a gente está interagindo superbem. Então, eu falo que é minha *network*, só que, assim, eu faço só com eles e se alguém quer, eu falo: “não, eu faço com eles, é o meu grupo, nem quero começar com um e terminar com outro”.

De colaboração efetivamente?

É. Colaboração efetivamente. Então, todos os trabalhos têm os nomes deles. Todos os projetos que eu faço eles estão no meio. Então, esse da agência eu sempre coloquei, um de raio X ele está lá, se tiver que viajar, uma viagem é dele. Então, os equipamentos que ele precisa a gente sempre colabora, então é colaboração mesmo. Essa parte é legal.

Outro tema que a gente tinha comentado já um pouco antes, é a questão dessa diferenciação, da nomenclatura de nanociência e nanotecnologia. Não é muito clara a diferença, na verdade?

Não. Eu acho assim, a pergunta é se eu diferencio?

É; se para vocês que trabalham com a pesquisa, se é bem claro isso? Ou, se não importa?

Não. Então, porque, assim, eu sei que o que eu faço é nanociência, mas nanotecnologia é o que chama mais atenção. Não sei se porque a aplicação dele, então a aplicação de uma coisa que eu trabalho com nano. Aqui no [Instituto] eles querem mais que eu faça aplicação, inovação tecnológica, porque é mais patente, apesar que eu sei que não vou receber nada com essa patente.

Porque é público?

É. Mas, então, como o [Instituto] paga, como é que funciona? O [Instituto] que vai pagar, manter a patente. Então, o [Instituto] me paga. Então, a patente é para o [Instituto], fica um terço para a diretoria, um terço para o centro, e um terço para o grupo, para o meu grupo, que aí todo mundo tem que assinar dizendo que abre mão da patente, menos os funcionários do [Instituto]. Então, os meus alunos têm que assinar, se não os nomes deles não vão. Só que esse um terço, vai demorar dez anos para sair essa patente. E, aí o [Instituto] vai mantendo, são 3 anos de graça, aí daqui a 3 anos eles vão me chamar. E aí, tem alguém interessado nela ou não? Se eles estiverem interessados eles mantêm. Se não ver uma aplicação, eles não vão querer manter, porque é caro manter uma patente. Aí vem uma empresa que oferece 0,5% dos *royalties* para o [Instituto], o [Instituto] acha pouco, aí eles não querem. Aí, perde a patente; aí fica com aquela patente que ninguém quer. E, quando se coloca o parceiro, o problema de parceria é esse, eu tenho uma empresa interessada que quer desenvolver comigo, aí 10% tem que ir para o [Núcleo], 10% tem que ir para uma fundação e aí quando tem a patente é público. Entendeu? Ele não pode vender para a empresa, tem que lançar público. E, aí a empresa não quer, ela quer que a prioridade seja para ela. Mas, é público. Então, por isso acho que vão ser minhas últimas patentes. Eu vou começar a escrever os artigos que, no final, é que realmente eu quero apresentar. Então, tem que sair o artigo.

É, esse é outro problema do trabalho com a tecnologia. O cientista, ele publica o resultado o mais rápido possível, quem trabalha com tecnologia não, porque tem toda essa questão de segredos ou, inclusive, impedimentos burocráticos.

É. Então, mas, assim, você falou tecnologia, eu preciso trazer de volta. Mas, eu vejo assim, nano, uma tecnologia para poder chamar, mas o que eu faço é nanociência. Quando eu estudo a dose para ver o tamanho da partícula que eu formo, eu vejo que isso é uma nanociência. Eu estou querendo ver o efeito, isso não é para formar produto, é só para ver o efeito da radiação no tamanho da partícula, o efeito da radiação em cima da superfície do óxido de grafeno. Então, “escondido” eu faço isso e, depois, eu tenho meu produto, tem o produto que é o sensor. Ah, eles querem um sensor. Mas aí, no meio disso tudo, para os alunos e para mim mesma, eu faço isso. Mas, quando a pesquisa é boa, então sempre vai ter uma aplicação.

Ah, sim, claro.

Eu vejo isso.

Interessante isso. A tua percepção é que você faz ciência e está muito bem com isso, mas tem uma parte aí de imposição?

Imposição do Instituto para você ter uma coisa, porque aí, depois, tem a feira de inovação tecnológica. Aí me chamam, e aí o que você tem de novo? Então, saiu um sensor, entendeu? Então, sempre sai algum produto para: “ah, então tem um carreador”. Então, a empresa mesmo que quer aplicar, que quer vender, é produto. Então, eu uso o óxido de grafeno, nanopartículas para formar um produto. E, aí tem a parte de radiofármacos que o [Instituto] é forte. Então, precisa de carreador de radiofármaco. Ah, está bom, eu vou mudando a dose para ver o tamanho da partícula, mas é porque eu tenho a curiosidade e os alunos também, para ver o efeito. Aí, no final a gente sai com o produto.

Por ser projeto na área de nanotecnologia tem alguma especificidade ou não? Quero dizer, assim, as agências de fomento quando recebem projetos de pesquisa em ciência ou em tecnologia, têm alguns critérios, algumas formas de avaliação. Quanto é projeto de nanotecnologia, teria algum critério específico ou não?

Então, assim, eu como avaliadora, porque eu avaliei vários projetos....

Pode ser como avaliadora ou como quem faz projetos também.

Então, o que eu vejo, assim, como o óxido de grafeno, agora nem tanto, mas quando eu comecei, era a novidade, então eu vejo a novidade. No meu caso aqui, quando eu faço projeto, eu penso na sustentabilidade do projeto que eu estou fazendo. Então, eu vejo se ele é sustentável, ele não gera resíduos. A minha propaganda desse meu projeto: o que é radiação? Então, o que me difere dos outros é que eu uso a radiação e a radiação ela é *eco-friendly*. Ela não gera resíduos, não usa reagentes químicos nenhum. Então, eu vou por essa linha.

Seria um ponto forte do teu projeto?

Um ponto forte. Porque quem mexe com nano, a [Universidade] mexe com nano, a [Universidade] é muito forte, tem o LNNano, não é da [Universidade], é o LNNano do CNPEN e eles têm vários pesquisadores. E, o CNPEN é metade privado e metade do estado, do governo, porque tem a SisNANO. Você sabe como é que funciona?

Mais ou menos. Agora mesmo inauguraram o Sirius, está tudo dentro daquele complexo, não é?

Então, por que é rápido? Porque tem a SisNANO, a SIBRATEC, que você pede o dinheiro, a empresa pede dinheiro para o governo e a metade do tempo é de graça. Por isso que a gente vai, usa e não paga nada. Eles têm que dar cursos e têm que deixar os equipamentos para pesquisadores usarem. Mas, a prioridade é para a empresa. Então, a [empresa] paga muito dinheiro para usar, várias empresas particulares. Então, a empresa, a CLPEN a LNNano, eles falam: é particular que usa dinheiro público para comprar os equipamentos.

É, eu nunca soube muito bem esse status como é.

Então, como eu vou lá muito, a gente agenda em janeiro para poder usar em outubro, e aí a gente encontrou uma brecha. Eles explicaram, porque o [Instituto] também faz parte dessa SIBRATEC. Então, o pessoal pede o equipamento e a metade do equipamento é para uso de vários pesquisadores, de qualquer lugar pode usar. Então, várias empresas, vários institutos fazem parte da SIBRATEC.

O [Instituto] é uma instituição pública?

E, os equipamentos que a gente recebe é multiusuário para instituto de pesquisa. A gente não cobra, não tem nem central analítica como na [Universidade]. A gente vai, a gente fala: “quer usar?” A gente tem uns equipamentos que a gente não precisa repor, mas quando tem, sei lá, umas membranas, aí ele traz e a gente faz análise, se não a gente fica sem dinheiro, mas a gente não cobra análise nem nada. O uso do irradiador também, para pesquisa não é cobrado.

Bom, já meio que respondeu, então, os itens de avaliação de um projeto nessa área são os itens gerais? Não tem especificidade por ser nano?

Não, não.

Tem um reforço teu para deixar o projeto mais robusto.

Mais robusto que, assim, não por ser nano, nunca vi por ser nano, eu vejo, quando eu avalio, eu vejo a aplicação dele. Se é viável o projeto que ele está fazendo, mas eu nunca analisei pela área de nano e, quando eu mando, eu não vou pela área de nano, eu vou pela área de radiação, de usar a radiação, de ser uma coisa sustentável, mas eu não aplico pela área de nanotecnologia. Tanto que eu não peço pela área de materiais, eu peço pela área de engenharia nuclear.

Foi até interessante porque você adiantou algumas questões. Eu vou entrar em algumas características, por exemplo, uma delas, que se fala muito hoje em dia, das tais tecnologias abertas, ou, por exemplo, nos casos dos softwares, software livre, coisa desse tipo. Tem uma diferença entre esses softwares livres, que a pessoa pode baixar e usar e o que seria a tecnologia aberta, que é um pouco mais que ser de graça; é as pessoas terem acesso à tecnologia para modificar ela. Teria essa possibilidade aqui, nessa produção das tecnologias feitas aqui, serem tecnologias abertas ou não faz sentido?

Na verdade, eu nunca mexi com *softwares*.

Não, eu digo transpondo para as aplicações da nanotecnologia? Porque aqui, por ser um instituto público, imagino que tem uma publicidade do resultado da pesquisa, não é?

Então, pelo que eu vejo aqui, que alguns grupos, não nesse de nano, eles desenvolvem e é livre.

O conhecimento produzido está livre?

Está livre.

Acho que é uma característica por ser público, não é?

É. Ainda mais aqui, pelo [Instituto] a gente deixa tudo público, o pessoal não paga.

Isso não seria um item para projetos, por exemplo? Não faria diferença? Para a FAPESP, dizendo: olha, a gente está produzindo uma tecnologia tal e ela vai ser aberta.

Acho que a FAPESP nem gosta, a FAPESP gosta que patenteie. Todo projeto que você escreve sai assim: vai sair patente? Quando você avalia [projetos], eles perguntam: tem patente?

E, é um item forte na avaliação?

É. É um item forte na avaliação, ainda mais nessas que saem com empresas, que a FAPESP tem um negócio de empresa, mas quando você avalia, e quando eu escrevo eu falo: “tem patente”. Então, os avaliadores da FAPESP, quando eles avaliam meu currículo eles falam: “ah, ela tem um bom currículo porque ela tem patente”.

E, essas patentes produzidas, no caso aqui do [Instituto]?

É só do [Instituto].

Aí não é aberto o acesso?

Não. Essas de produto que eu tenho é do [Instituto], mas acho que de software eu não sei, na verdade, como é. E, aí quando eu vou fazer um, esse que eu vou mandar para a FAPESP, agora vou mandar um de sensores. Aí, se eu conseguir a patente, a metade é da FAPESP. Então, vai ser FAPESP, [Instituto], e dessa metade um terço vai para a gente, se vender.

E, esse que você diz vai “para a gente”, é para a pessoa ou é para o Instituto?

Não, é para a pessoa. Mas, aí no meu caso, se sair, eu vou dividir com todo mundo. Apesar deles estarem assinando, eu já falei, se a gente conseguir daqui a uns 10 anos, eu divido com vocês, mas acho tão difícil...

E, não são valores elevados, imagino? Porque divide tanto.

Não sei, porque, assim, essa empresa, do que eu falei lá do Centro de *laser*, eles queriam 0,5%, eles queriam oferecer, mas acontece que a empresa tem que investir muito.

Para virar um produto comercializado?

Tem que montar um laboratório, tem que desenvolver muito até chegar.

Não é só pegar e vender, não é?

É. Por isso que eu acho que a empresa, quando o [Instituto] vem com 1%, a empresa não quis, porque é muito investimento. A gente faz em uma escala pequena e fala: “olha, agora você desenvolve, a minha parte está aqui”. Então, é muito.

É outra escala.

É outra escala. Mas, então, continuando; a FAPESP tem um interesse no projeto que tenha patente.

Então, é um item que pesa?

Que pesa, tanto que uma vez que eu avaliei um projeto que não dava patente, eu até falei com o coordenador, que era dessas empresas que o dinheiro da FAPESP era para

pagar os pesquisadores da empresa, aí eu perguntei para o coordenador: “mas, tudo bem?” Ele: “vai ter patente?” Eu falei: “não”. “Ah, então não é prioridade”.

Bom, uma outra questão, é em relação à aplicação, a impressão que a gente tem, e aí muito do que eu vou perguntar aqui é pergunta de leigo mesmo, é que a nanotecnologia é uma coisa muito específica e, por consequência, as aplicações, ou mesmo a nanotecnologia, tem uma aplicação muito restrita. Isso é verdade? É assim mesmo? Ou mesmo que se faça um estudo para uma coisa tem ali uma gama de aplicações mais ampla?

Eu, assim...

Não sei se fui claro na pergunta?

Foi sim. É que eu mesma não sei te explicar. Porque, assim, então usa-se a nanotecnologia, porque tem que nem a nanopartícula de prata. Todo mundo fala da nanopartícula de prata, que você coloca para manter alimentos. Então, tem um professor da [Universidade] que fez um plástico que coloca nas frutas e a prata acaba evitando que o composto, que a maçã, apodreça. Então, teoricamente, tem uma aplicação ampla, mas aí começa o estudo da toxicidade da prata. Agora está tendo esse estudo. Então, você pode jogar aquele plástico no chão? Então, agora o pessoal está meio que dando a freada. E, aí tem agora o pessoal estudando a toxicidade desse material que você vai jogando no rio, vai jogando no meio ambiente e aí? É como os plásticos. Todo mundo achava plástico bom. Agora, a gente viu que o plástico está acabando com o oceano. Um monte de plástico.

Um bom exemplo do plástico. Foi uma solução; é uma solução eficiente, mas para o uso, mas tem todo um problema ambiental.

É, ambiental, 400 anos, canudos, sacolinhas. A tecnologia está aí, todo mundo fazendo, mas aí quando a escala é boa, é muito caro.

Então, tem um potencial de aplicação, mas não necessariamente é um potencial econômico; que pode não ser viável?

É, do grafeno não é viável, ou do óxido de grafeno, não é viável. A gente já fez um estudo das várias empresas que vêm me procurar, de aumentar a resistência de polímeros, resistência mecânica, faz a conta e é muito caro. Então, quem sabe quando abaixar o preço se aplique, mas pelo menos eu estou mostrando: “olha, serve”.

E, não é um pouco paradoxal, enquanto ninguém faz é caro; é caro porque ninguém faz? Não tem um pouco disso?

Então, é.

Do ponto de vista comercial é difícil. Qual empresa vai investir?

É, porque o óxido de grafeno é muito; assim, o grafeno diminuiu muito o preço. Na época que eu comecei era muito caro. Agora, 25 gramas, da [fornecedor], que é o mais puro, está 700 reais. Mas, é 25 gramas, antigamente era 100 miligramas 700 reais. É que está baixando o preço. Então, o meu óxido de grafeno ainda é muito caro. 100 miligramas está 800 reais.

É, para fazer em escala comercial.

É, a não ser que uma empresa, a [empresa], que é do Brasil, ela está tentando desenvolver. Ela fala que desenvolve e tal, já peguei umas amostras, fiz algumas análises para eles. Eles entregaram algumas amostras para a gente em troca das análises. Eles melhoraram muito. Mas, mesmo assim, está caro, a não ser que faça em grande quantidade. A não ser que o mercado aumente e eles façam mais. É que também é paradoxal, enquanto estiver caro, a empresa não tem interesse; mas a empresa não tem interesse e a outra empresa não vai fazer. Mas, quem sabe a gente guarde aí, abaixe, e a gente já tem tudo pronto. Eu vejo por aí. Então, sei lá, investir nos sensores que eu estou fazendo, então, não vai ser em escala. Vai ser em algumas para, que a gente está tentando, sensores para a zika. Aí, eu tenho que colocar um anticorpo. Tá, então não vai ser uma escala industrial, mas vai ser assim em alguns lugares que a resposta imediata. Então, eu preciso de 100. Então 100 eu faço. De 100 a 200 eu consigo fazer. Então, eu nem penso muito nisso, se não minha pesquisa não vai, desisto.

É, porque tem uma diferença entre a pesquisa e a produção comercial. São outras escalas.

Esta talvez seja a pergunta mais, aparentemente, mais leiga, mas é que a gente até estava comentando um pouco na visita lá. Que é o medo que as pessoas têm da tecnologia e tudo mais. Nesse caso em particular, porque, por exemplo, muita coisa que saía sobre nanotecnologia, das pessoas que tinham receio, eles imaginavam, por exemplo, que iriam ser criadas espécies de “robosinhos”, que vai lá e destrói a célula cancerígena e tal, mas e depois que ele destruiu, para onde que esse robosinho vai? E, aí a pergunta é: a gente tem controle, a gente sabe controlar essa tecnologia? Quer dizer, fazer com que ela faça o que nós queremos que ela faça?

Então, essa parte do “robosinho”; agora o que tem na parte de carreador de fármacos. Então, aí pega uma nanopartícula de ouro, coloca o anticorpo que carrega o fármaco que vai direto no tumor. Então, isso está sendo desenvolvido, a aplicação acho que em escalas, assim, só o estudo, mas sua pergunta é para onde que vai?

É. Isso. Porque, por exemplo, supondo que eu quero que ele carregue esse fármaco até uma determinada célula. Ok, ele vai lá e faz, tudo bem. Mas, e depois? Não há risco de ele fazer outra coisa que a gente não sabia que ele ia fazer?

Então, eu acho que sim. A ideia é que pode acontecer. O que eu faço? Eu funcionalizo ele com meu óxido de grafeno para torná-lo biocompatível. Então, eu vou ver a toxicidade dele. Aí, a gente vai para o sangue, então a gente está estudando o sangue. Eu sei que no final ele vai para o fígado, vai ser eliminado, vai ser metabolizado, para onde todo mundo vai. O fármaco, vai tudo ser metabolizado e não sei se o fígado aguenta. Mas, a ideia é funcionalizar e a gente vai seguindo a toxicidade dele: ah, a gente já viu no sangue, não é tóxico. Até a gente fez um estudo no [Instituto] com ratinhos, com ratos, e aí a gente vai parar por aí. Quando eu fui mexer com óxido de grafeno, a gente sempre tem que informar a médica do trabalho. A médica queria que eu tirasse raio X. Eu falei: “vai levar mais dose do raio X do que mexendo com o óxido de grafeno”. Eu falei: “o óxido de grafeno você não vai ver em mim, que são nanopartículas e eu mexo muito pouco”. Os alunos têm a parte de proteção, com luva, máscara. Isso a gente trabalha, mas a quantidade é tão pouca que a gente mexe. Mas, em uma escala maior, em uma empresa, aí eu não sei te dizer.

Então, tem formas de buscar esse conhecimento, de ver o caminho que ele vai seguir?

Tem, a gente está fazendo essa parte até onde a gente consegue. Por isso que a parte de *lab-on-a-chip*. Em vez de colocar no coelho, é tentar colocar realmente em células do coração, faz crescer células do fígado, coloca óxido de grafeno em cima para ver o que acontece com essas células, antes de ir para o rato. Mas, tem um protocolo que eles têm que seguir que são os animais. Quem sabe no futuro não precise. A ideia é essa.

Usando um pouco de metáfora aqui, um pouco é tentar encontrar um botão de desligue, de pare? Olha, você já fez o que eu queria, agora pare.

Mas, quando você tem um anticorpo, acho que ele vai direto, falando do fármaco, vai direto, porque ele é alvo, daí ele não encaixa e vai embora, vai ser metabolizado.

Não há risco de ele fazer outra coisa que a gente não imaginava?

Não sei. Espero que não. Porque o óxido de grafeno é 2004.

É recente, não é?

2010 que ganha o Prêmio Nobel.

É, porque ele faz o que tem que fazer, vai para o fígado, e lá ele encontra um outro composto qualquer e resulta numa coisa que a gente nem imaginava.

É, como os meus alunos fazem a síntese do óxido de grafeno, funcionaliza, a gente tem um monte de pessoas pesquisadores procurando a gente para eles tentarem ver a parte de toxicidade. Então, eles pedem. Minha aluna, que precisa defender, ela está que nem *Octopus*, a gente está parecendo um polvo. A gente vai entregando aqui, ali, ali, e todo mundo acaba pedindo para testar. Aí, quando vem gente nova, eles querem óxido de grafeno. Então, a gente acaba entregando um pouco para eles testarem. Então, muitos grupos procuram. A [Universidade] pede, mas a [Universidade] quer usar como catalisador para degradar poluente. Aí, tem meu aluno fazendo isso, mas ele está vendo a toxicidade também. Se o cara vai lá e larga numa área o que vai acontecer?

É, exatamente. E, ele vai lá, degrada o poluente, mas se ele faz outra coisa?

Isso que o [nome do aluno] que você conheceu está fazendo. Ele está usando para degradar, mas ele está vendo o que vai acontecer com os peixinhos. Aí, é no LNNano, fica uma semana lá, tem uns anfíbios, uns embriões padrões que eles analisam. Então, eles fazem isso no LNNano. Mas, o LNNano fala: “ah, você mexe com isso? Ah, eu quero”. Então, a gente faz essas colaborações, o aluno aprende. Mas, a minha ideia sempre foi ver essa parte se é perigoso ou não. “Ah, degrada, mas ele mata. Ah, então não”.

É, porque não tem como programar uma vida para isso? Vamos dar o tempo de ele chegar até tal lugar, fazer o que tem que fazer e....

Não dá, o ideal seria isso. Mas, aí não tem. E, tem um professor, banca do meu aluno ontem, ele mexe, olha só o estudo, de remoção de óxido de grafeno no efluente.

Nossa!

Eu falei: “mas, já?” Ele falou: “não, porque a China produz muito”. Bom, a gente sabe que a China não é bem conhecida por tratar poluentes. E, eles fazem; a maior produção

de grafeno vem da China e aí o pessoal de Huston já está vendo como remover o óxido de grafeno dos efluentes.

Que coisa!

É legal, ele está vendo muito mais à frente. No final, vai ter uma produção muito grande, porque algumas empresas já estão usando. Acho que a [empresa], é coreana, mas ela está tentando usar, acho que tem uma parte comercial nisso. E, aí, então, a raquete de tênis tem grafeno agora. Então, tem a produção, é cara para caramba, mas tem a produção. Eu vi uma jaqueta que saiu de oxido de grafeno, acho que era 800 dólares, aí a minha prima falou: “que caro!”

Mas, é de grafeno mesmo?

É mistura, não é só de grafeno. Então, pega um polímero *nylon* e coloca um pouquinho de grafeno para melhorar a resistência, mas é 800 dólares. Eu não ia comprar nunca.

É quase um uso, como dizer, uma coisa tão importante para uma coisa comum; já existem jaquetas muito boas, não precisaria colocar grafeno.

É verdade. Já dura muito, é nylon.

Bom, nessa direção, até você comentou a questão do resíduo e tal, a preocupação de estudar possíveis resíduos, deu o exemplo da embalagem, que poderia até ser eficiente como embalagem, mas vai ser jogada no ambiente, é um resíduo. Teria como pensar numa reversibilidade? Ou seja, algumas coisas que se pode fazer com a nanotecnologia há uma preocupação de caminhar até onde seja reversível o processo? Eu queria dizer assim: olha, se a gente vai agir no meio ambiente, por exemplo, ok, a gente pode agir, mas teria como colocar um limite? Olha, a gente vai até aqui, porque até aqui é reversível. Daqui em diante, se a gente fizer alguma coisa, não volta mais.

Nunca pensei nisso. Nunca. Aquilo que eu falei: eu penso nos meus compostos. Quando eu produzo, eu vejo a parte de toxicidade ou a parte de ecotoxicidade que o aluno [de pós-graduação] faz. Aí, vou ter o produto, ele degrada fármacos, mas ele também mata os peixinhos? Vai ser a tese do menino. Entendeu? Eu vejo isso como pesquisa.

Mas, nesse caso, está no campo teórico ainda, quero dizer, não foi para o ambiente?

Mas, ele vai fazer. Não, o meu campo é teórico. Ele vai fazer a pesquisa, não vai jogar no mar. Ele vai ver o potencial de degradação e fazer a ecotoxicidade. De tudo o que a gente faz a gente vê a parte de toxicidade. Só que nada a gente lançou no mercado ou no mar, no ambiente.

Então, ainda não se aplicaria essa questão da reversibilidade? Ou seja, não está causando transformações tão sensíveis?

Não, pelo menos os meus. Mas, eu nunca pensei assim: “ah, se a empresa estiver interessada ele vai ter esse estudo, então a gente fala está aqui”. Tanto que quando a gente patenteou, a gente mostrou o quanto que é tóxico e o que a gente fez de toxicidade, a gente apresentou para eles. Está tudo escrito.

Eles têm uma clareza dos benefícios. Mas, dos riscos?

Tem. Até quanto que ele pode aplicar ou até quanto de óxido de grafeno ele pode colocar funcionalizado antes de ser tóxico. Isso a gente já fez essa toxicidade, esse estudo.

Certo, uma margem de segurança?

Uma margem de segurança.

Bom, essa questão não sei se se aplica diretamente, mas enfim, pode gerar uma discussão, porque tem muitas tecnologias, aí pensando tecnologia de modo geral, que o artefato produzido é colocado também ali uma obsolescência. Ou seja, se produz um equipamento que vai durar x anos, até para alimentar o mercado, ou seja, não é uma limitação tecnológica, foi implantada essa obsolescência para manter o mercado. Teria isso no caso da nanotecnologia? É uma preocupação isso ou ainda não se chegou nesse ponto?

Não, não chegou. Eu sei que tem que ter uma validade e tudo, quer dizer, mas pelo que eu saiba, nunca foi discutido isso em congresso ou em lugar nenhum. É mais a aplicação, se tem uma validade, se tem um prazo, não foi falado, não vi.

Muito menos a questão dessa obsolescência programada?

Não, porque tudo é novo. Nós estamos fascinados ainda com as aplicações. Ah, então a gente pode usar na válvula, dá para usar no carreador, a gente pode usar para bateria, então a gente está pensando nas coisas que ainda está trazendo de novidade. Agora, a gente descobriu o sensor, cadê o sensor? Dá para colocar o anticorpo? Dá, então a gente está ainda vendo as novidades que essa nanotecnologia traz.

Ainda não virou uma produção em escala, não é?

Não, que eu saiba não. Como eu falei, agora tem a raquete, mas a raquete é uma coisa, assim, 0,1 % do que eles colocam num plástico, que aumenta o preço para caramba; deve ter uma porcentagem, mas só de grafeno não é. Não teria sentido, que é muito caro e não é tão maleável assim. Eles misturam no plástico e vendem como grafeno.

Mas, no caso da raquete, vamos pegar esse exemplo, vamos supor que se fizesse o uso do grafeno, uma raquete que dura um ano, duraria dez anos, eventualmente seria uma tecnologia não viável do ponto de vista comercial. Não, não vamos fazer essa raquete.

Porque ela vai durar muito tempo e as vendas caem. Mas, aí tem a propaganda do grafeno. Todo mundo fala do grafeno. Aí, fala: então, você coloca quanto? Eu já fiz um experimento, coloca 3% de grafeno no polímero, ele dobra, estica, mas o preço? E, o preço, fala: nossa, está muito caro.

Você consegue ampliar as propriedades mecânicas?

Mecânicas, térmicas também, mas é muito caro. Então, eles colocam lá 0,3 ou 0,01, grafeno!

É mais um marketing comercial do que uma eficiência?

Eu acho que é mais *marketing*, porque o preço é caro. Uma raquete que tem grafeno, meu colega pagou 700 reais. Imagina! 700 reais para uma raquete, eu achei um absurdo.

Eu não tenho ideia quanto custa uma normal!!

Mas, 700 é caro!

Sem dúvida. Eu não pagaria.

Eu não pagaria. Uns 200, 300 no máximo, mas eu não pagaria 700 numa raquete de jeito nenhum. Ele fala: “ah, mas tem grafeno”.

É. Se fosse uma coisa que ele jogasse com a raquete normal e sempre perdesse e começasse a usar a do grafeno e começasse a ganhar, vale a pena.

Ele fala: “é mais leve”. Acho que não, alumínio é mais leve. Mas, acho que é mais propaganda. É mais *marketing*. Eu sei que a quantidade que você coloca, você não pode colocar muito não, senão fica muito caro. Por mais que você faça produção, é muito caro. Ele diminuiu, mas continua caro.

Interessante. Bom, algumas tecnologias elas exigem que as pessoas leigas, os usuários dessas tecnologias, conheçam um pouco dela, no caso da nanotecnologia, imagino que isso seria muito difícil, porque é uma área que exige um conhecimento muito especializado?

A gente que trabalha na área a gente não conhece tudo. Como eu explico para um leigo? Como eu explicaria? A gente fala de partículas pequenas com propriedades. Eu falo o exemplo do ouro. O ouro que tem 2 nanômetros é vermelho e quando ele tem 15 ele é amarelo. Então, a gente explica assim, mas é muito difícil de explicar para um leigo o que é uma nanotecnologia. Então, ele deve ver pela televisão, mas não deve entender a explicação de como ele é.

É como eu comentei. Tem essas pessoas que são resistentes às tecnologias.

É falta de conhecimento, de divulgação; de divulgação do que é nanotecnologia. A gente não tem uma disciplina, um curso da pós-graduação nisso. Tanto que eu mexo com grafeno e o pessoal fala: “você vê grafeno, não é nano”? Eu digo: “eu vejo porque tem muito”. Então, você vê o pozinho, como ele é nano? Então, se você dispersar, o grafeno é nano quando tem 0,8 nanômetros a espessura. Ele é amplo, mas na espessura é 0,8. Ele é nano. Agora, nanopartículas já é diferente. É o tamanho da partícula. A de ouro que é de 5 a 20, eu faço, com feixe de elétrons a gente consegue 4 nanômetros. A nanopartícula de paládio, a gente consegue controlar o tamanho. Aí é difícil, você está vendo quanto ouro, mas aí é porque tem muito, se dispersar em água você não vai ver mais nada. Então, até entre nós.

E, essa coisa do receio da tecnologia ela já se manifestou em outras ocasiões nas pessoas. Tem filmes que exploram isso, por exemplo, as supermáquinas dominar o mundo.

A biotecnologia, tá clonando. Aí o pessoal fica; então, tem o milho, o trigo, é clonado. Transgênico. Transgênico, que o pessoal está falando. Então, aí agora é a vez do nano e aí vão aparecendo. É que é novidade. Mas, fazer robô com certeza a gente não vai conseguir fazer um robô, não está nessa.

Um dos primeiros, um pesquisador, mais um teórico, que foi um engenheiro que fez doutorado no MIT, ele foi quem saiu com essa ideia de que a nanociência poderia produzir nanomáquinas, fazer todo o serviço. Acho que ele meio que assustou as pessoas.

Então, acho que a parte de nano é mais pela toxicidade que a gente não sabe o que vai acontecer. Que eu falei, tem tanta prata, a gente não sabe o que essa prata pode causar. Está se fazendo um estudo com embriões e peixes para onde que vai essa prata toda. Mas, é uma coisa, assim, que agora que eles estão estudando. Então, a ideia é do que ela faz para o meio ambiente.

Pensando em quantidade, daqui há alguns anos começa a usar isso.

Por isso que está sendo, tanto que nesse congresso que eu fui tem os grupos que fazem a regulamentação da nano. No Brasil tem também e aí eles fizeram uma reunião falando das diretrizes que eu acho que vai sair no futuro essa parte de segurança em nano, que é uma coisa muito interessante, quando você vai no congresso, você dá uma olhada. O pessoal da [Universidade] é muito forte nessa parte de nanotecnologia, de nanociência, então tem um grupo muito forte nisso.

Já há uma preocupação?

Já tem uma preocupação. O [nome do pesquisador], não sei se você ouviu falar, ele escreveu vários livros a respeito de nanotecnologia.

Eu já devo ter lido alguma coisa dele.

E, quando eu entrei com o óxido de grafeno, o primeiro projeto aqui no [Instituto] eles não deixaram eu trabalhar. Eles falaram não, porque é tóxico. Eu falei assim: “fala sério, aqui no [Instituto]”?

Isso em?

2014. Depois até, porque foi em 2015; meu primeiro trabalho no [Instituto] com isso. Primeiro, a médica não queria deixar eu trabalhar, queria tirar o raio-X, que eu não fiz, não ganhei o [certificado], porque eu não tirei, de jeito nenhum. Raio-X de dente eu não tiro, só se for obrigada, porque leva uma dose. Mas, eu não fiz o raio-X, não tenho o [certificado]; eu falei não vou fazer. E, aí do projeto também, o projeto não queriam; falou que o [Instituto] não tem condições de trabalhar com óxido de grafeno. Eu falei: “tem condições de trabalhar com radiação, com um monte de rejeito, isso tem”. Agora, com o óxido de grafeno; eu mexo tão pouco, a gente mexe com 100, 10 miligramas, não é toneladas. E, aqui mesmo teve esse problema de não deixar a gente mexer.

Em um ambiente esclarecido, não é?

Acadêmico. E, aí eu tive que procurar o artigo do [nome do pesquisador]. A conclusão dele é que não tem estudo científico suficiente para provar a toxicidade do óxido de grafeno. Agora eu sei, eu fiz o estudo, então tem uma certa quantidade que a gente mexe que é tóxica, quando a gente funcionaliza a toxicidade diminui muito. Então, se vier um outro projeto falando que não é tóxico, eu tenho estudo aqui. A quantidade que é tóxica, mas a quantidade que a gente mexe é bem menor. Não é que nem o nanotubo. O nanotubo ele é mais tóxico que o óxido de grafeno.

E, por que ele se caracteriza por ser tóxico? O que ele pode causar?

No estudo de toxicidade eu cresço células e eu vejo o potencial das células morrerem colocando óxido de grafeno. Esse é o estudo que eu faço. O pessoal fala da toxicidade dele para o pulmão. Apesar que eu falo que monóxido de carbono, que também são nanopartículas, também é tóxico. Aí, depende da quantidade que você mexe. Se você mexe muito com monóxido de carbono você morre, se você mexer muito com qualquer material, até a radiação, compostos radioativos, eles são mais perigosos do que a radiação. Então, a periculosidade dele, ser químico, o composto químico é maior do que a radiação e dependendo da dose. Então, é muito relativo. Então, a toxicidade dele, o perigo mesmo que o pessoal fala, é dele ir para o pulmão.

São quantidades muito pequenas?

É, mas se a gente pensar nisso a gente não trabalha com nada. Eu fazia doutorado, eu mexia com benzeno, coluna de benzeno. Fazia coluna lá de separação de benzeno direto. Aí, mexia com tetracloreto de carbono que agora é proibido. Se a gente for pensar nisso a ciência não anda.

É, talvez isso, tem aquela questão que eu fiz da reversibilidade, talvez seja uma preocupação que antes não tinha e talvez agora passa a ter. Eu lembro uma coisa muito comum era na agricultura quando usava o BHC, as pessoas manuseavam com a mão o pó. É recente, não é?

É. É recente essa parte ambiental, sustentável. Então, tem projeto sustentável, é mais sustentável do que falar de nano, por isso que eu falo que esse projeto não gera resíduos. Então, quando eu vou dar palestra, é tudo assim, não gera resíduo, 5 minutos, não tem reagente.

Tem até a ver com essa questão seguinte. A questão da sustentabilidade, se gera algum resíduo e se esse resíduo é tratável?

Então, para fazer o óxido de grafeno, eu gero um resíduo, então tem essa ambiguidade, porque eu tenho que pegar a grafite, apesar do Brasil ser o maior produtor de grafite, eu compro da [fornecedora], custa caro.

De qual país é a [fornecedora]?

A [fornecedora] é alemã, mas a gente compra dos Estados Unidos e é caro, acho que 2 quilos custam 1.200 reais. É caro. Eu podia pegar da [empresa brasileira], mas aí o grafite deles é caro tanto quanto, então eu pego um superpuro, que aí até para publicar você coloca que é [fornecedora] o pessoal gosta mais que você falar que pegou da Grafite aqui. Aí, o ácido sulfúrico, permanganato, todos oxidantes fortes, tem que ser tudo controlado, porque explode. Já explodiu e a capela está fechada, por isso que o processo demora uma semana. Depois, tem que usar centrífuga. Mas, enfim, ele gera resíduo. O que eu faço com esse resíduo? Eu trato, tem que jogar base e, aos poucos, jogar água. Levo para [laboratório], porque tem um pessoal que tem tratamento de solventes. Tem um setor do [laboratório] que faz isso. Aí, eu levo para eles, quando tem metal eles incineram, precipitam, incineram, e aqui no [Instituto] tem um setor que, teoricamente, anualmente devia vir para incinerar, mas a ideia é não jogar.

Tem um tratamento, então?

Tem um tratamento de resíduos.

Então, dá para dizer que o impacto ambiental é mínimo?

É, pelo menos no laboratório.

Sim, porque trabalha com quantidades muito pequenas também.

É. Quantidades muito pequenas.

Mas, então o controle, o tratamento desse resíduo, já é bem conhecido?

É. Aqui a gente faz. Eu também dou uma disciplina na pós que é tratamento de resíduos, [nome da disciplina], porque todo laboratório químico, microbiológico, da rádiofarmácia tem resíduos, ainda mais deles, é radioativo, você não pode jogar. Aí, eles têm tratamento. Como faz? Tem que levar para os rejeitos. Aí, tem que precipitar, fazer colunas, cimenta, então tem todo um processo de tratamento.

Esse é um item importante, por exemplo, para projeto, quando vai fazer um projeto para pedir financiamento?

Não, a gente nunca coloca esse item. De tratamento de resíduos, não. Mas, o que eu coloco é o que eu falei, que o meu método não gera resíduos, de incorporação de metal, de fazer nanopartículas, porque geralmente coloca um redutor, sei lá, leva paládio, cátion em solução, paládio metálico, geralmente coloca redutores boro-hidreto, que são tóxicos. Para mim, é só água. Água e álcool para pegar a hidroxila radical, os oxidantes e só. Aí, eu filtro e está lá. Então, essa é minha grande propaganda.

Mas, esse não é um item nesses projetos, falar de resíduo?

Não. Não é.

Então, não é um problema para a nanotecnologia?

Acho que a FAPESP, a ideia, penso na FAPESP que dá o dinheiro, o CNPq também, apensar que o CNPq não tem dinheiro, acabou tudo, mas nunca foi um requisito. Quando você escreve projeto para a FAPESP tem uns requisitos, e nunca perguntaram isso para a gente. Perguntaram do currículo do pesquisador, se publica, se gera patente, são só itens que mais, o orçamento, se o orçamento está de acordo ou não com o que foi pedido. Se é compatível ou não. Então, a FAPESP está mais interessada nisso, infelizmente, porque devia. Para onde vai os resíduos? Nunca foi, nem aqui no [Instituto].

Mas, imagino que tenha algum controle?

Não; tem. Mas, para fazer projeto não é item. O item aqui no [Instituto] é aplicação. Tem aplicação? Tem, então dá uns pontinhos para ela. Agora, já fiz um projeto para o [Instituto] em nanociência, que só queria ver o efeito da radiação, não ganhei nada.

Não só critérios técnicos, não é?

Aqui acho que agora está virando mais aplicação.

Eu não sei se eu entendi bem, que você comentou que uma propaganda do teu projeto é a não geração de resíduo, mas você disse que tem uma geração de resíduo nos óxidos?

Nos óxidos, porque na síntese de óxido de grafeno gera resíduo.

Ah, tá, esse gera?

Esse gera. Agora, para fazer a nanopartícula não gera. Porque usa radiação para fazer a nanopartícula, porque o óxido de grafeno eu poderia comprar, mas eu acho muito caro. Então, a gente faz aqui porque eu tenho a tecnologia de fazer, porque eu aprendi com uma professora que veio de Huston, a aluna dela ensinou a fazer óxido de grafeno. Não são todos os lugares que conseguem fazer o óxido de grafeno e meu óxido de grafeno tem 3 camadas. Então, 3 camadas de óxido de grafeno é ainda considerado nanopartícula. Acima de 6 que aumenta, cada uma tem 0.8 nanômetros de espessura, aí ele é considerado nanopartícula. Acima de 6 já não é. Então, eu consigo fazer óxido de grafeno bom, ele é muito bem oxidado e o pessoal já comprou da [fornecedora] e veio grafite. Para você ter uma ideia, o pessoal paga óxido de grafeno e vem grafite e não consegue devolver, porque é importado. Então, eu prefiro fazer. Mas, a nanopartícula, a nanopartícula metálica, aí sim é feito aqui, tem o radiador, porque o óxido de grafeno eu posso comprar e pode fazer em cima. Então, o meu grande destaque, diferenciação, é o uso do óxido do radiador para fazer as nanopartículas em cima dele. Essa que não gera resíduo. É a água e só, cinco minutos debaixo do acelerador. Então, é a grande diferenciação.