

7 Conclusões

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento sobre a importância da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, vistas segundo uma perspectiva sistêmica, integrada e sustentável. Nesse sentido, propôs-se um modelo analítico-prospectivo, concebido como uma ferramenta de apoio a processos decisórios em questões referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil. Endereça-se este modelo aos principais grupos de interesse no país, envolvidos no desenvolvimento, na produção, formulação e comercialização de nanomateriais e, em particular, aos membros do GT Marco Regulatório do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia e à Coordenação do Programa Mobilizador em Nanotecnologia, criado no âmbito da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP).

Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa permitiram que o objetivo geral da dissertação fosse alcançado.

A proposta conceitual inicial considerou contribuições de estudos em nível internacional (Quadro 6.1) e, a partir daí, incluíram-se novos elementos a fim de melhorá-la, principalmente no que diz respeito às questões de regulação de nanomateriais. Acredita-se que esta contribuição, que pretende ser flexível, dinâmica e sistêmica, possa ser útil para gestores dos setores privado e público e especialistas acadêmicos aprimorarem suas estratégias de inovação, a formulação de políticas públicas e suas pesquisas empíricas, respectivamente. A proposta do modelo, embora comporte melhorias futuras através de seu próprio uso (*learning-by-doing*), é relevante e original, porque, como indicou a revisão bibliográfica e documental, não existe ainda um outro modelo que integre sistemicamente as três funções abordadas.

A seleção de quinze construtos associados às três dimensões (metrologia, normalização e regulação de nanomateriais), a definição das variáveis e os referenciais conceituais escolhidos para fundamentar a fase descritiva/propositiva da pesquisa mostraram-se adequados, como demonstrado no capítulo 6.

Em relação ao primeiro objetivo específico, foi possível identificar e discutir os referenciais internacionais e iniciativas em curso no mundo referentes à

metrologia, normalização e regulação de nanotecnologias e, particularmente, de nanomateriais e nanopartículas. Esses referenciais constituíram a base para o desenvolvimento do modelo conceitual como um todo e o desenho do instrumento de pesquisa, conforme apresentado nos capítulos 4 e 6.

No que tange ao segundo objetivo, o panorama da nanometrologia, em nível mundial, referente aos temas: nanometrologia dimensional, metrologia nanoquímica, metrologia nanomecânica e nanomateriais estruturados propiciou a indicação de 51 importantes técnicas nanometrológicas, distribuídas em quatro disciplinas: 20 técnicas associadas à metrologia nanodimensional; 30 referentes à metrologia nanoquímica; 7 à metrologia nanomecânica e 8 direcionadas a materiais nanoestruturados. Algumas técnicas estão associadas a mais de uma disciplina, como por exemplo microscopia de força atômica (AFM), microscopia de varredura por tunelamento (STM), difração de raios-X (XRD), elipsometria espectroscópica, espectroscopia fotoeletrônica de raios-X, microscopia eletrônica de transmissão (TEM), para citar alguns exemplos

Já o levantamento do estado-da-arte da normalização em nível mundial relativas a nanotecnologias, em geral, e a nanomateriais em especial indicou o estágio atual dos esforços de normalização empreendidos em nível mundial, no que tange especificamente à nanotecnologia, bem como as visões de diversos países e instituições públicas e privadas sobre regulação e auto-regulação em nanotecnologia, com especial ênfase em nanomateriais e nanopartículas. Essas informações buscaram também complementar as abordagens conceituais apresentadas nos capítulos 2 e 3.

Em relação à normalização e à regulação, as descrições foram baseadas fundamentalmente na revisão abrangente e atualizada elaborada pelo ObservatoryNano (2010). Na seção 4.2, dedicada à normalização, incluiu-se a tipologia de normalização que foi adotada ao longo do desenvolvimento do projeto NanoStrand, particularmente nas etapas da pesquisa *survey* e de construção dos *roadmaps* estratégicos. Identificaram-se 33 temas, classificados nas seguintes categorias: (i) terminologia e nomenclatura de nanotecnologia (6 temas); (ii) nanomateriais (8 temas); (iii) nanocompósitos (6 temas); (iv) segurança, meio ambiente e saúde (7 temas); (v) desempenho de insumos e produtos, com foco em nanomateriais e nanopartículas (6 temas). Essa tipologia encontra-se totalmente alinhada aos trabalhos internacionais de normalização conduzidas pela ISO e pela IEC, cuja síntese e principais resultados foram

apresentados no Item 4.2.1 - Iniciativas da ISO e da IEC em nanotecnologia. Atingiu-se, assim, o terceiro objetivo.

Vale destacar que a abordagem conceitual adotada no projeto NanoStrand serviu de fonte de inspiração para a proposição do modelo analítico-prospectivo, objeto da presente dissertação, uma vez que os produtos do referido projeto (pesquisa *survey* e *roadmaps* estratégicos) representaram de maneira consistente e flexível os desafios metrológicos e normativos no contexto europeu e as trajetórias para se atingir as metas prioritárias definidas para horizonte de 12 anos.

Quanto ao quarto objetivo, foi possível desenvolver um modelo conceitual robusto que integrasse as três funções – metrologia, normalização e regulação de nanomateriais. Para a operacionalização do modelo, foi proposta a aplicação de duas ferramentas de pesquisa: a primeira, um instrumento de pesquisa *survey*, voltado para o diagnóstico da situação atual e identificação de desafios metrológicos, normativos e regulatórios, e a segunda, de caráter estratégico, direcionada para a construção de uma visão de longo prazo das três funções, pautada pelos princípios do desenvolvimento responsável da nanotecnologia.

Em relação à nanometrologia, os resultados agregados da futura pesquisa *survey* permitirão avaliar: (i) a frequência de uso das principais técnicas nanometrológicas; (ii) a percepção sobre a importância da aplicação dessas técnicas no Brasil; (iii) o estágio da infraestrutura nanometrológica no país em relação às técnicas consideradas; e (iv) os principais campos de aplicação das técnicas nanometrológicas. Já a construção de *roadmaps* estratégicos referentes aos quatro temas de metrologia permitirá a definição criteriosa de metas de curto, médio e longo prazo e da elaboração conjunta e comprometida de planos de ação para as questões críticas identificadas no módulo de diagnóstico (*pesquisa survey*).

Com referência à normalização, os resultados da pesquisa *survey* poderão revelar: (i) a percepção sobre a importância da adoção das normas aplicáveis a nanomateriais no Brasil; (ii) o senso de urgência de adoção dessas normas no país; e (iii) o nível de participação do Brasil em iniciativas internacionais em relação às normas aplicáveis; e (iv) os campos de aplicação das normas consideradas. Assim como na questão anterior, a construção de *roadmaps* estratégicos referentes aos cinco temas de normalização em nanomateriais fornecerá subsídios estratégicos para a definição criteriosa de metas de curto, médio e longo prazo e da elaboração conjunta e comprometida

de planos de ação para as questões críticas identificadas no módulo de diagnóstico (*pesquisa survey*).

No que concerne à regulação, abordam-se seis temas, para os quais será possível avaliar com o instrumento de pesquisa proposto: (i) o estágio da caracterização de riscos no país em relação ao tema; (ii) o estágio da avaliação de riscos no país em relação ao tema; (iii) o estágio do gerenciamento dos riscos no país em relação ao tema; (iv) a existência (ou não) de mecanismos legais no país referentes ao tema; (v) a percepção da importância da regulação no país em relação ao tema; e (vi) o senso de urgência de revisão no país do marco regulatório em relação ao tema. Assim como nas funções de metrologia e normalização, também aqui os *roadmaps* estratégicos poderão ser a base para a formulação de planos consistentes de ações a serem encaminhadas para os organismos reguladores brasileiros.

Os relatórios do projeto Nano-Strand, do ObservatoryNano e do Centre for Business Relationships Accountability Sustainability and Society, da Cardiff University, constituem evidências quanto à viabilidade e pertinência do uso das ferramentas propostas para os três módulos do modelo (Figura 6.1). Buscou-se com esses exemplos reais, demonstrar a oportunidade de se aplicar no Brasil, de forma integrada e sistêmica, as ferramentas de pesquisa *survey* e de construção de *roadmaps* estratégicos para fins de uma definição criteriosa de metas de curto, médio e longo prazo e da elaboração conjunta e comprometida de planos de ação para as questões críticas de metrologia, normalização e regulação de nanomateriais.

Para trabalhos futuros de desdobramento da pesquisa e aprofundamento dos resultados alcançados, propõem-se:

- divulgar o instrumento de pesquisa proposto junto aos órgãos de governo e associações com interesse potencial na sua aplicação em nível nacional. Citam-se, por exemplo, o MDIC, o MCT, o INMETRO, o IBGE, a ABNT e a ABDI;
- aplicar o instrumento junto aos diversos atores do sistema nacional de inovação em nanotecnologia, demonstrando sua importância como ferramenta de apoio a decisões no âmbito de instituições e empresas realmente interessadas no desenvolvimento consciente e ético de nanomateriais;
- utilizar análise estatística não paramétrica para tratamento e análise dos dados coletados, mediante adoção de modelos de equações

estruturais como proposto por Skrondal e Rabe-Hesketh (2004) e análise fatorial (Bibby, Mardia e Kent, 1980). Essa abordagem poderá evidenciar mais objetivamente a importância dos fatores para o desenvolvimento, produção e comercialização responsável de nanomateriais no Brasil, permitindo com isso, atribuir-se pesos aos fatores e respectivos indicadores;

- identificar oportunidades de replicação do modelo integrado “metrologia, normalização e regulação” em outros campos de nanotecnologia, além de nanomateriais, como por exemplo nanobiotecnologia, nanofotônica, nanoeletrônica e outros;
- desenvolver aplicativos que permitam estender o modelo e a aplicação do instrumento a outras áreas.

Finalmente, acredita-se que a aplicação futura do modelo aqui proposto, junto aos atores do sistema brasileiro de inovação em nanotecnologia, possa demonstrar efetivamente sua importância para: *(i)* a instrumentação de políticas públicas voltadas para N&N e revisão do marco regulatório, com foco na produção, uso e exposição a nanomateriais e nanopartículas; *(ii)* a retroalimentação à Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), mediante definição ou revisão de metas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais; e *(iii)* a definição de estratégias de inovação e de negócios por parte das empresas brasileiras que atuam ou pretendem atuar no segmento de nanomateriais.