

Metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil: proposição de um modelo analítico-prospectivo

Propõe-se neste capítulo 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 o modelo aos principais grupos de interesse no país, envolvidos no desenvolvimento, na produção, formulação e comercialização de nanomateriais. 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).

Tendo em vista o objetivo principal da dissertação, ressalta-se a importância de três funções básicas da infraestrutura tecnológica nacional, no âmbito das cadeias de valor potencializadas por nanomateriais e produtos nanomanipulados. São elas: (i) metrologia, focalizando-se especificamente o uso de técnicas metrológicas nanodimensionais, nanoquímicas, nanomecânicas e aplicadas a nanomateriais estruturados; (ii) normalização, com ênfase na adoção de normas de terminologia e nomenclatura, nanomateriais, nanocompósitos, segurança, meio ambiente e saúde; e desempenho de insumos e produtos; e, finalmente, (iii) regulação, compreendendo questões referentes à produção e introdução de novos nanomateriais no mercado; saúde e segurança; responsabilidade dos fabricantes quanto à composição, qualidade e condições de segurança; proteção aos consumidores; controle e preservação ambiental; e tratamento e descarte de resíduos.

Essas três funções constituem o cerne do modelo analítico-prospectivo aqui proposto e traduzem-se em grandes desafios técnicos, normativos e regulatórios sem precedentes no mundo e com fortes impactos nas dinâmicas industriais de nanomateriais e das cadeias de valor por eles potencializadas no contexto brasileiro.

6.1. O modelo analítico-prospectivo: visão geral

Apresenta-se nesta seção uma visão geral do modelo analítico-prospectivo como uma ferramenta de apoio a processos decisórios em questões referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil. Inicialmente, apresentam-se os referenciais internacionais que foram as principais fontes conceituais e empíricas para a etapa de modelagem. Na seqüência, descreve-se o modelo em suas três fases: (i) revisão do estado-da-arte mundial da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais; (ii) diagnóstico da situação atual e identificação de desafios metrológicos, normativos e regulatórios referentes ao desenvolvimento responsável de nanomateriais; e (iii) construção de *roadmaps* estratégicos das três funções, com indicação de prioridades para o curto, médio e longo prazo em um horizonte de 10 anos.

6.1.1. Referenciais internacionais adotados

Após a revisão bibliográfica e documental que norteou a definição dos objetivos da pesquisa na fase exploratória, iniciou-se a fase descritiva com o desenvolvimento de um modelo preliminar, o qual foi consubstanciado em um modelo conceitual que integrou as três funções – metrologia, normalização e regulação de nanomateriais.

A análise de conteúdo dos referenciais externos apontou para a escolha do modelo adotado no âmbito do projeto NanoStrand desenvolvido na Comunidade Européia (NanoStrand, 2006; 2007) e da estrutura conceitual do estudo intitulado “*An Overview of the Framework of Current Regulation affecting the Development and Marketing of Nanomaterials*”, de autoria de Frater et al (2006).

Tomando-se como base esses dois modelos conceituais (NanoStrand e Frater et al), verificou-se a necessidade de: (i) adaptar para o contexto brasileiro as questões referentes à metrologia, à normalização e à regulação de nanomateriais; e (ii) integrar as três funções, uma vez que os referenciais internacionais adotados como base para esta proposta contemplaram uma ou duas funções somente. O projeto europeu NanoStrand (2006; 2007) focalizou as duas primeiras funções; o trabalho do ObservatoryNano (2010) abordou as

funções de normalização e regulação; e o estudo de Frater et al (2006) analisou as questões de regulação de nanomateriais.

Vale destacar que, dentre os seis construtos e respectivas técnicas metrológicas abordadas no projeto NanoStrand, selecionaram-se somente quatro construtos, por serem esses diretamente relacionados a nanomateriais. Os demais referem-se à nanobiotecnologia e à nanoeletrônica.

Um terceiro estudo, muito importante pela sua abrangência e atualidade, forneceu uma visão panorâmica das principais iniciativas de normalização, regulação e auto-regulação em curso no mundo. Trata-se do estudo intitulado “*Developments in nanotechnologies regulation and standards*”, publicado pelo ObservatoryNano em 2010, que aborda iniciativas relevantes conduzidas em países europeus, nos EUA, no Canadá, no Japão, na China, na Índia, na Austrália e em Taiwan.

O Quadro 6.1 mostra sinteticamente as referenciais que apoiaram o desenvolvimento do modelo e o desenho do instrumento da pesquisa *survey* proposta para o segundo módulo do modelo, ambos apresentados nas próximas seções.

Quadro 6.1 – Referenciais internacionais adotados

Item	Referencial adotado
Definições de nanotecnologia e nanomateriais	The Royal Society (2004).
Cadeia de valor da nanotecnologia	Lux Research (2004).
Metrologia	Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM (2008).
Nanometrologia	Projeto NanoStrand. Deliverable # 7 (2006).
Metrologia nanodimensional	
Metrologia nanoquímica	
Metrologia nanomecânica	
Metrologia aplicada a nanomateriais estruturados	
Normalização de nanotecnologia	Observatorynano (2010). Projeto NanoStrand. Deliverable # 9 (2007).
Regulação e iniciativas de auto-regulação em nanotecnologia	Observatorynano (2010).
Regulação de nanomateriais	Frater et al (2006).

Fonte: Elaboração própria.

6.1.2. Características do modelo, dimensões e construtos

Baseando-se nos referenciais internacionais apresentados na seção anterior e na experiência profissional da pesquisadora, identificaram-se alguns elementos críticos para configurar a proposta do modelo. Assim, antes de se iniciar a descrição do modelo propriamente dita, apresentam-se as características da proposta e as dimensões do modelo. As principais características são: (i) abordagem sistêmica; (ii) abordagem dinâmica; (iii) flexibilidade e transparência; (iv) adoção de enfoques qualitativos e quantitativos; (v) abordagem prospectiva; e (vi) orientação estratégica.

Quanto à primeira característica – abordagem sistêmica – considera-se que, nesta proposta de modelo, as dimensões metrologia, normalização e regulação deverão ser estudadas no contexto do sistema nacional de inovação em nanotecnologia. De fato, essas três funções da Tecnologia Industrial Básica (TIB) são consideradas instrumentos chave para fortalecer sistemas nacionais de inovação (Lundvall, 1992; Malerba, 2002; Tigre, 2008). Reconhece-se que as dimensões não devem ser tratadas de forma reducionista, analisando-se as partes individualmente, mas interligadas de várias formas, como pode ser visto adiante no esquema representativo do modelo (Figura 6.1).

A segunda característica da proposta – abordagem dinâmica - refere-se especificamente à necessidade de monitorar a dinâmica do ambiente de C&T associado ao desenvolvimento de novas técnicas metrológicas e de criação ou revisão de normas referentes, podendo haver alterações ou revisões dos construtos aqui propostos para cada função. Um segundo ponto da abordagem dinâmica do modelo é a inclusão de indicadores dinâmicos inerentes à natureza dessas funções, como por exemplo, na etapa de diagnóstico da situação atual, apreender a percepção dos respondentes quanto à importância do uso de uma determinada técnica metrológica ou da adoção de uma norma específica.

Em relação à terceira característica, a proposta do modelo busca ser ao mesmo tempo transparente e flexível para acomodar futuramente mudanças nas dimensões, nos construtos e indicadores de acordo com a evolução do contexto e a opinião dos grupos de interesse comprometidos com o desenvolvimento responsável dos nanomateriais no país.

No que tange aos enfoques de análise, considera-se que tanto os enfoques qualitativos, quanto os quantitativos, são importantes para o estudo

das três funções da TIB como elementos fundamentais do sistema nacional de inovação em nanotecnologia. Os de natureza qualitativa são especialmente importantes em função do caráter de sinergia e colaboração entre os atores do referido sistema.

Quanto à abordagem prospectiva, sentiu-se logo no início do processo de modelagem a necessidade de incluir o módulo de construção de *roadmaps* estratégicos, tendo em vista a abordagem de longo prazo de ambientes complexos e altamente voláteis, como no caso da nanotecnologia e, particularmente, dos nanomateriais. A abordagem prospectiva oferece um referencial conceitual e didático adequado para revelar e organizar as incertezas e desafios inerentes à evolução das três funções aqui abordadas – metrologia, normalização e regulação de nanomateriais – em horizontes de longo prazo e no contexto de um país emergente. Um dos benefícios da abordagem prospectiva em ambientes de formulação de estratégias empresariais e de políticas públicas é que a adoção de suas ferramentas permitem aos decisores examinarem a interação entre as dimensões mercado, tecnologia e regulação, face à possibilidade de mudanças de paradigmas impulsionadas pela adoção de tecnologias emergentes.

A sexta característica do modelo proposto encontra-se intrinsecamente relacionada à abordagem prospectiva e refere-se à orientação estratégica da proposta. O modelo considera a perspectiva estratégica da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, além da perspectiva técnica, na visão de que a estratégia de desenvolvimento dessas três funções no país seja um dos pilares para que o ciclo de inovação, produção e comercialização de nanomateriais se desenvolva no país de forma responsável e sustentável. Cabe destacar que o modelo propõe em seu módulo central a identificação de desafios futuros para cada função, tendo em vista a definição de metas de curto, médio e longo prazo e o desenho das trajetórias para a concretização das metas e equacionamento dos desafios metrológicos, normativos e regulatórios de nanomateriais no país.

Quanto à estrutura analítica, a proposta incluiu três níveis de análise e compreende três dimensões, quinze construtos e quatorze variáveis, resultantes de um esforço para identificar na literatura e nos estudos empíricos (capítulo 4) as questões e conceitos que deveriam ser considerados, segundo a perspectiva do desenvolvimento responsável de nanomateriais. Nesse sentido, como base

conceitual-analítica para a apresentação do modelo propriamente dita, apresentam-se, a seguir, as três dimensões e os construtos identificados em cada dimensão, sem a pretensão de que esta seleção seja exaustiva (Quadro 6.2). Espera-se, todavia, que na aplicação do modelo esta primeira proposta sofra revisões visando seu aperfeiçoamento, em função da característica dinâmica e flexível das ferramentas aqui apresentadas. A grade completa é descrita no Item 6.3.2 (Quadro 6.6).

Quadro 6.2 – Dimensões e construtos do modelo analítico-prospectivo

Dimensão	Construtos	Definições
Metrologia	Metrologia nanodimensional	Adotadas as definições de NanoStrand. Deliverable # 7 (2006).
	Metrologia nanoquímica	
	Metrologia nanomecânica	
	Metrologia aplicada a nanomateriais estruturados	
Normalização	Terminologia e nomenclatura de nanotecnologia	Adotadas as definições de NanoStrand. Deliverable # 9 (2007).
	Nanomateriais	
	Nanocompósitos	
	Normas de segurança, meio ambiente e saúde referentes a nanomateriais e nanopartículas	
	Normas referentes a desempenho de insumos e produtos, com foco em nanomateriais e nanopartículas	
Regulação	Regulação da produção e introdução de nanomateriais no mercado	Adotadas as definições de Frater et al (2006).
	Saúde e segurança, com foco em nanomateriais e nanopartículas	
	Responsabilidade do fabricante quanto à composição, qualidade e condições de segurança dos produtos.	
	Proteção aos consumidores, com foco em produtos fabricados com nanomateriais e nanopartículas	
	Controle e preservação ambiental	
	Tratamento e descarte de resíduos	

Fonte: Elaboração própria

6.1.3. Representação e descrição geral do modelo

Apresenta-se nesta seção o modelo analítico-prospectivo a ser aplicado no contexto brasileiro de metrologia, normalização e regulação de nanomateriais,

segundo a perspectiva do desenvolvimento responsável do sistema nacional de inovação em nanotecnologia. Essa perspectiva foi explorada no capítulo 3 da presente dissertação a partir das visões da European Commission (2008); da The Royal Society et al (2008); da Basf, 2009; e do estudo recente de Rafols et al (2010), da University of Sussex.

A Figura 6.1 representa graficamente os componentes do modelo em uma seqüência de três módulos: (i) revisão do estado-da-arte da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais em nível mundial; (ii) diagnóstico da situação atual e identificação dos principais desafios das três funções no contexto brasileiro; e (iii) construção de *roadmaps* estratégicos referentes às trajetórias de desenvolvimento das três funções no Brasil, com indicação de metas de curto, médio e longo prazos em um horizonte de 10 anos.

O primeiro módulo tem por objetivo a revisão do estado-da-arte mundial das três funções com ênfase em nanomateriais, tendo em vista a identificação das questões metrológicas, normativas e regulatórias que estão sendo analisadas em nível mundial. Busca identificar: (i) as técnicas metrológicas que deverão ser objeto de análise, qual seu estágio de maturidade e em que países estão sendo desenvolvidas ou adotadas; (ii) as normas que deverão ser adotadas no ciclo de inovação, produção, armazenamento, comercialização e descarte de nanomateriais; e (iii) a regulação e os mecanismos legais (existentes ou em desenvolvimento) no mundo referentes a nanomateriais.

O segundo módulo, desenhado para o contexto brasileiro e intitulado “diagnóstico da situação atual e identificação dos principais desafios”, busca preencher lacunas apontadas no capítulo 4 e atender necessidades identificadas pelos principais atores do sistema nacional de inovação em nanotecnologia, comprometidos com o desenvolvimento, produção e comercialização de nanomateriais, de forma segura e responsável (Brasil, 2010).

Em particular, o instrumento da pesquisa *survey* proposto para operacionalizar esse segundo módulo é endereçado a todos esses atores, mas especialmente aos membros do GT Marco Regulatório do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia, criado no âmbito da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP).

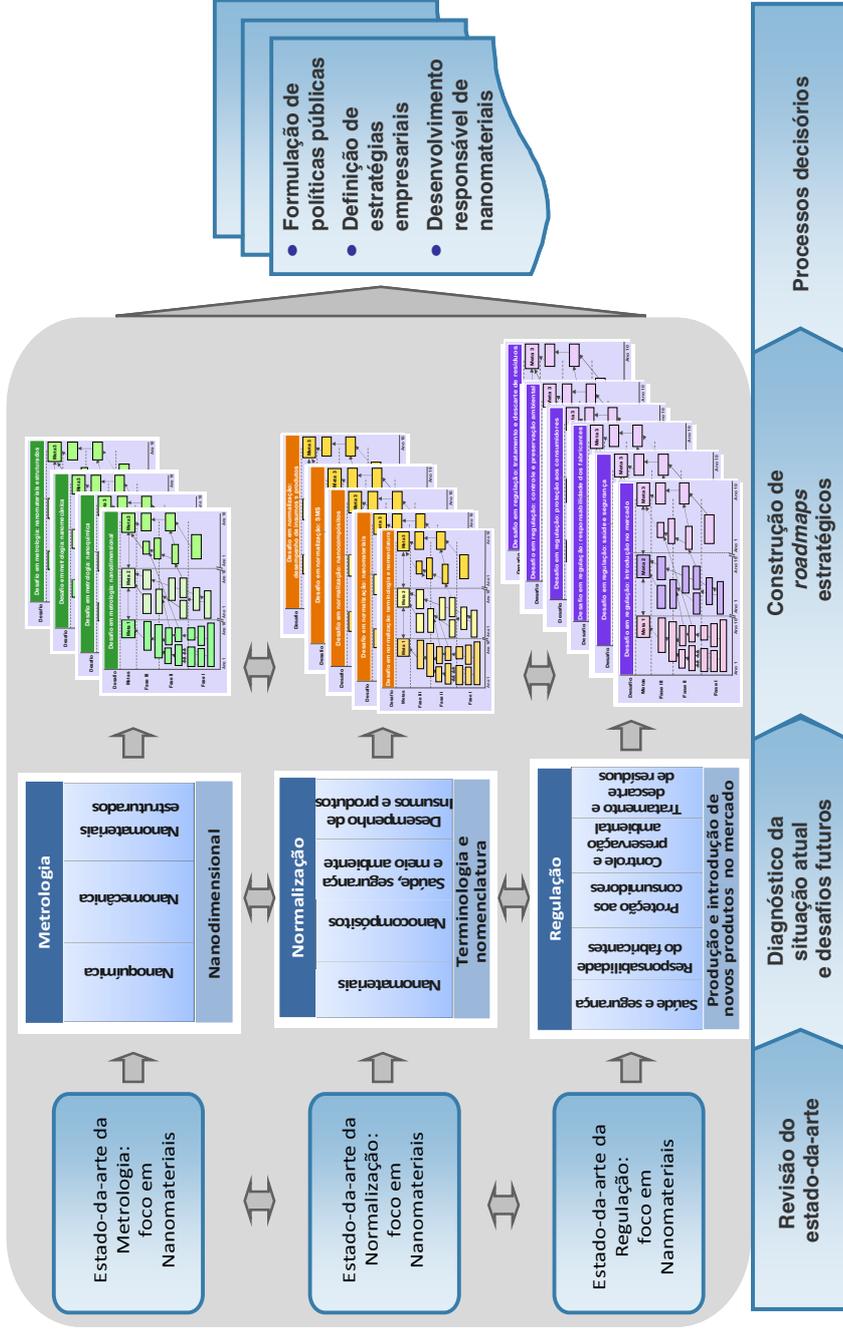


Figura 6.1 – Modelo para diagnóstico e prospecção da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil
 Fonte: Elaboração própria

Considera-se que o Brasil detém provavelmente a melhor infraestrutura para o desenvolvimento da nanotecnologia da América Latina, devido ao grande número de instituições e grupos de pesquisa envolvidos nesse processo. Conforme pesquisa realizada em 2008 sobre o sistema nacional de inovação em nanotecnologia, o Brasil é o país da América Latina com maior número de especialistas nas diversas áreas que compõem esse campo de estudo, além de apresentar maior envergadura e diversidade econômica para suportar com legitimidade os desafios de ser a referência em nanotecnologia no contexto latino (Santos, 2008).

De fato, acredita-se que a aplicação do instrumento de pesquisa *survey* junto aos diversos atores do sistema nacional de inovação em nanotecnologia possa demonstrar sua importância como ferramenta para: (i) a identificação de pontos fortes, gargalos e desafios de desenvolvimento referentes às três funções; e (ii) a definição de metas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, como desdobramento dos desafios identificados pela pesquisa *survey*, em um primeiro nível. E, em um segundo nível, com a complementação da ferramenta de construção de *roadmaps* estratégicos: (iii) a instrumentação de políticas públicas voltadas para nanociência e nanotecnologia e revisão do marco regulatório com foco na produção, uso e exposição a nanomateriais e nanopartículas; (iv) a retroalimentação à Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), mediante definição ou revisão de metas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais; e (v) a definição de estratégias de inovação e de negócios por parte das empresas brasileiras que atuam ou pretendem atuar no segmento de nanomateriais.

Finalmente, o terceiro módulo refere-se à construção dos *roadmaps* estratégicos e seu objetivo é desenvolver representações gráficas simplificadas que permitirão comunicar e compartilhar de forma eficaz as metas estratégicas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil, ao longo de uma escala temporal. Acredita-se que, a partir da construção coletiva dos *roadmaps* estratégicos, a mobilização, o alinhamento e a coordenação de esforços dos grupos de interesse que deverão ser envolvidos na concretização de uma ou mais metas poderá ser significativamente facilitadas.

Em outras palavras, os *roadmaps* estratégicos fornecerão um quadro para pensar o futuro, estruturar o direcionamento estratégico dessas três funções e definir os planos de ação vinculados aos subtemas (construtos) de cada função.

6.2 Revisão do estado-da-arte

A revisão do estado-da-arte mundial das três funções, com ênfase em nanomateriais, visa identificar as questões metrológicas, normativas e regulatórias que estão sendo avaliadas no momento, tornando-se objetos de iniciativas em nível mundial, pela sua prioridade. Apresenta-se nas seções seguintes a proposta de revisão do estado-da-arte para as funções abordadas.

6.2.1.

Estado-da-arte da metrologia: foco em nanomateriais

Neste submódulo, devem ser levantadas as técnicas metrológicas que representam o estado-da-arte em nível mundial e que deverão ser objeto de análise nas fases seguintes de aplicação do modelo (ver proposta no Quadro 6.3).

Quadro 6.3 – Técnicas metrológicas para nanomateriais: estado-da-arte mundial

Campos da metrologia	Técnicas metrológicas
Nanodimensional	Difração de raio-X (XRD)
	Difração ótica
	Elipsometria espectroscópica
	Escaterometria
	Microscopia acústica
	Microscopia de força atômica (AFM)
	Microscopia de varredura por tunelamento (STM)
	Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)
	Microscopia eletrônica de varredura (SEM)
	Microscopia ótica confocal
	Microscopia ótica de interface
	Microscopia de interferência
	Perfilometria
	Transdutores de capacitância
	Transdutores interferométricos óticos
	Transformador diferencial variável linear (LVDT)
	Refletância difusa no ultravioleta
	Porosimetria
	Espectroscopia fotoeletrônica de raios-X
	Voltametria cíclica
Nanomecânica	Nanoindentação
	Microscopia de força atômica (AFM)
	Microscopia de força lateral
	Microscopia eletrônica de varredura (SEM)
	Nanotribologia
	Ensaio direto de nanotubos
Ensaio nanomecânico específicos	

Quadro 6.3 – Técnicas metrológicas para nanomateriais: estado-da-arte mundial (cont.)

Campos da Metrologia	Técnicas metrológicas
Nanomateriais estruturados	Microscopia de força atômica (AFM)
	Microscopia de varredura por tunelamento (STM)
	Microscopia de força magnética (MFM)
	Microscopia eletrônica de varredura (SEM)
	Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)
	Espectroscopia de atenuação ultrassônica (UAS)
	<i>X-ray disc centrifuge</i> (XDC)
	Análise de padrões de difração de feixe de elétrons
Nanoquímica	Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)
	Espectroscopia de perda de energia de elétrons (PEELS)
	Microscopia de varredura por tunelamento (STM)
	Microscopia ótica de varredura em campo próximo (SNOM)
	Microscopia de varredura eletroquímica (SECM)
	Espectroscopia eletrônica de Auger (AES)
	Espectrometria de massa de íons secundários (SIMS)
	Espectroscopia Raman
	Espectroscopia Raman amplificada por superfície (SERS)
	Microbalança de cristal de quartzo (QCM)
	Difração de elétrons de baixa energia (LEED)
	Difração de raios-X (XRD)
	Espectroscopia de perdas de energia de elétrons refletidos (REELS)
	Espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS)
	Espectroscopia de fotoelétrons resolvida em ângulo (ARXPS)
	Ionização/dessorção de matriz assistida (MALDI)
	Ionização de dessorção por eletrospray (DESI)
	Espectroscopia de emissão ótica por descarga de emissão (GDOES)
	Análise de energia dispersiva de raios-X (EDX/EDAX/EDS)
	Análise de raios-X por comprimento de onda dispersivo (WDX)
	Espalhamento de íons com energia média (MEIS)
	Espectroscopia por retroespalhamento Rutherford (RBS)
	Fluorescência de raios-X (XRF)
	Espectroscopia de aniquilação de pósitrons (PAS)
	Elipsometria espectroscópica
	Sonda atômica tridimensional (3D-AP)
	Refletância difusa no ultravioleta
	Porosimetria
	Espectroscopia fotoeletrônica de raios-X
	Voltametria cíclica
Total	51 técnicas metrológicas

Fonte: NanoStrand, 2006.

Como pode ser visto no Quadro 6.3, foram identificadas 51 técnicas metrológicas, sendo 20 associadas à metrologia nanodimensional, 32 referentes à metrologia nanoquímica, 7 à metrologia nanomecânica e 8 associadas à metrologia aplicada a nanomateriais estruturados.

Informações sobre as referidas técnicas encontram-se sintetizadas no capítulo 4 e detalhadas no relatório intitulado “*State-of-art report on nanometrology*” (NanoStrand, 2006).

Recomenda-se a monitoração permanente do ambiente internacional e nacional de metrologia dedicado à nanotecnologia e, em particular, a nanomateriais, tendo em vista a revisão sistemática do estado-da-arte dos campos aqui abordados.

6.2.2. Estado-da-arte da normalização: foco em nanomateriais

Neste submódulo, devem ser identificados, em nível mundial, um conjunto de temas de normalização direcionados para nanomateriais, conforme apresentado no Quadro 6.4.

Quadro 6.4 – Principais temas de normalização para nanomateriais em nível mundial

Campos da normalização	Temas de normalização
Terminologia e nomenclatura	Terminologia de nanopartículas
	Terminologia de nanotubos de carbono
	Terminologia para nanofabricação
	Terminologia de nanomateriais
	Terminologia para nanorevestimentos
	Terminologia para nanocomponentes eletrônicos
Nanomateriais, incluindo nanopartículas	Tamanho, distribuição do tamanho de nanopartículas
	Aglomerção e dispersão de nanopartículas
	Pureza e amostragem de nanopartículas
	Superfície e reatividade de nanopartículas
	Características e propriedades óticas, elétricas e magnéticas de nanopartículas
	Nanopartículas como suporte para aplicações médicas
	Medições de propriedades geométricas, físicas e morfológicas e de composição de nanorevestimentos
Caracterização básica de outras nanoestruturas por técnicas de TEM, SEM, EDXA, NIR, UV, dentre outras	
Nanocompósitos	Fração de volume de nanocompósitos
	Força de ligação interfacial entre a carga inorgânica e a matriz de nanocompósitos
	Caracterização de dispersão de nanocomponentes em nanocompósitos
	Partículas liberadas de nanocompósitos
	Propriedades mecânicas e de barreira de nanocompósitos
	Propriedades elétricas e óticas de nanocompósitos

Quadro 6.4 – Principais temas de normalização para nanomateriais em nível mundial (cont.)

Campos da normalização	Temas de normalização
Segurança, meio ambiente e saúde	Nanosegurança: orientações gerais de segurança em estações de trabalho
	Nanosegurança: orientações adicionais de segurança em estações de trabalho
	Métodos para avaliar perigos e toxicidade de nanomateriais
	Testes de toxicologia e métodos de separação
	Determinação da exposição no ar, água e solo
	Orientações para descarte seguro
	Avaliação de riscos ambientais
Desempenho de insumos e produtos	Ensaio para controle de qualidade de insumos nanotecnológicos
	Ensaio para controle de qualidade de produtos de base nanotecnológica
	Certificação de qualidade de insumos nanotecnológicos
	Certificação de qualidade de insumos e produtos de base nanotecnológica
	Rotulagem de produtos de base nanotecnológica
	Ensaio para controle de qualidade de insumos nanotecnológicos
Total	33 temas de normalização

Fonte: ObservatoryNano, 2010.

Informações sobre o estado-da-arte da normalização nos temas aqui abordados encontram-se sintetizadas no capítulo 4 e detalhadas no relatório do ObservatoryNano, intitulado “*Developments in Nanotechnologies Regulation and Standards – 2010*” (ObservatoryNano, 2010).

Assim como no submódulo anterior, recomenda-se a monitoração permanente do ambiente internacional e nacional de normalização dedicado à nanotecnologia e, em particular, a nanomateriais, tendo em vista a revisão sistemática do estado-da-arte dos campos aqui abordados.

6.2.3.

Estado-da-arte da regulação: foco em nanomateriais

Neste submódulo, devem ser destacadas as principais questões regulatórias que deverão ser objeto de análise nas fases seguintes de aplicação do modelo. Uma proposta inicial baseada em ObservatoryNano (2010) e Frater et al (2006) inclui as seguintes questões: (i) caracterização de riscos; (ii) avaliação dos riscos; (iii) gerenciamento dos riscos; e (iv) mecanismos legais vigentes relacionados a cada um dos seis campos abordados (Quadro 6.5).

Como mostrado no Quadro 6.5, os campos que deverão ser monitorados são: (i) regulação da produção e introdução de nanomateriais no mercado; (ii) saúde e segurança, com foco em nanomateriais e nanopartículas; (iii) responsabilidade do fabricante quanto à composição, qualidade e condições de segurança dos produtos; (iv) proteção aos consumidores, com foco em produtos fabricados com nanomateriais e nanopartículas; (v) controle e preservação ambiental; e (vi) tratamento e descarte de resíduos.

Quadro 6.5 – Questões regulatórias referentes a nanomateriais em nível mundial

Campos da regulação	Questões regulatórias comuns
Regulação da produção e introdução de nanomateriais no mercado	Caracterização de riscos. Avaliação dos riscos. Gerenciamento dos riscos. Mecanismos legais vigentes relacionados ao campo.
Saúde e segurança, com foco em nanomateriais e nanopartículas	
Responsabilidade do fabricante quanto à composição, qualidade e condições de segurança dos produtos	
Proteção aos consumidores, com foco em produtos fabricados com nanomateriais e nanopartículas	
Controle e preservação ambiental	
Tratamento e descarte de resíduos	
Total	4 questões comuns a serem desdobradas para cada campo de regulação.

Fontes: ObservatoryNano, 2010 e Frater et al (2006).

Informações sobre o panorama mundial da regulação em nanomateriais encontram-se sintetizadas no capítulo 4 e detalhadas no relatório do ObservatoryNano, intitulado “*Developments in Nanotechnologies Regulation and Standards – 2010.*” (ObservatoryNano, 2010) e no estudo do Centre for Business Relationships Accountability Sustainability and Society, publicado pela Cardiff University em 2006, sob o título “*An overview of the framework of current regulation affecting the development and marketing of nanomaterials*” (Frater et al, 2006).

Como nos submódulos anteriores, recomenda-se a monitoração permanente das questões aqui abordadas, tendo em vista propostas futuras de revisão ou consolidação do marco regulatório referente a nanomateriais no país.

6.3

Diagnóstico da situação atual e identificação de desafios

Apresenta-se nesta seção o módulo que constitui a parte central do modelo analítico-prospectivo aqui proposto. A descrição, a seguir, contempla os seguintes itens: (i) objetivo da pesquisa *survey*; (ii) desenho do instrumento de pesquisa e conteúdos da investigação; (iii) abrangência da pesquisa; (iv) periodicidade; (v) unidade estatística e de análise; (vi) classificação das atividades relacionadas à nanotecnologia; (vii) método de coleta de informações; (viii) tratamento e análise das informações; e (ix) proposição de indicadores.

6.3.1.

Objetivo da pesquisa *survey*

A pesquisa *survey* proposta neste módulo tem por objetivo levantar informações sobre distintos aspectos das funções de metrologia, normalização e regulação junto a instituições e empresas brasileiras, que permitam gerar indicadores, com comparabilidade internacional, e *roadmaps* estratégicos para o contexto brasileiro.

Avaliar a situação de um país em relação à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais segundo uma visão sistêmica e integrada, como aqui proposto, constitui uma tarefa de caráter exploratório. Os trabalhos e estudos nesse sentido ainda são poucos na literatura internacional, como abordado no capítulo 4. A proposta da presente dissertação de fornecer um modelo analítico-prospectivo que avalie eficientemente no Brasil questões críticas relacionadas à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais de forma sistêmica e integrada é de fato pioneira.

6.3.2.

Desenho do instrumento de pesquisa

A tríade temática abordada nesta dissertação - metrologia, normalização e regulação de nanomateriais – abre um repertório de questões de amplitude significativa, porém para fins do desenho do instrumento definiram-se quatro seções e respectivas questões.

O instrumento é composto de quatro seções, como descrito abaixo:

- Seção 1 - Identificação: seção destinada à identificação do respondente, compreendendo questões sobre o tipo de organização a

que pertence e as atividades que a organiza desempenha relacionadas a nanotecnologias;

- Seção 2 – Metrologia: compreende questões referentes a técnicas de metrologia nanodimensional, nanoquímica, nanomecânica e técnicas de metrologia aplicadas a nanomateriais estruturados;
- Seção 3 – Normalização: contempla questões relativas a normas de terminologia e nomenclatura de nanotecnologia; nanomateriais; nanocompósitos; segurança, meio ambiente e saúde referentes a nanomateriais e nanopartículas; desempenho de insumos e produtos, com foco em nanomateriais e nanopartículas;
- Seção 4 – Regulação: refere-se às questões sobre regulação da produção e introdução de nanomateriais no mercado; saúde e segurança, com foco em nanomateriais e nanopartículas; à responsabilidade do fabricante quanto à composição, qualidade e condições de segurança dos produtos; à proteção aos consumidores, com foco em produtos fabricados com nanomateriais e nanopartículas; ao controle e preservação ambiental; e à regulação referente a tratamento e descarte de resíduos.

O instrumento de pesquisa, em seu formato final após o pré-teste, encontra-se no Anexo A-1. Para sua efetiva aplicação no futuro, realizou-se nos meses de julho e agosto de 2010 um pré-teste com 20 especialistas em nanomateriais, de forma intermitente e de acordo com a disponibilidade dos entrevistados. A aplicação do questionário foi virtual, isto é, os especialistas puderam preencher o questionário utilizando a internet e no total foram devolvidos 8 questionários preenchidos em um total de 20 questionários enviados. As respostas confirmaram a pertinência dos construtos e variáveis propostos.

O trabalho de coleta de dados na fase do pré-teste não foi mais extenso, devido às dificuldades de retorno e limitações de prazo. Houve um esforço adicional por parte da pesquisadora, que, através de contatos telefônicos, reforçava a importância da pesquisa e a valiosa contribuição que seria prestada pelo respondente ao enviar o questionário preenchido no prazo solicitado.

Apresenta-se no Quadro 6.6 a grade analítica completa, baseada na proposta conceitual apresentada no Quadro 6.1 e nos resultados do pré-teste. Compreende três dimensões, quinze construtos e quatorze variáveis.

Quadro 6.6 – Grade analítica e conteúdos de investigação da pesquisa *survey*

Dimensão	Construtos	Variáveis
Metrologia	Metrologia nanodimensional (20 técnicas metrológicas)	<ul style="list-style-type: none"> • Frequência de uso da técnica metrológica; • Campos de aplicação da técnica metrológica; • Importância da aplicação da técnica metrológica; • Estágio da infraestrutura nanometrológica no país em relação à técnica.
	Metrologia nanoquímica (31 técnicas metrológicas)	
	Metrologia nanomecânica (7 técnicas metrológicas)	
	Metrologia aplicadas a nanomateriais estruturados (8 técnicas metrológicas)	
Normalização	Terminologia e nomenclatura de nanotecnologia (6 normas)	<ul style="list-style-type: none"> • Importância da adoção da norma no Brasil; • Urgência de adoção da norma no Brasil; • Grau de participação do Brasil em iniciativas internacionais referentes à norma; • Campos de aplicação da norma.
	Nanomateriais, incluindo nanopartículas (8 normas)	
	Nanocompósitos (6 normas)	
	Segurança, meio ambiente e saúde referentes a nanomateriais e nanopartículas (7 normas)	
	Desempenho de insumos e produtos, com foco em nanomateriais e nanopartículas (5 normas)	
Regulação	Regulação da produção e introdução de nanomateriais no mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Estágio da caracterização de riscos no país; • Estágio da avaliação dos riscos no país; • Estágio do gerenciamento dos riscos no país; • Existência de mecanismos legais no país referentes ao construto; • Importância da regulação para o país; • Urgência da regulação no país.
	Saúde e segurança, com foco em nanomateriais e nanopartículas	
	Responsabilidade do fabricante quanto à composição, qualidade e condições de segurança dos produtos	
	Proteção aos consumidores, com foco em produtos fabricados com nanomateriais e nanopartículas	
	Controle e preservação ambiental	
	Tratamento e descarte de resíduos	

Fonte: Elaboração própria.

6.3.3. Abrangência da pesquisa

O instrumento proposto visa uma abrangência nacional, com potencial de aplicação nas principais instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento, como institutos de pesquisa federais, estaduais, municipais e privados, universidades e suas respectivas unidades tecnológicas, unidades do Inmetro relacionadas à nanometrologia, rede de laboratórios acreditados pelo Inmetro,

assim como todas as unidades de pesquisa e desenvolvimento das diversas empresas do país que produzem nanomateriais.

A título de ilustração, poderão ser consideradas para fins da construção da base cadastral de respondentes: (i) empresas registradas no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) do Ministério da Fazenda e que no cadastro do IBGE constam atividades relacionadas a nanotecnologia e a nanomateriais, em particular; (ii) instituições de especialistas ativos na área de nanomateriais e nanometrologia registrados no Portal Inovação criado e mantido pelo MCT; (iii) instituições dos grupos de pesquisa em nanomateriais, que integram o Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, criado e mantido pelo CNPq; e (iv) instituições e empresas dos especialistas ativos em atividades ligadas à nanotecnologia e nanomateriais, promovidas/financiadas por entidades públicas federais (MDIC, MCT, FINEP, ABDI, dentre outras).

6.3.4. Periodicidade da pesquisa

Pesquisas desta natureza são reflexos de um período temporal consistente, o que determina que a coleta dos dados e informações deva ser efetuada sistematicamente em intervalos pré-definidos entre os interessados primários, que em geral são os aplicadores do instrumento, de modo a garantir a maior representatividade das informações coletadas.

Recomenda-se uma periodicidade trienal, a exemplo da Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica 2003 (Pintec), realizada pelo IBGE.

6.3.5. Unidade estatística e de análise

A unidade de estatística e de análise a qual o instrumento de pesquisa se refere é a instituição ou a empresa com atuação em uma ou mais etapas do ciclo de inovação, produção e comercialização de nanomateriais, incluindo as funções de metrologia, normalização e regulação, como suporte às etapas mencionadas.

6.3.6. Classificação das atividades relacionadas à nanotecnologia

A classificação das atividades relacionadas à nanotecnologia a ser adotada para a obtenção das estimativas e para a divulgação dos resultados da pesquisa baseia-se na estrutura que foi utilizada na pesquisa *survey* no âmbito do Projeto NanoStrand da Comunidade Européia (NanoStrand, 2006, 2007). Essa estrutura compreende as seguintes atividades: (i) fabricação de nanomateriais; (ii) fabricação de produtos baseados em nanomateriais, incluindo nanopartículas; (iii) fabricação de nanocatalisadores; (iv) pesquisa e desenvolvimento de nanomateriais; (v) instrumentação para nanotecnologia e para nanomateriais, em particular; (vi) caracterização de nanomateriais e análises em nanoescala; e (vii) atividades relacionadas à normalização e regulação, como suporte ao ciclo de inovação, produção e comercialização de nanoprodutos e nanomateriais.

6.3.7. Método de coleta das informações

A primeira etapa consiste na identificação do respondente, profissional da instituição ou empresa capaz de apreender os conceitos de metrologia, normalização e regulação de nanomateriais e fornecer as informações requeridas, mediante respostas objetivas às questões formuladas no instrumento (Anexo A-1).

Uma vez identificado esse profissional, as entrevistas assistidas podem ser: (i) presenciais; (ii) por telefone; ou (iii) pela internet, disponibilizando-se o instrumento em sites específicos e de restrito acesso.

A coleta pode ser viabilizada ainda por outras modalidades presenciais, como por exemplo, a realização de workshops direcionados a grupos de empresas e instituições de um determinado segmento ou região; ou a distância, pelo uso de videoconferências e *skipe*, para citar dois exemplos.

Tal dinâmica de interação entre o instrumento, os respondentes e o aplicador do instrumento, caracteriza uma pesquisa *survey*. Segundo Freitas *et al* (2000), deve-se aplicar o método de pesquisa *survey* quando:

- deseja-se responder a questões do tipo “o quê?”, “por quê?”, “como?” e “quanto?”, ou seja, quando o foco de interesse é sobre “o que está acontecendo” ou “como e por que isso está acontecendo”;

- não se tem interesse ou não é possível controlar as variáveis dependentes e independentes;
- o ambiente natural é a melhor situação para estudar o fenômeno de interesse;
- o objeto ou fenômeno de interesse ocorre no presente ou no passado recente.

Em quaisquer dos tipos de coleta de informações, deverão ser utilizados sistemas inteligentes de entrada de dados, customizados para a pesquisa em foco, visando garantir a consistência mínima das informações solicitadas. Nas entrevistas presenciais, os entrevistadores deverão fazer uso de *notebooks* já configurados com o sistema de entrada de dados; as entrevistas por telefone deverão utilizar sistemas de entrevistas telefônicas assistidas por computador (*Computer Assisted Telephone interview - CATI*).

Para as entrevistas junto a empresas e instituições alvo da pesquisa, deverão ser utilizados sistemas inteligentes de entrada de dados, capazes de adaptarem o questionário eletrônico à realidade dos respondentes. Dessa forma, evita-se a apresentação de questões que não se apliquem àquela instituição ou empresas em particular. Esse tipo de sistema viabiliza entrevistas com tempo variável, de acordo com o tipo de atividade desenvolvida pela organização que está sendo objeto da entrevista. O tempo para responder pode variar de 35 a 60 minutos de acordo com as características da organização.

6.3.8. Tratamento e análise das informações

Visando garantir a qualidade das informações coletadas, deverão ser efetuadas três etapas de análise crítica das informações coletadas, a saber:

- primeira etapa: consiste na análise dos dados inseridos durante o preenchimento do questionário, que poderá apontar inconsistências e divergências internas e possibilitar que o entrevistador corrija possíveis enganos ou justifique as respostas nesses casos;
- segunda etapa: alguns questionários deverão ser selecionados para sofrer uma nova análise crítica, passando por uma revisão mais criteriosa e, caso necessário, as organizações entrevistadas poderão ser re-entrevistadas a fim de esclarecer dúvidas ou mesmo corrigir os erros anteriores;

- terceira etapa: essa última etapa consiste na análise crítica dos dados agregados.

A análise das informações deverá seguir a seqüência das seções que constituem o questionário – identificação; metrologia; normalização e regulação. Analisam-se as informações referentes às variáveis relacionadas a cada construto proposto nas seções referentes à metrologia; normalização e regulação, conforme grade analítica apresentada no Quadro 6.6. Contabilizam-se os resultados por construto. A integridade de “resposta *versus* variável” será respeitada, sempre que tal resposta seja consistente, ou seja, única e legível para cada pergunta.

Quando da aplicação do instrumento propriamente dita, a análise de informações deverá considerar uma análise estatística não paramétrica, usando modelos de equações estruturais (Skrondal; Rabe-Hesketh, 2003) e análise fatorial (Bibby, Mardia e Kent, 1980).

6.3.9. Proposição de indicadores

Uma vez realizada a aplicação do instrumento de pesquisa junto às empresas e às instituições da amostra e o tratamento e análise dos dados coletados como proposto na seção anterior, os resultados da pesquisa *survey* poderão ser traduzidos por meio de mecanismos de análise e interpretação mais sofisticados e utilizados comumente em ambientes de planejamento e consultoria empresarial.

Os indicadores são um exemplo desses mecanismos que auxiliam no alcance do propósito a ser alcançado. Eles permitem identificar e medir aspectos relacionados a um determinado conceito, fenômeno, problema ou resultado de uma intervenção na realidade (Figura 6.2).

A principal finalidade de um indicador é traduzir, de forma mensurável, determinado aspecto de uma realidade dada (situação social) ou construída (ação provocada), de maneira a tornar operacional a sua observação e avaliação.

Segundo Ferreira, Cassiolato e Gonzales (2009), “o indicador é uma medida, de ordem quantitativa ou qualitativa, dotada de significado particular e utilizada para organizar e captar as informações relevantes dos elementos que compõem o objeto da observação. É um recurso metodológico que informa empiricamente sobre a evolução do aspecto observado”.

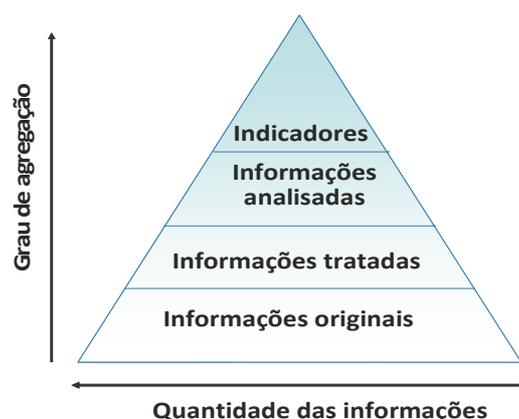


Figura 6.2: Proposição de indicadores em pesquisas do tipo *survey*

Fonte: Adaptação de BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010.

A proposição de indicadores é uma questão a ser julgada em conjunto com os atores principais da pesquisa proposta, pois sua amplitude deverá atender ao objetivo principal de aplicação do instrumento da pesquisa *survey* (Figura 6.2). Sendo assim, vale ressaltar que, para a presente proposta, os indicadores derivados deverão estar alinhados ao Programa Mobilizador em Nanotecnologia e a metas de revisão do marco regulatório referente à nanotecnologia.

6.4. Construção de *roadmaps* estratégicos

As incertezas e riscos associados às tecnologias emergentes e a complexidade da dinâmica industrial de nanomateriais imposta pelo paradigma techno-científico da nanotecnologia são algumas das questões que fazem com que os métodos tradicionais de pesquisa e de planejamento não se mostrem suficientes para os propósitos a que se destinam.

Não obstante a riqueza de informações obtidas em pesquisas do tipo *survey*, recomenda-se complementá-las com novas informações obtidas através do uso de ferramentas de prospecção, adotadas nesses casos como suporte à formulação de políticas públicas e à definição de estratégias de inovação e de negócios.

Dentre as ferramentas prospectivas aplicáveis ao estudo das trajetórias evolutivas da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no contexto brasileiro, destaca-se a construção de *roadmaps* estratégicos.

Os *roadmaps*, como será mostrado nas próximas seções deste capítulo, propiciam a antecipação das trajetórias de variáveis críticas de um determinado

sistema, ao longo de uma escala temporal, permitindo inclusive o reconhecimento eficiente de correlações entre os objetivos traçados, os recursos tecnológicos, as competências e mudanças requeridas nos respectivos ambientes. Tais particularidades da ferramenta possibilitam sua flexibilidade quanto à análise prospectiva dos temas centrais da presente dissertação, tanto no contexto institucional, quanto no empresarial.

Inicia-se esta seção, definindo-se os objetivos da construção de *roadmaps* estratégicos, para em seguida apresentar a ferramenta propriamente e exemplos reais construídos âmbito do projeto NanoStrand (2006). Esses exemplos constituem evidências quanto à definição criteriosa de metas de curto, médio e longo prazo e respectivos planos de ação para as questões críticas de metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no contexto europeu.

6.4.1. Objetivo da ferramenta

O objetivo da ferramenta de construção dos *roadmaps* estratégicos é desenvolver representações gráficas simplificadas que permitirão comunicar e compartilhar de forma eficaz as metas estratégicas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil, ao longo de uma escala temporal, tendo em vista a mobilização, o alinhamento e a coordenação de esforços dos grupos de interesse que deverão ser envolvidos na concretização de uma ou mais metas.

Em outras palavras, os *roadmaps* fornecerão um quadro para pensar o futuro, estruturar o direcionamento estratégico dessas três funções e definir os planos de ação vinculados aos subtemas de cada função. A título de ilustração, para a visão de futuro da metrologia de nanomateriais no Brasil deverão ser construídos quatro *roadmaps* estratégicos: (i) metrologia nanodimensional; (ii) metrologia nanoquímica; (iii) metrologia nanomecânica; e (iv) metrologia referente a materiais nanoestruturados.

Assim, de acordo com a grade analítica apresentada no Quadro 6.6, deverão ser construídos quatro *roadmaps* de metrologia, cinco de normalização e seis de regulação, totalizando quinze *roadmaps* no final de um ciclo, que poderão ser consubstanciados de forma sistêmica em um único *roadmap*.

6.4.2. Desenho genérico da ferramenta

O desenho genérico da ferramenta comporta dois esquemas distintos: o primeiro a ser aplicado no primeiro ciclo de construção de *roadmaps* (Figura 6.3) e o segundo proposto para a consolidação sistêmica dos *roadmaps* gerados no primeiro ciclo (Figura 6.4).

A Figura 6.3 representa o esquema genérico para a construção coletiva dos *roadmaps* estratégicos no primeiro ciclo de oficinas, como será descrito adiante no Item 6.4.4. No eixo horizontal, indicam-se as escalas temporais, associadas às metas de metrologia, normalização ou regulação. No eixo vertical, indicam-se os estágios ou fases das trajetórias de evolução, partindo-se da situação atual até se alcançar a(s) meta(s) proposta(s). No esquema genérico foram indicadas três fases, porém a ferramenta, pela sua flexibilidade, permite ajustes em função das necessidades e percepções dos grupos de interesse.

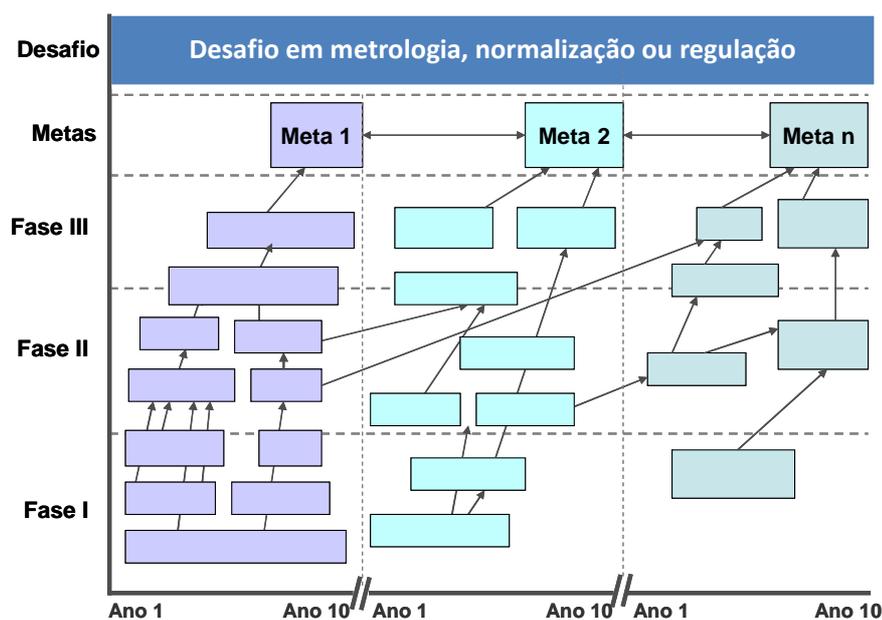


Figura 6.3 – Esquema genérico do *roadmap* estratégico para metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil: primeiro ciclo de construção

Fonte: Elaboração própria.

Na parte superior da Figura 6.3, visualiza-se um campo no qual deve ser enunciado o desafio metroológico, normativo ou regulatório de nanomateriais para o qual será desenhado o *roadmap* estratégico no contexto brasileiro. Esses desafios deverão ser levantados e analisados no segundo módulo do modelo e trazidos como insumos estratégicos para este módulo. Para cada construto,

deverá ser identificado um ou mais desafios principais e, para esses, serão contruídos os *roadmaps* estratégicos.

O desenho das trajetórias deverá ser conduzido em blocos, como mostrado na Figura 6.3, evidenciando-se as ligações entre os blocos associados a uma mesma meta ou entre blocos de metas distintas. A título de ilustração, no exemplo do *roadmap* estratégico de metrologia nanoquímica, mostrado na Figura 6.6, pode-se observar que vários blocos referentes à segunda meta (nanocamadas) integram trajetórias associadas às outras duas metas.

A Figura 6.4 representa o esquema genérico para a consolidação sistêmica dos *roadmaps* estratégicos gerados no primeiro ciclo de oficinas, como será descrito adiante no Item 6.4.4. No eixo horizontal, indica-se somente uma escala temporal: do ano 1 ao ano 10. No eixo vertical, indicam-se os estágios ou fases de evolução das trajetórias de evolução, como na Figura 6.3, partindo-se da situação atual até se alcançar a(s) meta(s) proposta(s).

Foram indicadas três fases, porém a ferramenta, pela sua flexibilidade, permite ajustes em função das necessidades e percepções dos grupos de interesse. A título de ilustração, no exemplo do *roadmap* estratégico de metrologia nanodimensional, mostrado na Figura 6.7, pode-se observar que foi incluído mais um estágio na parte superior do mapa, em relação ao mapa anterior da Figura 6.5, gerado no primeiro ciclo de oficinas.

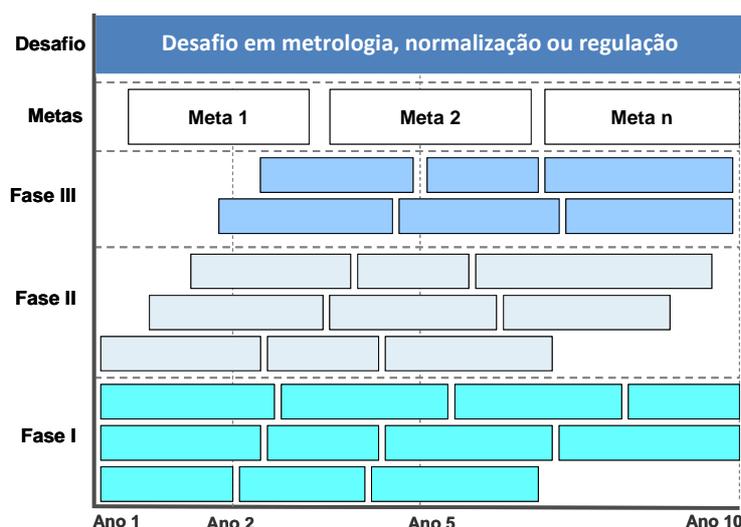


Figura 6.4 – Esquema genérico do *roadmap* estratégico para metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil: ciclo de consolidação sistêmica

Fonte: Elaboração própria.

Na seção 6.4.5, apresentam-se exemplos de *roadmaps* de metrologia e normalização de nanomateriais construídos no âmbito do Projeto NanoStrand da Comunidade Européia. As Figuras 6.5 e 6.6 mostram *roadmaps* do primeiro ciclo de oficinas e as Figuras 6.7 e 6.8 retratam resultados da consolidação sistêmica dos *roadmaps* de metrologia nanodimensional e de normalização de nanomateriais.

6.4.3. Horizontes temporais recomendados

Tendo-se como ponto de partida o quadro da situação atual e o levantamento dos principais desafios da metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no Brasil, obtidos através da aplicação do instrumento de pesquisa *survey*, recomenda-se para a construção dos *roadmaps* estratégicos horizontes temporais de pelo menos 10 anos. Nos exemplos do Projeto NanoStrand, os horizontes considerados foram de 12 anos.

6.4.4. Dinâmica da construção coletiva dos *roadmaps* estratégicos

A dinâmica adotada na construção de *roadmaps* tecnológicos (Phaal et al, 2004; Rinne, 2004; Lee e Park, 2005; Gindy et al, 2006) e *roadmaps* estratégicos (Kappel, 2001) compreende uma série de oficinas de trabalho com representantes dos mais diversos setores relacionados ao tema ou temas que serão objeto de construção dos respectivos *roadmaps*.

No caso da construção dos *roadmaps* estratégicos de metrologia, normalização e regulação de nanomateriais no contexto brasileiro, a dinâmica proposta compreende três ciclos de oficinas: (i) primeira oficina de trabalho de caráter geral para discussão e priorização dos desafios levantados na pesquisa *survey*; (ii) ciclo de oficinas específicas para cada dimensão: metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, visando a construção coletiva dos *roadmaps* propriamente ditos, conforme descrição nas Seções 6.4.1 e 6.4.2; (iii) última oficina de caráter geral, visando análise sistêmica dos *roadmaps*, comprometimento dos atores e avaliação dos riscos em relação à implementação das iniciativas propostas nos referidos planos.

Na primeira oficina de trabalho, os desafios selecionados deverão ser desdobrados em metas, como mostrado nas Figuras 6.2 e 6.3. Deverão participar dessa primeira oficina geral, representantes dos diversos grupos de

interesse comprometidos com o desenvolvimento responsável de nanomateriais no Brasil. Os resultados da primeira oficina constituirão insumos fundamentais para o ciclo seguinte de oficinas, como será proposto a seguir.

A partir dos resultados da primeira oficina, recomenda-se planejar um ciclo de oficinas para cada dimensão: metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, com a participação de atores envolvidos diretamente nas questões a serem avaliadas e prospectadas. Esse ciclo terá como objetivo construir os *roadmaps* propriamente ditos, conforme descrição nas Seções 6.4.1 e 6.4.2.

Recomenda-se uma última oficina de caráter geral, com os seguintes objetivos: (i) avaliar, segundo uma visão sistêmica, as interrelações entre metas e marcos de acompanhamento de *roadmaps* de dimensões distintas; e (ii) gerar os planos de ação, com comprometimento dos atores envolvidos; e (iii) realizar uma análise dos riscos em relação à implementação das iniciativas propostas nos referidos planos.

6.4.5.

A título de ilustração: *roadmaps* estratégicos no âmbito do Projeto NanoStrand

A título de ilustração, apresentam-se a seguir exemplos de *roadmaps* estratégicos desenvolvidos no âmbito do Projeto NanoStrand (2006, 2007). Os exemplos apresentados nas Figuras 6.5 a 6.8 foram extraídos de uma apresentação recente do coordenador geral do Projeto NanoStrand (2010).

As Figuras 6.5 e 6.6 retratam especificamente os resultados correspondentes à segunda etapa da dinâmica descrita no Item 6.4.4 e ao esquema genérico representado na Figura 6.3. São exemplos reais de mapas construídos para a função de nanometrologia, especificamente para os desafios europeus associados à metrologia nanoquímica e à metrologia nanodimensional.

Já as Figuras 6.7 e 6.8 refletem os esforços de consolidação dos resultados da segunda etapa em um formato sistêmico e tratam das funções metrologia (exemplo da metrologia nanodimensional) e normalização (exemplo voltado para nanomateriais).

Nas Figuras 6.5 e 6.6, as metas foram destacadas por cores distintas (amarelo, azul e verde) e as iniciativas propostas para a consecução de cada uma das metas foram apresentadas segundo o mesmo código de cores. Cabe observar que, no eixo horizontal destas figuras, se encontram três segmentos de

reta que repetem o mesmo horizonte temporal para cada conjunto de iniciativas associado a uma das metas. Como será visto nas próximas figuras, esses segmentos serão fundidos em um só.

Comparando-se os desenhos das Figuras 6.6 e 6.7, pode se observar que o desafio maior da metrologia nanodimensional “utilização em larga escala de dispositivos e componentes de funcionalidade avançada e de precisão” foi mantido em ambos os mapas, porém as metas foram reagrupadas e reescritas, bem como as representações das trajetórias das iniciativas. No primeiro caso, as trajetórias foram detalhadas por meta, em cores distintas, com a repetição da linha temporal em três segmentos do eixo horizontal. Já no segundo caso, as trajetórias e metas foram consolidadas e mostradas segundo uma única linha do tempo (eixo horizontal da Figura 6.7) e em novo formato. As cores no segundo caso foram usadas para diferenciar ações em relação aos estágios de desenvolvimento e não mais as metas em si.

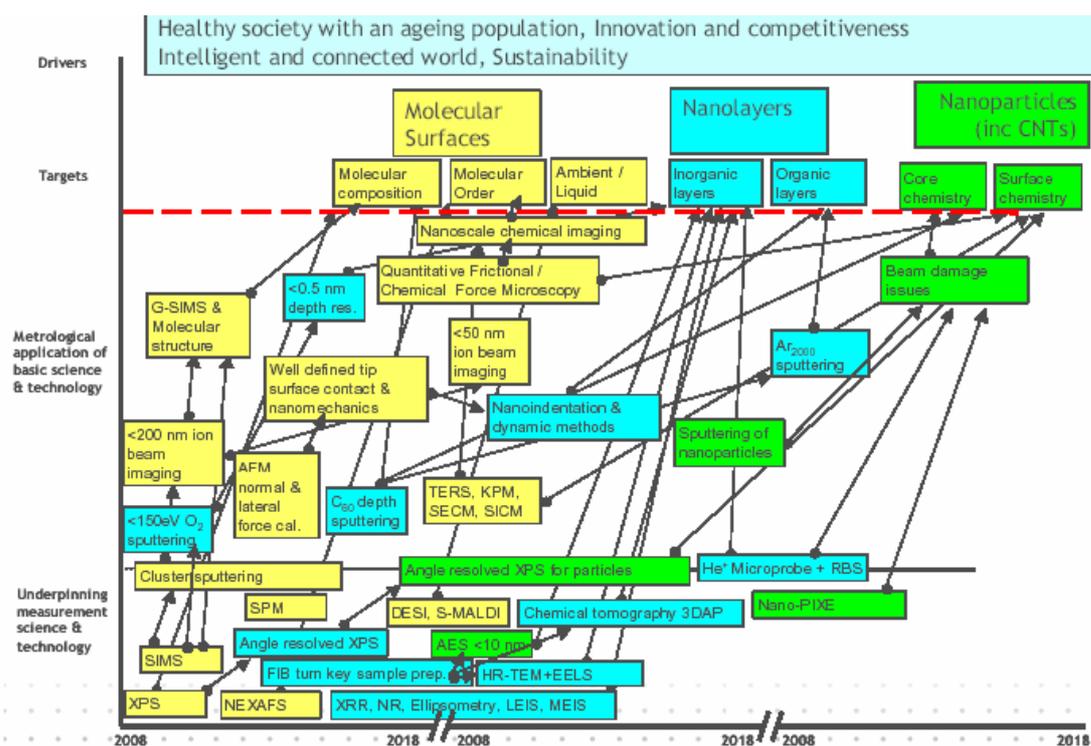


Figura 6.5 – Roadmap estratégico de metrologia nanoquímica: primeiro ciclo de construção

Fonte: Riviere, 2010

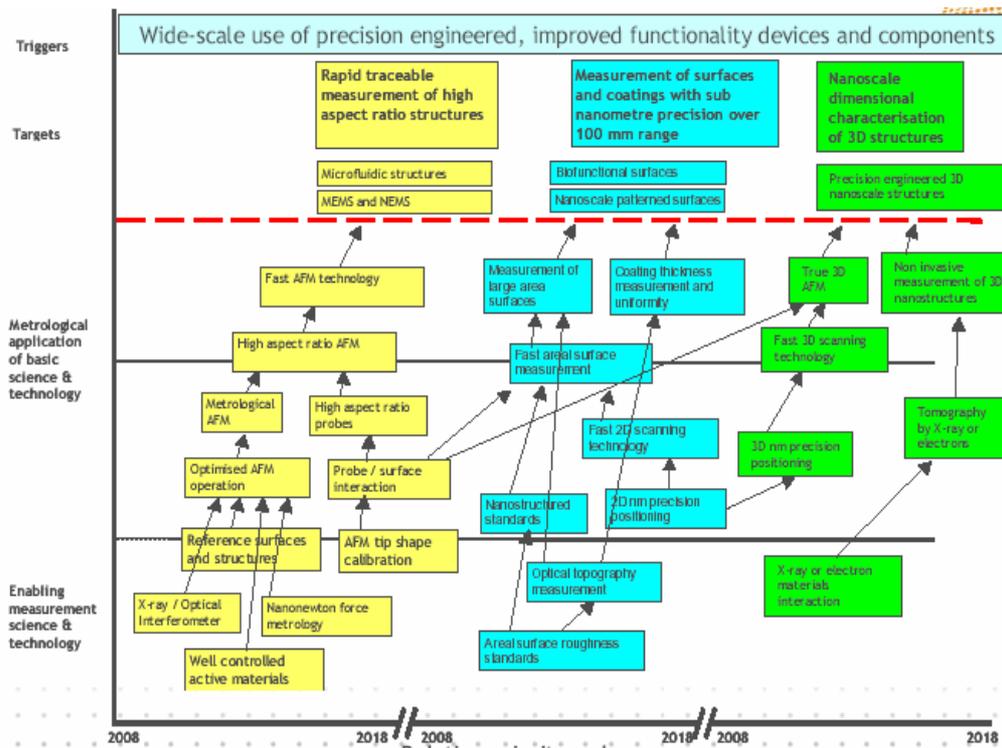


Figura 6.6 – Roadmap estratégico de metrologia nanodimensional: primeiro ciclo de construção

Fonte: Riviere, 2010.

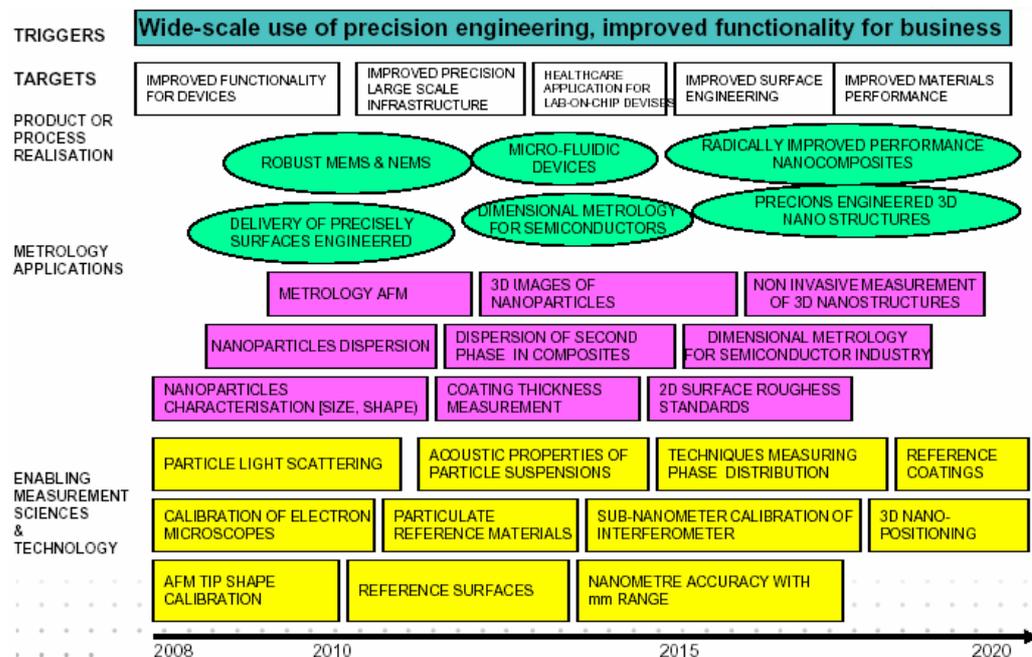


Figura 6.7 – Roadmap estratégico de metrologia nanodimensional: ciclo de consolidação sistêmica

Fonte: Riviere, 2010.

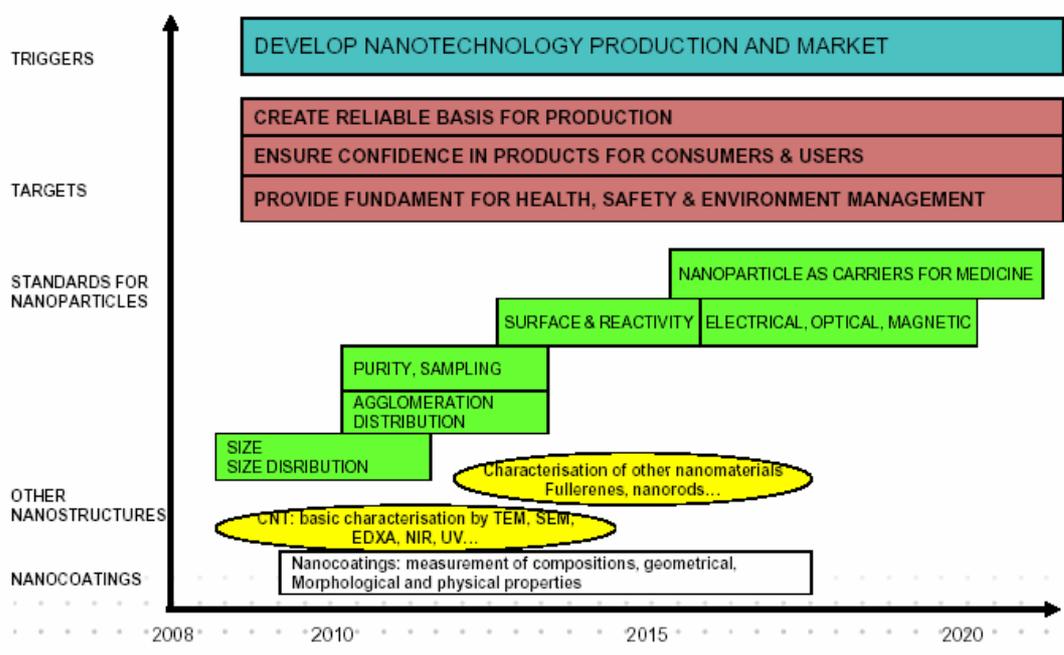


Figura 6.8 – *Roadmap* estratégico de normalização de nanomateriais: ciclo de consolidação sistêmica

Fonte: Riviere, 2010.

Outro ponto de destaque, ao se comparar as Figuras 6.5 e 6.7, refere-se aos descritores do eixo vertical, que correspondem aos estágios de desenvolvimento. Os estágios inferiores “esforços de C&T correspondentes à medição em nanoescala” e “aplicações de nanometrologia” são mantidos em sua essência em ambos os casos, porém um terceiro estágio - acima de “aplicações de nanometrologia” - foi criado no segundo caso (Figura 6.7) e focaliza produtos e processos beneficiados pela disponibilização de aplicações de nanometrologia já no curto prazo.

6.5 Considerações finais sobre o capítulo

Como já abordado em capítulos anteriores, em função da complexidade da dinâmica industrial de nanomateriais imposta pelo paradigma tecno-científico da nanotecnologia, evidenciam-se grandes incertezas com relação aos riscos inerentes aos produtos manipulados em escala nanométrica, uma vez que as propriedades físicas e químicas não se mantêm estáveis nessa escala.

Esse argumento reforça a necessidade de maior conhecimento sobre as alterações sofridas pelo material nanomanipulado, pois somente assim será possível um melhor e maior controle do comportamento dessas propriedades e, por conseguinte, o desenvolvimento, a produção, a formulação, a comercialização e o descarte de nanomateriais segundo uma visão sistêmica, responsável e prudente.

Com base nos referenciais internacionais apresentados no Quadro 6.1 e em iniciativas em curso no mundo, foi possível desenvolver um modelo conceitual robusto que integrasse as três funções – metrologia, normalização e regulação de nanomateriais. Para a operacionalização do modelo, propõe-se a aplicação de duas ferramentas de pesquisa: a primeira, pesquisa *survey*, voltada 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.

Acredita-se que a aplicação futura do instrumento de pesquisa *survey* possa demonstrar sua importância, como ferramenta para: (i) a identificação de pontos fortes, gargalos e desafios de desenvolvimento referentes às três funções; e (ii) a definição de metas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais, como desdobramento dos desafios identificados pela pesquisa *survey*, em um primeiro nível. O uso da ferramenta de construção de *roadmaps* estratégicos, por sua vez, evidenciará a importância desta ferramenta para: (iii) 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; (iv) a retroalimentação à Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), mediante definição ou revisão de metas referentes à metrologia, normalização e regulação de nanomateriais; e (v) a definição de estratégias de inovação e de negócios por parte das empresas brasileiras que atuam ou pretendem atuar no segmento de nanomateriais.

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.