



Educando a força de trabalho em nanotecnologia no Brasil: demandas da indústria e oferta das universidades

Waleska Camargo Laureth* e Noela Invernizzi

Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade Federal do Paraná, Rua Gal. Carneiro, 460, 80060-150, Ed. D. Pedro I, Curitiba, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: waleskalaureth@yahoo.com.br

RESUMO. A nanotecnologia é considerada área estratégica na política brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação. Tem sido fomentada desde 2001 e mais intensivamente a partir do Programa Nacional de Nanociência e Nanotecnologia, lançado em 2004. Desde 2009, o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia contempla um Grupo de Trabalho que vem analisando as necessidades de força de trabalho para o desenvolvimento da nanotecnologia no País. Neste trabalho, analisamos, de um lado, o perfil da força de trabalho em atividades envolvendo nanotecnologia e as demandas das empresas em termos de qualificação e, de outro lado, a oferta de profissionais treinados em três cursos de graduação em nanotecnologia no País. Com base em questionários aplicados a empresas de diferentes setores industriais que desenvolvem ou usam nanotecnologia e entrevistas com coordenadores dos cursos de nanotecnologia, identificamos uma forte ênfase na formação interdisciplinar. Atualmente, a maior parte dos trabalhadores atuantes nas empresas possui nível de pós-graduação e trabalham em pesquisa e desenvolvimento. Com relação à oferta de formação, a pesquisa mostra dois caminhos: um dos cursos oferece formação interdisciplinar geral em nanotecnologia, com contribuições da química, física, biologia e engenharia, e outros dois propõem uma especialização em nanotecnologia a partir de cursos em física e engenharia.

Palavras-chave: educação, tecnologia e sociedade, qualificação profissional, inovação tecnológica.

Educating nanotechnology workforce in Brazil: companies demands and university supply

ABSTRACT. Nanotechnology is considered a strategic area within the Brazilian Science, Technology and Innovation policy. It has been promoted since 2001, and more intensively since the launching in 2004 of the National Program for Nanoscience and Nanotechnology. Since 2009, the Nanotechnology Competitiveness Forum comprises a Working Group that has been analyzing the workforce needs for the development of nanotechnology in the country. The purpose of this paper is twofold. Firstly, we analyze the profile of the workforce employed in activities involving nanotechnology and the demands of companies in terms of qualification. Secondly, we examine the supply of trained professionals by three undergraduate nanotechnology courses in the country. Based on questionnaires completed by companies in different industries that develop or use nanotechnology and interviews with coordinators of the nanotechnology courses, we identified a strong emphasis on interdisciplinary training. We found that most of current nanotechnology workers have post-graduate level and work in R&D. With respect to the provision of training in nanotechnology, our research shows two paths: one course offers interdisciplinary training in nanotechnology generally, with contributions from chemistry, physics, biology and engineering, and two others propose a specialization in nanotechnology from courses in physics and engineering.

Keywords: education, technology and society, professional qualification, technological innovation.

Introdução

No Brasil, como em outros países, a inovação industrial vem sendo fortemente promovida pelas políticas de ciência, tecnologia e inovação com vistas a estimular o desenvolvimento competitivo das empresas e do país. A nanotecnologia constitui uma área estratégica nessas políticas. O incentivo a este campo científico-tecnológico teve início em 2000 com a organização do *workshop* 'Tendências em Nanociências e Nanotecnologias', promovido pelo

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no qual foram analisadas as capacidades científicas existentes e as necessidades para estimular a pesquisa na área. No ano seguinte, foram organizadas as primeiras quatro redes de pesquisa em nanociência e nanotecnologia. Em 2004, foi lançado o primeiro plano estratégico para a área, o Programa Nacional de Nanociência e Nanotecnologia, reforçado pelo Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) de 2005. Esses planos promoveram ações como: a criação de redes de

pesquisa que conectariam pesquisadores de diversas regiões do País; o equipamento de laboratórios existentes e a criação de novos grandes laboratórios multiusuários; a formação de recursos humanos qualificados; parcerias entre universidades, centros de pesquisa e empresas; a oferta de diversas modalidades de financiamento de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no setor produtivo; e a incubação de empresas de nanotecnologia (INVERNIZZI et al., 2012). Um dos pontos destacados pelo PNN foi a necessidade de desenvolvimento de recursos humanos para atuação em P&D, tanto em universidades e centros de pesquisa, quanto nas empresas. As universidades começaram a treinar pesquisadores nos níveis de mestrado e doutorado, ampliando rapidamente o contingente de pesquisadores nos últimos anos e, mais recentemente, foram criados três cursos de graduação na área de nanotecnologia. Em 2009, criou-se, sob a responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia, enquanto espaço consultivo de discussão e encaminhamentos das iniciativas em nanotecnologia no âmbito das políticas de desenvolvimento produtivo, que abriga um grupo de trabalho para discussões sobre recursos humanos (GT-RH).¹ Participam desse GT-RH pesquisadores, estudantes, professores, representantes da indústria e demais interessados no tema, criando um *mix* de informações sobre as expectativas de formação para os futuros profissionais da tecnologia de base nano.

O objetivo deste artigo é analisar o perfil de formação da força de trabalho que atua na área de nanotecnologia na indústria e as iniciativas das universidades para a formação da futura força de trabalho qualificada na área. Para isso, examinam-se as demandas das empresas e a oferta dos cursos de formação, assim como as estratégias até agora articuladas pelas empresas para contar com os quadros qualificados necessários para o desenvolvimento da nanotecnologia. O trabalho se baseia em dados coletados mediante questionários aplicados a 14 representantes de empresas e entrevistas com os coordenadores dos três cursos de graduação em nanotecnologia do País. Assim mesmo, foi realizada observação participante nas reuniões do GT-RH, um espaço que permitiu captar as principais questões em discussão por diversos atores, particularmente indústria, academia e

governo, quanto à formação de recursos humanos e como viabilizar o desenvolvimento industrial da área. A participação nesse espaço foi de fundamental importância para viabilizar o levantamento de informações junto ao setor empresarial, o que tinha resultado difícil em tentativas anteriores por meio do contato direto com empresas. É necessário ressaltar que a pesquisa realizada é de caráter exploratório, uma vez que não existem pesquisas prévias sobre o assunto no País e que o acesso aos dados primários tem resultado limitado, não tendo sido possível analisar uma amostra de empresas estatisticamente representativa das atividades em nanotecnologia em curso nas empresas brasileiras. Na primeira seção, examina-se o caráter interdisciplinar da nanotecnologia e suas implicações para a formação. Na segunda seção, apresenta-se um panorama do desenvolvimento industrial da nanotecnologia em nível mundial e no Brasil, e aponta-se a emergência de uma força de trabalho industrial na área. A partir dos resultados obtidos com a coleta dos questionários, na terceira seção examina-se o perfil da força de trabalho em nanotecnologia requerido pelas empresas brasileiras. Finalmente, na quarta seção, analisam-se as primeiras experiências de formação de graduados com especialização em nanotecnologia. O artigo conclui com breves considerações finais.

Nanotecnologia, interdisciplinaridade e educação

A literatura sobre formação em nanotecnologia enfatiza que se trata de uma tecnologia de base interdisciplinar, que exige uma educação que atenda esta sua especificidade. De acordo com Toma (2004), o caráter interdisciplinar da nanotecnologia decorre da base científica proveniente de vários campos disciplinares sobre os quais se apoia, e a partir da qual foram desenvolvidas técnicas específicas. Para isso, utilizam-se procedimentos como as microscopias de alta resolução e miniaturização, os procedimentos de autoarranjo e as sínteses químicas de nanopartículas. Estes procedimentos requerem uma base conceitual interdisciplinar, uma vez que a microscopia se origina na Física, os mecanismos de autoarranjo são explorados a partir de exemplos da Biologia, e os mecanismos de sínteses e funcionalização “[...] modificar uma molécula a fim de atribuir-lhe uma função vêm da Química” (TOMA, 2004, p. 14). Fonash (2001), referindo-se às necessidades de formação para nanofabricação, argumenta que a nanotecnologia demanda o entendimento dos princípios da Biologia, da Física e da Química, como também o domínio dos princípios do desenho, controle de processo e produto desenvolvidos pela

¹O Fórum é composto atualmente de quatro grupos de trabalho - Mercado, Marco Regulatório, Cooperação Internacional e Formação de Recursos Humanos - com a seguinte organização das reuniões: primeira parte com a abertura dos trabalhos e informativos, segunda parte para discussão simultânea dos grupos de trabalho organizada em salas diferentes; e na última parte da tarde, plenária aberta com apresentação das principais considerações de cada GT.

Engenharia. Estas ciências proveem os conceitos básicos para a nanofabricação, pois informam sobre as leis do mundo em nanoescala.

Esta base interdisciplinar tem sido também ressaltada como resultado da convergência de campos tecnológicos, o que frequentemente é referido como convergência tecnológica, ou tecnologias convergentes na nanoescala. De acordo com Bainbridge e Roco (2006), esse termo caracteriza a convergência de atividades nos campos da nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias da informação e ciências cognitivas – originando o acrônimo NBIC. Os autores enfatizam que esses campos estão experimentando um processo de crescente fusão, e ritmo acelerado, e ressaltam que se trata de um processo que não deve ser confundido com o ‘crescimento mundano’ de campos inter e multidisciplinares, como astrofísica, bioquímica ou psicologia social. A nova convergência é de natureza diferente, e gerará uma decisiva mudança na natureza da ciência e da tecnologia. Isto porque – argumentam – a convergência NBIC requer e resulta possível pelas capacidades radicalmente novas de entender e manipular a matéria em nanoescala desenvolvidas pela nanociência e a nanotecnologia. Assim, a integração tecnológica se baseia na unidade da natureza em nanoescala e no sistema de informação que cruza essas disciplinas e campos da ciência. Esse processo de interdisciplinaridade crescente coloca desafios para a formação de uma força de trabalho para lidar com o universo nanotecnológico. Argumenta-se que a educação pode deparar-se com uma mudança de paradigma na própria forma de fazer ciência e desenvolver tecnologia, resultado da convergência dos campos científico-tecnológicos. Isso exigiria um enfoque educacional interdisciplinar, não piramidal, conectado e integrado, capaz de captar diversas linguagens e técnicas, transcendendo as tradicionais divisões das disciplinas. Mais ainda, uma vez que no contexto atual já não é aceitável desenvolver ciência e tecnologia sem atender às implicações éticas e sociais, também a separação entre as ciências físico-naturais e as ciências sociais e as humanidades deveria ser superada (SING, 2007; LAKHTAKIA, 2006; BAIRD; VOGT, 2004; WHITESIDES, 2003).

Há questões em discussão que precisam ser mais bem investigadas. Embora haja certo acordo de que a educação deveria mudar significativamente, não está claro quando deveria começar esta mudança. Canton (2002) e Feather (2005) consideram que é necessário realizar uma mudança de enfoque e currículo desde a educação fundamental, enquanto Lakhtakia (2006) e McNeil et al. (2007) propõem mudanças a partir do ensino médio. Para Roco (2003), a educação deve

mudar desde as primeiras séries até a educação continuada. Outra questão em aberto é o modo como os currículos escolares deveriam traduzir a convergência científica partindo do predomínio atual dos enfoques disciplinares. A literatura revisada enfatiza a necessidade de desenvolver a capacidade de transitar entre disciplinas. As opiniões, no entanto, dividem-se entre uma formação sólida em alguma área científica, com capacidade de trânsito pelas outras áreas envolvidas na nanotecnologia (BATTERSON et al., 2003; ROCO, 2003), e a formação simultânea nas várias disciplinas que compõem o campo da nanotecnologia (FONASH, 2001; WHITESIDES, 2003).

No Brasil, quando da elaboração da primeira proposta para a criação do PNN em 2003 (SILVA, 2003), estimava-se necessário treinar entre 2.500 e 6.000 profissionais (pesquisadores, engenheiros e técnicos) competentes em nanotecnologia do nível médio ao pós-doutorado. Para isso, a proposta destacava a necessidade de conceber, desenvolver e implementar currículos inovadores em todos os níveis educacionais. Nesse momento, o Serviço Nacional da Indústria (Senai) foi uma das primeiras organizações a manifestar interesse no Programa de Nanociência e, segundo o documento, estavam definidas, já em 2003, estratégias para incorporar conceitos de nanotecnologia em seus programas de treinamento. Constava, ademais, que a instituição já estaria mapeando as necessidades de recursos humanos treinados em nanotecnologia nas indústrias do País. Mais recentemente, o Programa de Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, contido no Plano Plurianual do MCT 2004-2007, destacou a necessidade de contar com força de trabalho qualificada para atender a crescente demanda das indústrias. Embora o programa centrasse sua estratégia na formação de recursos humanos de alto nível, visualizou a necessidade de treinamento em nanotecnologia de técnicos de nível médio, uma vez que muitas atividades, como diagnóstico médico, análises químicas, procedimentos de fabricação, novas terapias, entre outras, virão a sofrer alterações profundas no curto prazo (MCT, 2003). Posteriormente, o Plano de Ação 2007-2010 do MCT reafirma a nanotecnologia como área estratégica e enfatiza a necessidade de inclusão da nanotecnologia em iniciativas formais e não formais de educação (citando explicitamente centros de treinamento de trabalhadores) e estabelece metas de formação de pessoal de nível técnico (MCT, 2007). A Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para os anos de 2012 a 2015 (MCTI, 2011) reafirma a política de governo de orientação

estratégica para o melhoramento do parque industrial e tecnológico brasileiro, bem como o incentivo à pesquisa, desenvolvimento e inovação. O desenvolvimento da pesquisa e inovação da área de nanotecnologia no Brasil orienta-se enquanto elemento facilitador da competitividade econômica do país frente ao mercado internacional. No entanto, ainda que seja considerado campo prioritário, uma estratégia de formação e/ou requalificação para o trabalho de alto nível tecnológico ainda não foi delineada mesmo com a criação recente do Comitê Interministerial de Nanotecnologia.

Desenvolvimento industrial da nanotecnologia e a emergente força de trabalho na área²

Os investimentos realizados mundialmente para o desenvolvimento da nanotecnologia têm criado expectativas sobre o retorno positivo em relação à inserção dos países no concorrido mercado mundial. A consultora *Lux Research* estimou que o mercado de produtos que incorporam nanotecnologia atingiria em torno de 2.5 trilhões de dólares em 2015 (HWANG; BRADLEY, 2010). As cifras alcançadas em 2009 – 229 bilhões de dólares – haviam multiplicado em quase oito vezes o valor atingido apenas quatro anos antes, em 2005 (PCAST, 2010). Globalmente, o número de empresas com atividades em nanotecnologia vem crescendo aceleradamente. Entre 1990 e 2008, 17.600 empresas de 87 países participaram em publicações ou registraram patentes em nanotecnologia (ROCO et al., 2010). Isso indica que um importante número de empresas está desenvolvendo nanotecnologia ou o fará no futuro próximo. Entre elas, encontram-se desde pequenas *start-ups* até grandes corporações, em indústrias de alta tecnologia e em indústrias mais maduras e tradicionais (BUSINESS WEEK, 2005; HULLMAN, 2006; CIENTIFICA, 2008; YOUTIE et al., 2009). A *Nanowerk* (2012) reporta 2.272 empresas de 51 países realizando pesquisa, manufatura ou aplicações de nanotecnologia, enquanto Helmut Kaiser Consultancy (2007) contabilizou 1.600 empresas de nanotecnologia no mundo. Segundo Palmberge et al. (2009), esses inventários internacionais subestimam o número de empresas fora dos países mais industrializados, uma vez que os inventários de empresas nacionais realizados em vários países indicam muitas mais empresas das ali reportadas.

No Brasil, Invernizzi (2012) reportou, segundo levantamento realizado até março de 2010, 155 empresas que desenvolviam ou usavam nanotecnologia. Essas empresas estavam distribuídas

em uma ampla variedade de setores industriais e ao longo das cadeias produtivas. Segundo as Sondagens de Inovação nos anos de 2010-2011, com amostra de empresas brasileiras com 500 ou mais pessoas ocupadas, aproximadamente 4,6% (ABDI, 2010) e 5,8% (ABDI, 2011) das empresas consultadas utilizavam nanotecnologia em algum produto nos respectivos anos. As empresas que informaram o uso de nanotecnologia em produtos e processos nos anos de 2010-2011 relacionam-se à produção de têxteis, artigos de vestuário e acessórios, produtos químicos, alimentos, metalurgia, fabricação de produtos de metal (com exceção de máquinas e equipamentos) e fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias (ABDI, 2010, 2011). Ainda que a amostra se delimite a um curto espaço de tempo, os dados de investimento indicam que a indústria brasileira encontra-se em fases iniciais de utilização da nanotecnologia em produtos e processos, segundo a ABDI.

A expansão das empresas que incorporam a nanotecnologia a seus negócios permite inferir que está começando a surgir uma incipiente força de trabalho industrial voltada para esta área emergente. Contudo, os dados disponíveis são muito escassos. No início da década passada, Roco projetou que, por volta de 2015, a nanotecnologia criaria dois milhões de empregos em todo o mundo (ROCO, 2001). Uma estimativa mais recente aponta para um montante de seis milhões de trabalhadores em todo o mundo em 2020, sendo dois milhões nos EUA (ROCO et al., 2010). Para além dessas estimativas, dados sobre a demanda e atual uso da mão de obra são incertos, pois não existem estatísticas que captem especificamente a força de trabalho que atua em nanotecnologia. Alguns dados indiretos sugerem que nos Estados Unidos, em 2010, havia, entre pesquisadores e trabalhadores, 160.000 empregos em nanotecnologia (ROCO et al., 2010). Na Alemanha, 860 empresas com atividades em nanotecnologia empregavam 63.000 trabalhadores em 2008 e projetava-se então uma demanda de 43.200 novos trabalhadores até 2013 (BMBF, 2009).

Apesar do tamanho reduzido do atual mercado de trabalho em nanotecnologia, alguns estudos mostram que empresas em vários países estão preocupadas com a possibilidade de escassez de pessoal qualificado na área. A partir de entrevistas com 26 empresas dos EUA, Lux Research (2007) reportou que 60% delas consideravam que enfrentariam falta de 'talentos em nanotecnologia'. Também nos EUA, um reporte preparado para o Departamento de Comércio (McNEIL et al., 2007) indicou que o país depende de força de trabalho qualificada estrangeira, e que esta tem retornado aos

²Esta seção baseia-se em Invernizzi (2011).

seus países de origem. O reporte também destacou a possível escassez de força de trabalho de nível técnico e recém-graduado nos EUA. Na União Europeia, o temor de não contar com suficientes quadros qualificados parece ainda mais intenso. Em 2004, 44% dos 733 respondentes à Consulta Aberta sobre a Estratégia Europeia para Nanotecnologia indicaram que esperavam escassez de pessoal treinado em nanotecnologia nos próximos cinco anos, e outros 24% nos próximos cinco a dez anos. A consulta evidenciou que tal situação era vista como a maior dificuldade para as pequenas e médias empresas e *start-ups* em nanotecnologia (MALSCH, 2004). O *survey* Qualificação e Treinamento para Nanotecnologia, conduzido no Reino Unido (SING, 2007) mostrou que metade das instituições de pesquisa, empresas e instituições de formação consultadas reportaram problemas com o recrutamento de recursos humanos, sendo especialmente severos no caso dos técnicos. O *survey* levantado por *Spinverse* em 2006 na Finlândia (PALMBERG, et al., 2009) encontrou que 44% das 93 empresas estudadas consideravam difícil ou muito difícil recrutar pessoal qualificado em nanotecnologia. Enfim, em torno de um terço das 107 empresas entrevistadas pelo *VDI Technology Centre* na Alemanha, em 2003, considerou a falta de pessoal qualificado como uma possível barreira para o desenvolvimento da nanotecnologia (LUTHER, 2007).

Até o momento, são poucos os estudos que proporcionam informação sobre alocação de pessoal entre diferentes atividades em nanotecnologia nas empresas. Pesquisas desenvolvidas na Alemanha, no Reino Unido e nos Estados Unidos convergem em evidenciar um momento de transição em que as demandas de força de trabalho em nanotecnologia não apenas provêm dos laboratórios de P&D, mas também de um conjunto amplo de atividades nos processos produtivos e suas atividades relacionadas.

Alguns estudos pioneiros foram realizados na Alemanha para analisar as atividades e qualificação envolvida em empregos em nanotecnologia. Henn (2004 apud STOA, 2007) entrevistou 42 empresas de nanotecnologia e encontrou que, independentemente do seu tamanho, todas projetavam um aumento da demanda entre 2004 e 2007, de cientistas, de engenheiros e de trabalhadores qualificados. Com base em fontes secundárias e investigações prévias envolvendo 151 funcionários de 132 estabelecimentos, Abicht et al., (2006) identificaram novas demandas emergentes em nanotecnologia, envolvendo, ademais de P&D, atividades na manufatura, controle de qualidade, documentação, *marketing* e distribuição. No Reino

Unido, avaliaram-se as qualificações necessárias para a manufatura avançada (SEMPA, 2009). Os resultados mostraram que o potencial industrial da nanotecnologia ainda não deslançou e que as demandas atuais se concentram em P&D, questões de propriedade intelectual e desenvolvimento de novos produtos. Todavia, na medida em que a manufatura de nanomateriais cresce, tende a aumentar a demanda de técnicos altamente qualificados, capazes de operar equipamentos complexos. De forma similar, o *survey* realizado por Sing (2007) reportou que a maior demanda no mercado de trabalho em nanotecnologia está concentrada — tanto na indústria como nas instituições de pesquisa — em graduados e pós-graduados para pesquisa e desenvolvimento de produtos, havendo, ainda, um aumento na demanda por técnicos qualificados. Atualmente o site *Nanowerk* possui uma seção com ofertas de emprego em nanotecnologia e os postos disponíveis em sua maioria querem alto nível de treinamento para empregos como: pesquisador sênior, doutorandos e pós-doutores (NANOWERK, 2012). Outras ocupações com crescente demanda correspondem a pessoal com treinamento universitário de dois anos, tais como representantes de vendas, postos de trabalho na manufatura e técnicos com diversas especialidades. Uma avaliação mais recente do Departamento de Trabalho norte-americano, na *Occupational Information Network* (ONET, 2010) sugere a emergência de novas ocupações específicas na área de nanotecnologia, tais como Engenharia em Nanotecnologia e Engenharia em Nanosistemas, assim como a continuidade de uma demanda ampliada de qualificações em nanotecnologia embutidas em variadas ocupações já existentes. Um estudo realizado em 2005, baseado em entrevistas com 240 empresas de nano e microtecnologias na Califórnia, mostrou que, além de cientistas e engenheiros, as empresas estão demandando técnicos e trabalhadores manufatureiros (GODBE RESEARCH, 2006). O *survey* de Lux Research (2007) em 27 empresas indicou que as mesmas tenderiam a reduzir a proporção de cientistas em sua força de trabalho, e aumentar a participação de engenheiros e pessoal de *marketing* e vendas, acompanhando a expansão da manufatura de materiais e produtos com nanotecnologia. Van Horn e Fichtner (2008) entrevistaram mais de 50 pessoas que trabalhavam em empresas e instituições de pesquisa em nanotecnologia nas cidades de Phoenix e Tucson, Arizona. A maior parte das empresas declarou que pensam em aumentar a contratação de força de trabalho em nanotecnologia. Metade dos entrevistados afirmou que o uso da nanotecnologia

ia mudar as qualificações dos seus trabalhadores de forma moderada ou profunda nos próximos anos. Em outro estudo, Van Horn et al., (2009) analisaram duas grandes empresas farmacêuticas. Nelas, embora o número de empregos afetados pela nanotecnologia ainda fosse reduzido, foi avaliado que a introdução da nanotecnologia modificaria as qualificações requeridas em diversos cargos, incluindo P&D, manufatura, pessoal de *marketing*, assessoria legal, e também os cargos executivos.

No seu conjunto, esses estudos sugerem que a maioria da força de trabalho atualmente empregada em nanotecnologia compõe-se de cientistas e engenheiros altamente qualificados, o que é consistente com o estágio inicial de desenvolvimento industrial desta tecnologia. Todavia, também fornecem evidência de que, na medida em que se expandem a produção e a comercialização de produtos que incorporam nanotecnologia, a demanda por trabalhadores qualificados para diversos postos na manufatura, controle de qualidade, vendas e outras funções está emergindo.

Perfil da força de trabalho em nanotecnologia no Brasil

Nesta pesquisa, buscamos compreender quais são as competências requeridas para trabalhar com nanotecnologia no estágio atual de P&D, manufatura e comercialização de produtos que incorporam nanotecnologia na indústria brasileira. No Brasil, de forma semelhante a outros países, pesquisadores, governo e empresariado têm considerado que uma atrofia no mercado de força de trabalho qualificada pode significar um gargalo significativo no desenvolvimento da nanotecnologia, já que a nanotecnologia é uma área de novíssima aplicação na indústria e os perfis de qualificação necessários para atuar nela ainda não estão sedimentados. Assim sendo, buscamos informações que nos permitissem traçar um perfil profissional da força laboral que atua em nanotecnologia nas empresas brasileiras, identificando as áreas do conhecimento consideradas relevantes nos requisitos de formação; as competências profissionais e comportamentais valorizadas; e o tipo de experiência profissional prévia que caracteriza este contingente particular da força de trabalho. Os dados analisados neste artigo provêm de 14 questionários levantados junto a representantes de diversas empresas que participaram do *workshop* 'Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios' realizado no Senai Maria Amato – São Bernardo do Campo, em outubro de 2011. As empresas atuam nos seguintes ramos de atividade: Indústria Química (químicos para uso industrial); Gás e Petróleo; Saúde (produtos médico-hospitalares); Indústria Têxtil;

Indústria Eletrônica; Energia; Agronegócio; Cosméticos e Indústria Farmacêutica. Além disso, três questionários foram aplicados, via *e-mail*, aos coordenadores dos cursos de graduação na área de nanotecnologia no Brasil.

Uma breve caracterização das atividades das empresas investigadas mostra que praticamente todas elas (13) planejam expandir tais atividades, e 100% delas indicaram que possuem planos de ampliar o quadro de funcionários em atividades envolvendo nanotecnologia. Entretanto, as empresas também assinalaram que enfrentam alguns obstáculos para concretizar tal expansão, sendo os principais o alto custo da P&D (11), as vantagens da nanotecnologia menores que as esperadas (6), a falta de pessoal qualificado (4) e a ausência de laboratórios nacionais (4) as mais apontadas. Na maior parte das empresas consultadas, o desenvolvimento da nanotecnologia encontra-se ainda na fase de P&D. As empresas não explicitaram que produtos estão desenvolvendo, talvez por considerarem que o sigilo industrial é fundamental para o sucesso do negócio. Outro motivo para não revelar essa informação foi mencionado durante o *workshop*: trata-se da incerteza quanto à regulamentação dos produtos e processos de base nano, pois não existem protocolos que indiquem parâmetros seguros de manipulação e consumo de materiais em nanoescala.

Em relação às atividades em nanotecnologia desempenhadas pelos trabalhadores nas empresas, 63% deles estão concentrados na área de P&D. Nessa área, praticamente metade dos trabalhadores (46%) tem nível de doutorado, 20% são mestres e 16,5% técnicos. Segue em concentração de trabalhadores o processo de fabricação, com 21% das indicações das empresas consultadas. A quantidade de profissionais alocada nos setores de fabricação e comercialização é pequena, quando comparadas às atividades de P&D. Somados doutores e mestres, estes compõem mais da metade (58%) do total de trabalhadores envolvidos em atividades com nanotecnologia nas empresas entrevistadas, o que denota um quadro com alto nível educacional. Técnicos e graduados aparecem em menor quantidade de indicações, mais ainda assim estão presentes dentro do grupo entrevistado. Já a formação dos trabalhadores, segundo as áreas do conhecimento, independente das atividades realizadas na empresa, concentram-se, com 43%, em Química, 24% nas Engenharias, 9,5% em Física, 7% com formação em Biologia e 16,5% em outras áreas do conhecimento não especificadas.

Em se tratando da experiência profissional prévia para atuar na área, majoritariamente as empresas (10)

indicam que esta ocorreu no âmbito da academia e centros de pesquisa. Esta situação difere do apontado por alguns estudos nos EUA, que notam mais ênfase no aproveitamento da experiência prévia dos funcionários da empresa, acrescida de treinamento *on the job* para atuar na área de nanotecnologia. As empresas estariam se utilizando da contratação de pessoas com pouca experiência e preparação na própria empresa através do trabalho em equipe e orientação de um cientista *sênior*, como forma de preparação de trabalhadores qualificados para atuar em nanotecnologia (VAN HORN; FICHTNER, 2008; VAN HORN et al., 2009). Esse papel parece ser mais frequentemente cumprido pela academia no Brasil. Contudo, é necessário levar em conta que as aplicações da nanotecnologia são muito variadas, abrangendo muitos setores industriais, e que há firmas que agregam nanotecnologia a seus negócios, enquanto outras são empresas dedicadas de nanotecnologia que, muito frequentemente, são novas *spin-offs*. É possível que nos diversos casos a demanda de experiência prévia varie, uma questão a ser mais bem investigada.

Sobre as necessidades de formação e as competências necessárias para trabalhar em nanotecnologia, as empresas assinalam a importância da articulação com o segmento industrial no qual estão inseridas. O profissional deveria possuir conhecimentos específicos da cadeia produtiva e ser capaz de fazer a conexão com as possíveis aplicações que a nanotecnologia trará ao setor. Pela variedade de segmentos produtivos que compõem a amostra, as empresas destacaram vários aspectos relacionados aos conteúdos de domínio do trabalhador mais especificamente vinculados aos seus setores produtivos. No entanto, a necessidade de conhecimento multidisciplinar e a visão sistêmica para facilitar a interação entre as áreas do conhecimento foram destacadas como elementos fundamentais para atuação em processos que envolvam a nanotecnologia. A organização do trabalho segue o raciocínio da multidisciplinaridade, uma vez que a composição das equipes, segundo as empresas, agregaria profissionais de diferentes áreas. Nas empresas consultadas, os profissionais da Química, da Física e das Engenharias aparecem como os elementos centrais para a composição das equipes de trabalho. Em suma, as empresas tendem a atender ao caráter interdisciplinar da nanotecnologia compondo equipes multidisciplinares com foco no setor produtivo específico. A capacidade de diálogo com outros campos científicos parece ser característica importante para a composição de equipes de trabalho que desenvolvem produtos e processos calcados na escala nano. Para viabilizar tais

interações, competências que agregam atributos pessoais e trajetórias de formação, como capacidade de transitar bem em várias áreas do conhecimento e capacidade de trabalhar em equipe complementam o quadro de competências para os profissionais da área. Assim, os entrevistados indicam a formação multidisciplinar como competência importante com 86% das respostas, seguida da capacidade de trabalhar em equipe com 71% das indicações, a capacidade de transitar bem em várias áreas do conhecimento, indicada por 64%, os estudos de pós-graduação em área científica específica, com 50%, e especialização em nanotecnologia com 43% do total de indicações dos entrevistados. Nossos resultados convergem com Miles (2010) que indica que enquanto a comunidade acadêmica enfatiza a base interdisciplinar geral, o setor industrial tem buscado construir conhecimento interdisciplinar específico para aplicações nos diversos setores industriais. Argumento semelhante é enfatizado pelos estudos realizados na Alemanha, os quais projetam um cenário em que as qualificações em nanotecnologia vão variar conforme o setor de aplicação (ABICHT, 2006; SCHUMANN, 2009).

As primeiras experiências de formação universitária em nanotecnologia no Brasil

A oferta educacional na área de nanotecnologia tem se localizado nas universidades e centros de pesquisa, principalmente no nível superior. Durante a observação participante no GT-RH do Fórum de Competitividade pôde-se constatar, pelos depoimentos dos participantes de instituições de ensino, que a oferta de cursos para o nível técnico e formação continuada são iniciativas pontuais, muitas vezes por demanda das empresas, sem se caracterizar como uma oferta contínua de cursos.

Atualmente, o Brasil possui três cursos de graduação destinados a formar graduados para atuar na área de nanotecnologia: Bacharelado em Nanotecnologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Bacharelado em Física: Materiais e Nanotecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Engenharia em Nanotecnologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). Os cursos foram implantados em 2009 (UFRJ), 2010 (UFRGS) e 2011 (PUC-RJ). Durante o ano de 2011 e início de 2012, foram contatados os coordenadores dos referidos cursos de graduação para averiguar a possibilidade de resposta ao questionário destinado a conhecer o perfil dos cursos de graduação em Nanotecnologia no Brasil. Os questionários semiestruturados foram respondidos pelos coordenadores dos cursos mencionados, através de

e-mail. Foi nosso objetivo indagar sobre a intenção que motivou a criação dos cursos, o perfil do egresso e a organização curricular.

O processo de planejamento dos cursos se deu de maneira diferenciada nas três universidades. Na PUC-RJ, o coordenador indica que em 2003 iniciou-se o planejamento do curso tendo como indicador as perspectivas de desenvolvimento da nanotecnologia associado às competências internas da própria PUC para desenvolver tal curso. Associado a esses fatores, o coordenador assinalou que seria inviável pensar no desenvolvimento de uma tecnologia sem engenheiros. Dessa forma, o curso procura oferecer um novo campo de Engenharia, numa área considerada pela política industrial brasileira como portadora de futuro, e com desenvolvimento mais adiantado nos países desenvolvidos. Ainda sobre a implantação do curso, que ocorreu em 2011, o coordenador informou que enfrentaram ceticismo sobre a existência de interessados no curso, rejeição por atores acadêmicos mais conservadores e argumentos de que o curso geraria acréscimo de custos para a universidade. No curso de Bacharelado em Nanotecnologia da UFRJ, os professores de diferentes áreas do conhecimento – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biofísica, Escola de Química e Escola Politécnica – se reuniram no ano de 2007 para discutir a implantação de um curso que fornecesse aos alunos uma formação multidisciplinar, segundo a coordenadora. Junto a isto, a criação do curso vinculou-se ao convênio entre a UFRJ e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), que visou à criação de um novo *campus* nas proximidades do centro de pesquisas do INMETRO. Ainda sobre o processo de planejamento dos cursos, no curso de Bacharelado em Física da UFRGS as discussões se deram no ano de 2008, a partir do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI). O curso de Bacharelado em Física, que ofertava anualmente 100 vagas, passou a ofertar 80 vagas em quatro cursos de Física com ênfases diferenciadas: Astrofísica, Física Computacional, Pesquisa Básica e Materiais e Nanotecnologia, além de 30 vagas para o novo curso de Engenharia Física. O novo curso visou, segundo a coordenadora, atrair uma parcela diferenciada de futuros estudantes do curso de Física, motivados por temas como nanotecnologia e astrofísica. Assim, a criação de cada curso, além de responder a razões diferenciadas, também evidencia pontos de partida diferentes quanto à formação em nanotecnologia. Na PUC-RJ, a intenção principal foi ampliar a atuação dos engenheiros em uma nova área da

tecnologia. A principal preocupação na UFRJ foi criar um curso que garantisse a formação multidisciplinar unindo conhecimentos de diversos campos científicos para a formação em nanotecnologia. Na UFRGS, a criação de um curso com habilitação em Materiais e Nanotecnologia partiu da concepção de formar na área base de Física e dar ao aluno uma especialização em Nanotecnologia.

Essas concepções diferentes se materializam em organizações curriculares específicas. Na PUC-RJ, o curso não busca a especialização em uma área específica da nanotecnologia devido ao tempo de totalização dos créditos do curso. As disciplinas estão organizadas em um ciclo básico semelhante às demais áreas da Engenharia, e a primeira disciplina obrigatória diretamente relacionada à nanotecnologia (Introdução à Nanotecnologia) é ofertada no 4º período do curso. No 6º período, o curso prevê a disciplina obrigatória de ‘Caracterização de Nanomateriais’, seguida no 7º período pelas também obrigatórias ‘Laboratório de Caracterização de Nanomateriais e Síntese de Nanomateriais’. O ciclo básico da Engenharia é articulado ao conteúdo interdisciplinar nas áreas de Física, Química, Materiais, Biologia, Computação e Matemática, segundo o coordenador.

No curso de Bacharelado em Nanotecnologia, o currículo está organizado em torno do aporte de conhecimento das grandes áreas das ciências físico-naturais para entender a escala nano. A interdisciplinaridade ampla, desde a base da formação, é o componente norteador da organização curricular. Como explicou a coordenadora da UFRJ, a finalidade do curso é uma formação com base em Física, Matemática, Química e Biologia associada a conhecimentos específicos da área de nanotecnologia, prosseguidos de três ênfases no ciclo profissional: Física, Materiais e Bionanotecnologia. O currículo está organizado em um núcleo comum, chamado núcleo básico, composto pelas disciplinas de Matemática, Física, Química e Biologia, com duração aproximada de dois anos, durante os quais os alunos cursam disciplinas em cursos já existentes de Física, Engenharia de Materiais e Biofísica, com intenção de facilitar o trânsito dos estudantes destes cursos e o curso de Nanotecnologia. A disciplina de ‘Introdução à Nanotecnologia’ é ofertada no 1º período do curso. No ciclo profissional, ocorre o direcionamento para áreas diferenciadas na nanotecnologia. Cada tema ênfase do ciclo profissional possui seu próprio conjunto de disciplinas obrigatórias, associadas a disciplinas eletivas e disciplinas complementares de livre escolha. Esta especialização foi vista como meio para

ofertar ao aluno oportunidades atrativas no mercado de trabalho e, se desejar, ingressar na pesquisa de pós-graduação. A formação é complementada com a disciplina 'Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia' (IPN), desenvolvida do 4º ao 8º período do curso, em que o estudante realiza estágio de iniciação científica em laboratórios ou grupos de pesquisa consorciados ao curso. Em cada semestre constituinte da IPN os alunos se organizam em grupos diferentes e devem realizar o estágio em cada uma das áreas de Física, Química, Materiais e Bionanotecnologia, em que eles têm acesso aos fundamentos teóricos e os aspectos práticos de técnicas diferenciadas.

Na UFRGS, o foco se direciona para gerar um conhecimento sólido na área da Física, mantendo interlocução com outras áreas científicas, com foco nas propriedades dos materiais na escala nano e nas técnicas analíticas para caracterização destas propriedades. A coordenadora do curso sinaliza que um curso generalista não faria sentido, uma vez que em última análise um cientista é especialista em uma área do conhecimento e assim também aqueles que se dedicam à Nanociência. O currículo do curso da UFRGS parte da estrutura do curso de Física direcionando seu foco para as propriedades dos materiais em nanoescala e, assim como a UFRJ, busca complementar a formação com disciplinas técnico-analíticas para caracterizar a baixa dimensionalidade dos sistemas na escala nano. No 8º e 9º semestres do curso, o aluno que optou pela habilitação em Materiais e Nanotecnologia cursa a disciplina de 'Fabricação e caracterização de nanoestruturas I e II' que têm como pré-requisitos as disciplinas de 'Mecânica Quântica e Física de sistemas de baixa dimensionalidade', respectivamente cursadas no 6º e 7º semestres. Não há obrigatoriedade de atividades práticas no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), mas elas podem ser feitas caso o aluno tenha interesse. A coordenadora do curso indica que o contexto do Rio Grande do Sul não oferta muitas possibilidades da realização destas práticas, mas que o CEITEC S.A.³ é espaço importante ainda que não haja uma parceria estabelecida entre universidade-empresa.

No que tange ao conteúdo curricular relacionado às possíveis implicações sociais, econômicas e éticas da nanotecnologia, somente o curso ofertado pela PUC-RJ contempla disciplinas sobre os temas. As disciplinas de 'Implicações Sociais da Nanotecnologia e

Implicações Ambientais da Nanotecnologia' são ofertadas nos 6º e 7º períodos do curso de Engenharia em Nanotecnologia da PUC-RJ. Os outros dois cursos aqui analisados não possuem disciplinas com este enfoque em seus currículos, ainda que sejam considerados assuntos relevantes pelas coordenadoras dos cursos.

Os coordenadores foram perguntados quanto às expectativas de inserção no mercado de trabalho dos alunos formados na área de nanotecnologia e as perspectivas para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. O formando em Engenharia em Nanotecnologia tem previsão de ocupar postos de trabalho na indústria em geral com ênfase na indústria farmacêutica, da energia e cosméticos, além do setor agropecuário. Para o coordenador do curso da PUC-RJ, o mercado de trabalho é ainda reduzido para o formando, uma vez que o desenvolvimento tecnológico na indústria tem despertado pouco interesse dos empresários. Avalia ainda que a pesquisa em nanotecnologia no Brasil é inferior à desenvolvida em países 'do primeiro mundo', mas que sua incorporação à indústria nacional tem gerado boas expectativas enquanto fator de sobrevivência industrial.

Já no curso de Bacharelado em Nanotecnologia o 'nicho' do mercado de trabalho esperado são os centros de P&D de empresas inovadoras de todos os portes. Até o momento, assim como na PUC-RJ, não há turmas formadas para avaliar a entrada destes alunos no mercado de trabalho, mas, segundo a coordenadora, o trabalho do curso da UFRJ é ampliar o campo de atuação do formando levando em consideração que a adoção da nanotecnologia pela indústria nacional é tomada como inevitável.

Quanto às perspectivas de desenvolvimento da pesquisa em nanotecnologia e o incentivo aos esforços para a visibilidade do curso, a coordenadora aponta que a produção de bens e serviços de base nanotecnológica está em fase de expansão e o Brasil deve seguir a mesma tendência. Uma perspectiva semelhante é compartilhada pela coordenadora da UFRGS que observa que a incorporação da nanotecnologia no setor industrial é inevitável, mas que a indústria nacional não vem se desenvolvendo, como a pesquisa realizada pelas universidades e centros de pesquisa nacionais, apesar de exemplos significativos, como da Embrapa, Petrobrás e Braskem. São estes espaços no mercado de trabalho, empresas de base tecnológica, o nicho principal dos egressos do curso, para desenvolver atividades de P&D e caracterização de materiais. O mercado de trabalho para os graduados em cursos que tratam da nanotecnologia parece encontrar ressonância nas

³Segundo o site institucional "[...] a CEITEC S.A. é uma empresa pública federal ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), criada em 2008. O investimento feito na CEITEC S.A. de mais de meio bilhão de reais objetiva o desenvolvimento da indústria eletrônica brasileira através da implantação de uma base sólida no setor de semicondutores" (CEITEC, 2012, s/p.).

previsões de aumento da incorporação da tecnologia de base nano nos produtos e processos das empresas entrevistadas.

Os coordenadores ainda foram questionados sobre quais seriam as competências a serem desenvolvidas pelos profissionais que desejam trabalhar na área de nanotecnologia. Para o coordenador da PUC-RJ e para a coordenadora da UFRGS é importante para o futuro profissional desenvolver competências em um curso de graduação em área científica específica e na pós-graduação. Já a coordenadora do Bacharelado em Nanotecnologia da UFRJ indica que a formação deve se direcionar para a multidisciplinariedade com capacidade de transitar em várias áreas do conhecimento. Os três concordam que é fundamental desenvolver a capacidade de trabalhar em equipe para a atuação do profissional na área nanotecnológica.

Considerações finais

Esta pesquisa buscou identificar os requisitos profissionais para atuar em nanotecnologia em empresas que desenvolvem essa tecnologia no País. Pela perspectiva apresentada pelas empresas, a configuração ideal para trabalhar em nanotecnologia estaria composta por um grupo de profissionais de diferentes áreas, capazes de agir de forma colaborativa, sendo, para isso, necessárias competências comportamentais que estão em consonância com as expectativas de formação: capacidade de trabalhar em equipe e capacidade de transitar bem em várias áreas do conhecimento.

A maior parte dos profissionais que atuam nas empresas pesquisadas possui pós-graduação e graduação com concentração nas áreas da Física, Química e Engenharia. Embora esses quadros estejam atualmente mais concentrados nas atividades de P&D, já há força de trabalho alocada nas funções de manufatura e comercialização. Para essas funções, serão necessários profissionais qualificados tanto no nível de graduação como no nível técnico. Pode-se afirmar que por se tratar de uma tecnologia que atravessa diversos setores industriais, as exigências de qualificação, tanto em conteúdo quanto nos níveis educacionais, tomarão um tempo para ser definidas, e nesse processo tenderão a se tornar mais claras tanto as necessidades das diferentes áreas de aplicação nos setores industriais como possíveis competências transversais que sejam comuns a vários setores.

Nossos resultados levam a inferir que não há uma só maneira de habilitar graduados para atuar no campo da nanotecnologia, fato que talvez tenha fundamento pela variedade de áreas que estudam o mesmo objeto no âmbito das nanociências. Parece

haver consenso, no entanto, sobre a necessidade de acesso a um núcleo duro de conhecimento relacionado às leis da matéria na escala nano e às propriedades dos materiais nanoestruturados e que o formado deve ser capaz de transitar para conseguir estabelecer diálogo entre as diversas especializações que podem compor uma equipe de trabalho.

Referências

- ABDI-Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial **Sondagem de Inovação**. Brasília: ABDI, 2010.
- ABDI-Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial **Sondagem de Inovação**. Brasília: ABDI, 2011.
- ABICHT, L.; FREIKAMP, H.; SCHUMANN, U. **Identification of skill needs in nanotechnology**. Luxembourg: Cedefop Panorama Series, 2006.
- BAINBRIDGE, W. S.; ROCO, M. Progressive convergence. In: BAINBRIDGE, W.; ROCO, M. (Ed.). **Managing nano-bio-info-cogno innovations**. Converging technologies in society. Dordrecht: Springer, 2006.
- BAIRD, D.; VOGT, T. Societal and ethical interactions with nanotechnology. **Nanotechnology, Law and Business Journal**, v. 20, n. 200, p. 391-396, 2004.
- BUSINESS WEEK. Magazine: The business of nanotech. Nova York: **Business Week**, p. 64-71, 2005. Disponível em: <<http://www.businessweek.com/stories/2005-02-13/the-business-of-nanotech>> Acesso em: 22 nov. 2012.
- BATTERSON, J.; BORJAS, G.; CHANG, T.; GOROFF, D.; KLEIN-SEETHARAMAN, J.; KULINOSWIKI, K.; LEVIN, S.; LIPPEL, P.; NEER, J.; NEWBERRY, D.; OAXACA, R.; PETERSEN, P.; SARGENT, P.; SEELY, B.; STEPAN, P.; TURNER, S. Education and human resource development. In: ROCO, M.; BAINBRIDGE, W. (Ed.). **Nanotechnology: societal implications: Maximizing benefits for humanity**. Arlington: NSF, 2003. p. 88-94.
- BMBF-German Federal Ministry of Education and Research. **Nano-de-report 2009: status quo of nanotechnology in Germany**. Berlin: BMBF, 2009. Disponível em: <http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009_en.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2010.
- CANTON, J. The emerging nano economy. In: ROCO, M.; BAINBRIDGE, W. (Ed.). **Nanotechnology: societal implications: Individual perspectives**. Arlington: NSF, 2002. p. 32-41.
- CEITEC S.A. Disponível em: <<http://www.ceitec-sa.com>>. Acesso em: 2 ago. 2012.
- CIENTIFICA. **Nanotechnology Opportunity Report**, 2008. Disponível em: <http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=612474&t=c>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- FEATHER, J. L.; COCKERILL, A. Education solutions to prepare students and expand the knowledge base in developing countries for nanotechnology opportunities. North South Dialogue on Nanotechnology, Challenges and Opportunities. Trieste: ICS/UNIDO, 2005. p. 10-12. Disponível em: <http://www.tntg.org/documents/White%

- 20Paper%20for%20Trieste.pdf> Acesso em: 22 nov. 2012.
- FONASH, S. Education and training of the nanotechnology workforce. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 3, n.1, p. 79-82, 2001.
- GODBE RESEARCH. **Nanotechnology Industry Labor Market Study**, 2006. Disponível em: <<http://www.ccsf.edu/Services/CTE/ove/pdfs/Godbe-%20Nanotechnology%20Presentation.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2010.
- HELMUT KAISER CONSULTANCY. **Silent growth of nanotechnology application in every industry worldwide**, 2007. Disponível em: <<http://www.prlog.org/10016950-silent-growth-of-nanotechnology-application-in-every-industry-worldwide.html>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- HULLMAN, A. **The economic development of nanotechnology: an indicators based analysis**. Bélgica: European Commission DG Research, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- HWANG, D.; BRADLEY, J. **The recession's ripple effect on nanotech**, 2010. Disponível em: <<http://www.electroiq.com/articles/stm/2010/04/the-recession-s-ripple.html>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- INVERNIZZI, N. Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor? **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, n. 6, p. 2249-2268, 2011.
- INVERNIZZI, N. Implications of nanotechnology for labor and employment. In: PARKER, R.; APPELBAUM, R. (Ed.). **Can emerging technologies make a difference in development?** New York: Routledge, 2012. p. 140-153.
- INVERNIZZI, N.; KORBES, C.; FUCK, M. P. Política de nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes. In: FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N.; ZAGAYO, E. (Ed.). **Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina**. México: M. A. Porrúa, 2012. p. 55-84.
- LAKHTAKIA, A. Priming pre-university education for nanotechnology. **Current Science**, v. 90, n. 1, p. 37-40, 2006.
- LUTHER, W. Nanotechnology training needs from the German perspective. In: ZUKERSTEINOVA, A. (Ed.). **Skill needs in emerging technologies: nanotechnologies**. Luxembourg: Cedefop, 2007. Disponível em: <http://www.cedefop.europa.eu/etv/Upload/Projects_Networks/Skill_snet/Publications/2007-09-14_final_version.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- LUX RESEARCH. **Nanotech hiring continues to climb: university and corporate education needed for white-coat and blue-collar workers**, 2007. Disponível em: <<http://www.businesswire.com/news/home/20070207005791/en/Nanotech-Hiring-Continues-Climb>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- MCNEIL, R. D.; JUNG LOWE, J. D.; MASTROIANNI, T.; CRONIN, J.; FERK, D. **Barriers to nanotechnology commercialization**, 2007. Disponível em: <<http://www.migre.me/b00AC>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- MALSCH, J.; OUD, M. **Outcome of the open consultation of the European strategy for nanotechnology**. Düsseldorf: Nanoforum, 2004. Disponível em: <<http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanosurvey6.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2011.
- MCT-Ministério da Ciência e Tecnologia. **Proposta Grupo de Trabalho criado pela Portaria nº 252 subsídio ao Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007**, 2003. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- MCT-Ministério da Ciência e Tecnologia. Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional. **Plano de Ação 2007-2010**, 2007. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/66226.html>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- MCTI-Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015**, 2011. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0218/218981.pdf>. Acesso em: 15 set. 2012.
- MILES, I. **Nanotecnologia: oportunidade para a indústria e novas qualificações profissionais**. Brasília: Senai, 2010.
- NANOWERK. **Companies and labks directory**, 2012. Disponível em: <www.nanowerk.com>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- NANOWERK. **Nanojobs: careers in nanotechnology**, 2012. Disponível em: <<http://www.nanowerk.com>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- ONET. **Occupations matching "nanotechnology"**. Washington: USDOL/ETA, 2010. Disponível em: <<http://www.online.onetcenter.org/find/quick?s=nanotechology>>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- PALMBERG, C.; DERNIS, H.; MIGUET, C. **Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics**. STI Working Paper 2009/7, OECD Directorate for Science, Technology and Industry, 2009. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/59/9/43179651.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2012.
- PCAST. **Report to the president and congress on the third assessment of the national nanotechnology initiative**, 2010. Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nano-report.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- ROCO, M. International strategy for nanotechnology research and development. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 3, n. 5-6, p. 353-360, 2001.
- ROCO, M. Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training. **Nature Biotechnology**, v. 21, n. 10, p. 1247-1249, 2003.
- ROCO, M. The long view of nanotechnology development: the national nanotechnology initiative at ten years. In: ROCO, M.; MIRKIN, C. A.; HERSAM, M. C. (Ed.). **Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook**. New York: Springer, 2010.
- ROCO, M.; HARTHORN, B.; GUSTON, D.; SHAPIRA, P. Innovative and responsible governance of

nanotechnology for societal development. In: ROCO M.; MIRKIN, C. A.; HERSAM, M. C. (Ed). **Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook**. New York: Springer, chapter 13, 2010. Disponível em: <http://www.wtec.org/nano2/Nanotechnology_Research_Directions_to_2020/>. Acesso em: 22 nov. 2012.

SCHUMANN, U. Skill needs in an innovative sector: nanotechnology. **Skills for Europe's future: anticipating occupational skill needs**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; Cedefop Panorama Series, 2009. Disponível em: <http://www.cedefop.europa.eu/EN/Files/5194_en.pdf> Acesso em: 22 nov. 2012.

SEMPA. **Skills and the future of advanced manufacturing: a summary skills assessment for the SSC advanced manufacturing cluster**. The Sector Skills Council for Science, Engineering and Manufacturing Technologies, Reino Unido, 2009. Disponível em: <http://www.cogent-ssc.com/research/Publications/ADVMFG_FINAL_March_2010publish.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2012.

SILVA, C. G. **O Programa Nacional de Nanotecnologia e o Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia**. Brasília: MCT, 2003.

SING, K. A. **Nanotechnology skills and training survey**. Londres: Institute of Nanotechnology, 2007. Disponível em: <<http://www.migre.me/b02VC>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

STOA-Science and Technology Options Assessment. **Interactions between new technologies and the job market, flexecurity and training/vocational training**. Brussels, 2007. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2007/400996/IPOL>

-JOIN_ET%282007%29400996_EN.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2012.

TOMA, H. E. **O mundo manométrico: a dimensão do novo século**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

VAN HORN, C.; FICHTNER, A. **The workforce needs of companies engaged in nanotechnology research in Arizona**. New Brunswick, 2008. Disponível em: <<http://www.cspo.org/library/reports/?action=getfile&file=189§ion=lib>>. Acesso em: 22 nov. 2012.

VAN HORN, C.; CLEARY, J.; FICHTNER, A. **The workforce needs of pharmaceutical companies in New Jersey that use nanotechnology: preliminary findings**. New Brunswick, 2009. Disponível em: <<http://www.cspo.org/library/search/?action=getfile&file=109§ion=lib>>. Acesso em: 22 nov. 2012.

WHITESIDES, G. Science and education for nanoscience and nanotechnology. In: ROCO, M.; BAINBRIDGE, W. (Ed.). **Nanotechnology: Societal implications: maximizing benefits for humanity**. Arlington: NSF, 2003. p. 33-39.

YOUTIE, J.; SHAPIRA, P.; KAY, L. Global developments in nanotechnology commercialization. In: **Presentation at the Manchester International Workshop on Nanotechnology, Society and Policy**. Manchester, 2009. Disponível em: <<http://www.cspo.org/library/search/?action=getfile&file=288§ion=lib>>. Acesso em: 22 nov. 2012.

Received on September 7, 2012.

Accepted on September 31, 2012.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.