

7. PROTEÇÃO DOS TRABALHADORES E TRABALHADORAS DOS POTENCIAIS RISCOS DOS NANOMATERIAIS NO MANUSEIO E NA PRODUÇÃO

Arline Sydneia Abel Arcuri¹

Jorge M. Pontes²

José Renato Alves Schmidt³

Luís Renato Balbão Andrade⁴

Maria de Fátima Torres Faria Viegas⁵

Valéria Ramos Soares Pinto⁶

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de apresentar as nanotecnologias e algumas medidas de proteção dos trabalhadores e trabalhadoras no manuseio e na produção de nanomateriais para leitores não especialistas no tema. Na primeira parte fazemos uma apresentação das nanotecnologias e das principais tentativas de regulação. Em seguida, apresentamos os potenciais riscos a que podem estar submetidos os trabalhadores. Na terceira parte, o leitor encontrará alternativas para mitigação destes riscos elaboradas por pesquisadores da Fundacentro e finalmente, concluímos com sugestões para que o país tenha desenvolvimento sustentável, seguro para trabalhadores e meio ambiente na produção e uso desta tecnologia, imprescindível para criação de materiais avançados.

PALAVRAS-CHAVE: Nanociências, Saúde do Trabalhador, Segurança do Trabalho.

1 Arline Sydneia Abel Arcuri - Química. Pesquisadora aposentada da Fundacentro aarcuri@uol.com.br

2 Jorge M. Pontes – Professor, escritor e pesquisador CNPq/CRIARCOMC. jorge.pontes@usp.br

3 José Renato Alves Schmidt. - Tecnologista da Fundacentro. jose.schmidt@fundacentro.gov.br

4 Luís Renato Balbão Andrade - Tecnologista da Fundacentro. luis.andrade@fundacentro.gov.br

5 Maria de Fátima Torres Faria Viegas - Tecnologista da Fundacentro. maria.viegas@fundacentro.gov.br

6 Valéria Ramos Soares Pinto - Tecnologista da Fundacentro. valeria.pinto@fundacentro.gov.br

INTRODUÇÃO

As nanotecnologias podem ser compreendidas como um conjunto multidisciplinar de técnicas que manipulam a matéria em escala nanométrica, mais precisamente, mas não exclusivamente, partículas abaixo de 100 nanômetros (nm), cujas características por conta do tamanho diminuto, são essencialmente diferentes daquelas encontradas no material em sua forma macro. Um nanômetro (nm) corresponde a uma bilionésima parte do metro (ou o metro dividido por um bilhão). Para que se possa estabelecer uma comparação, um fio de cabelo humano tem aproximadamente 70.000 nanômetros de diâmetro. Ou seja, se tomarmos uma nanopartícula esférica de 100 nm de diâmetro, seria possível alinhar 700 destas partículas na largura de apenas um fio de cabelo. (BRASIL, 2021).

Nanotecnologia afeta todos os aspectos da vida através de inovações que permitem, por exemplo, materiais mais fortes e leves para melhor economia de energia (chamamos de materiais avançados); medicamentos específicos para o tratamento efetivo de diversas doenças incluindo o câncer; água potável limpa e acessível no mundo todo; computadores velozes e com grande capacidade de armazenamento; superfícies auto limpantes; monitores de saúde portáteis; painéis solares mais eficientes; embalagens de alimentos com monitoramento; regeneração da pele, ossos e células nervosas para uso na medicina; janelas inteligentes com controle de claridade para economia de energia; concreto (nanocimento) que seca mais rapidamente e que pode ter sensores para detectar rachaduras e corrosões nas estradas, pontes e edifícios (BRASIL, 2018).

O que há em comum em todas estas áreas e materiais citados é a manipulação da matéria na escala nanométrica, mas é bom lembrar que os impactos são bem diferentes em cada aplicação. Algumas são positivas, na medida em que possibilitam a criação de novos materiais e até novas soluções para problemas ambientais, econômicos e de saúde, contudo já é conhecida a potencialidade de provocar consequências não desejadas nas relações sociais, de trabalho, no meio ambiente e para a saúde dos trabalhadores e do público em geral.

A definição de nanopartículas que apresentamos inicialmente foi a de que elas são partículas de diferentes materiais com uma ou mais dimensões externas na faixa de tamanho 1 nm a 100 nm. Contudo para o projeto NanoReg – projeto da União Europeia para estudo de regulação de nanomateriais – essa definição apresenta problema quanto à regulação, pois podem existir materiais que têm suas propriedades alteradas antes mesmo de atingirem esta escala.

Para entender melhor esta preocupação é preciso explicar que do ponto de vista das propriedades desses materiais é importante considerar elementos acima de 100 nm, desde que possam apresentar propriedades diferentes do que em escalas maiores. Assim apontamos

para algo que muitos estudiosos no mundo já sinalizaram, *a redução do tamanho dos materiais até a nanoescala, mesmo superiores a 100 nm, pode ocasionar mudanças significativas em suas propriedades.*

Essas mudanças ocorrem fundamentalmente em função de dois fenômenos: a) a **redução do tamanho** que gera um aumento na relação entre a superfície do material e o volume ocupado e com isto ocorre um aumento de sua reatividade; b) o **efeito quântico** que com o aumento da área superficial e a redução do tamanho da partícula, afeta principalmente outras propriedades físico-químicas. Ele não é relevante quando o tamanho vai de macro para microdimensões, contudo, torna-se dominante quando a escala nanométrica é atingida.

Deixando de lado iniciativas estrangeiras de estudo e regulação das nanotecnologias (NanoReg, por exemplo), chamamos a atenção dos leitores para o fato da criação do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia em 23 de novembro de 2009, a partir da iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, buscando ser uma ferramenta estratégica para apoiar a discussão e o encaminhamento de iniciativas e programas do segmento nanotecnológico no país.

Esta iniciativa estava voltada à preparação do caminho estratégico do Brasil, por meio da abordagem de questões e demandas relativamente novas, além de apresentar imenso potencial de crescimento, tornando-se fundamental para oferecer ao país condições de competitividade na “Revolução Tecnológica” que se anunciava. Buscava ser um espaço de interação construído com base em um diálogo profícuo e estimulante, onde todos os atores interessados poderiam dar sua contribuição de modo que as resoluções e determinações emanadas materializassem-se em políticas públicas consistentes e aptas a viabilizar a consolidação de um setor de tamanha relevância no cenário econômico e tecnológico do país. Os participantes do Fórum foram agrupados nos seguintes Grupos de Trabalho: GT de Mercado; GT de Marco Regulatório; GT de Cooperação Internacional; e GT de Recursos Humanos.

Em 2010, os GTs de Marco Regulatório e de Mercado apresentaram relatório das atividades em que faziam um diagnóstico, apontando os desafios e recomendações para o cenário das nanotecnologias no Brasil e no mundo. No entanto, em 2011 as atividades do fórum foram encerradas o que no nosso ponto de vista prejudicou qualitativamente a participação do país no acompanhamento das discussões e votações da ISO TC 229, que cuida de variadas interfaces das nanotecnologias. Em 2012 foi criado através da Portaria Interministerial nº 510, de 9 de julho de 2012, o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) com a finalidade de assessorar os Ministérios, representados no Comitê, na integração da gestão e na coordenação, bem como no aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no país.

É importante ressaltar que a Fundacentro, enquanto instituição de estudos, pesquisas e difusão de conhecimentos na área de Segurança e Saúde no Trabalho (SST), em 2006, por iniciativa de um grupo de pesquisadores, identificou a necessidade de estudar os possíveis impactos de novas tecnologias, em especial as nanotecnologias sobre a SST. Naquele momento as nanotecnologias eram consideradas tecnologias emergentes. Já em 2007, iniciou-se internamente o projeto “Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente” que a partir de palestras, seminários e cursos constatou o pouco conhecimento dos trabalhadores sobre o tema.

Em 2009 foi tomada a iniciativa de publicação da série “Nanotecnologia em Quadrinhos”, elaborada e concebida pelo tecnologista da Fundacentro Alexandre Custódio Pinto, que na época trabalhava para o Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas (IIEP). O primeiro volume da série de histórias em quadrinhos (HQ) abordou conceitos básicos de nanotecnologia e cada um dos quatro posteriores voltou-se a um setor econômico: Químico, Indústria da Construção, Rural e Metalúrgico. E ainda no ano 2009, o projeto sobre nanotecnologia foi apresentado à Organização Mundial da Saúde (OMS) como parte das atividades da Fundacentro como Centro Colaborador em saúde do trabalhador desta entidade intergovernamental.

Ao longo dos anos a Fundacentro promoveu seminários, cursos, participou de projetos e publicações com entidades nacionais e internacionais, tais como: OMS; MDIC; MCTI; IIEP; Renanosoma; além de diversos sindicatos de trabalhadores. O projeto “Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente” foi encerrado em 2019. Em 2021, a revista Mundo Nano da Universidade Autônoma do México publicou o artigo intitulado “A Governança, nanotecnologia e a necessidade de capacitação da força de trabalho” que contém um resumo das principais realizações do projeto entre 2006 e 2019. Ainda em 2021, foi publicado o livro “Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologias e macroinquietações”, com uma coletânea de textos sobre os aspectos das nanotecnologias abordados pelo projeto. Ambas as referências estão detalhadas ao final deste artigo. Embora, o projeto citado tenha sido encerrado em 2019, o tema nano e novas tecnologias permanece alvo de outras iniciativas de pesquisa e divulgação da Fundacentro.

POTENCIAIS RISCOS DOS NANOMATERIAIS

Um número crescente de atividades expõe direta ou indiretamente os trabalhadores à probabilidade de interagir com os nanomateriais promovendo a exposição ocupacional. Como foi dito anteriormente, os materiais apresentam comportamentos diferentes em nanoescala se comparados ao mesmo produto em escala maior, e é esta diferença quando examinada na interação das nanopartículas com organismos vivos, que levou ao desenvolvimento de uma

especialidade da toxicologia: a nanotoxicologia. A intensificação das propriedades que tornam os nanomateriais tão interessantes tem acarretado incertezas quanto aos possíveis efeitos de toxicidade sobre a saúde dos seres vivos e ao meio ambiente.

A toxicologia das nanopartículas demonstra alguns efeitos tóxicos diferentes das partículas da mesma substância em escala maior. Considerando que as nanopartículas são da mesma escala de tamanho de alguns componentes celulares típicos e das proteínas, tais partículas podem escapar das defesas naturais do organismo humano e levar a danos celulares permanentes.

Entretanto, células dos tecidos humanos podem absorver muitas dessas nanopartículas e esta habilidade tem sido aproveitada para desenvolver medicamentos com princípios ativos que são capazes de atuar diretamente nas áreas acometidas por lesão. Contudo, esta mesma habilidade também pode facilitar a entrada de materiais tóxicos para dentro das células.

Com o crescente aumento de nanopartículas manufaturadas – não encontradas na natureza –, é também cada vez maior a preocupação com a possibilidade de provocarem câncer. A IARC – Agência de pesquisa em câncer da Organização Mundial da Saúde – já reconheceu algumas nanopartículas no grupo 2B, ou seja, como possivelmente cancerígenas, tais como: um tipo de nanotubos de carbono multi-paredes; negro de fumo – **Black Carbon** com destaque a presença de partículas ultrafinas em misturas; o dióxido de titânio com a citação de que estudos que usaram partículas em nanoescala indicaram maior toxicidade em relação às partículas finas usadas em estudos anteriores.

A principal via de exposição de trabalhadores aos nanomateriais é a respiratória. E atualmente a inalação de partículas biopersistentes e fibras com uma morfologia semelhante ao amianto é o maior perigo para a saúde, possivelmente resultando em inflamação local e câncer. Mas é importante saber também que nanopartículas de prata, de albumina e de carbono, todas mostraram disponibilidade de distribuição sistêmica após a exposição por inalação.

Já citamos que partículas em nanoescala têm a possibilidade de entrar em células e devemos acrescentar a isso a capacidade destas partículas de se deslocarem para o sistema circulatório e se distribuírem pelo organismo. A este fenômeno chamamos de translocação, pois quanto menor for o tamanho, maior a facilidade de ocorrência de deslocamento entre as células do corpo humano. E isto pode ocorrer por outras vias como o fluido cérebro espinhal, transposição da barreira hematoencefálica ou através do nervo olfativo até o sistema nervoso central.

No caso de contato com a pele, alguns estudos indicam tipos de nanopartículas que penetram apenas as camadas superiores da epiderme, e outros encontram nanopartículas em camadas inferiores e até em outros locais do organismo como o fígado ou baço. Pode ocorrer, com

menos frequência, a absorção de nanopartículas pelo trato gastrointestinal. Elas podem se deslocar pela parede epitelial, sendo que este fenômeno depende, como nos outros meios, das características das nanopartículas, assim como da própria fisiologia do trato gastrointestinal. Para mais detalhes sobre o assunto aconselhamos a leitura na “Nota Técnica nº 1/2018/FUNDACENTRO” e do livro “Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologias e macroinquietações”, disponíveis em nossas referências.

AVALIAÇÃO DE RISCOS E PROTEÇÃO DOS TRABALHADORES

Para que seja possível fazer a caracterização do risco e desencadear medidas de controle, é necessário em primeiro lugar conhecer as características do nanomaterial e é aqui que tem início as dificuldades, pois há ainda poucos estudos sobre os efeitos da maior parte dos nanomateriais.

Contudo, o primeiro passo para avaliação de potenciais riscos é começar com uma coleta de informações básicas no local de trabalho, tais como: fluxos de trabalho, pessoal e tarefas; materiais utilizados, ficha de dados de segurança; revisão de literatura, antecipação e reconhecimento de perigos e outros indicadores de situações de exposição em potencial. Este primeiro passo é conhecido como a “identificação dos perigos”.

O segundo passo é o da caracterização da possível exposição ocupacional. A caracterização da exposição ocupacional pode se dar por meio de métodos quantitativos, qualitativos ou semiquantitativos. Para efeito deste texto, vamos nos debruçar sobre métodos quantitativos e qualitativos para nanomateriais.

MÉTODOS QUANTITATIVOS

O que medir. Normalmente a higiene ocupacional mede uma concentração de massa por volume ou quantidade de partículas por volume, entretanto, para nanomateriais esta métrica em geral não é satisfatória. Há outras opções como a área superficial por volume, que alguns estudos sugerem ser mais relevante.

Como medir. A literatura apresenta uma série de métodos para execução da concentração das nanopartículas no ambiente de trabalho, os métodos variam especialmente em relação ao que pretendem medir.

(1)O resultado da medição.

- (a) Existe a dificuldade de distinção entre as nanopartículas já existentes no local daquelas produzidas pelo processo produtivo.
- (b) Embora existam sugestões de limites de exposição ocupacional para nanomateriais, não há consenso sobre quais, de fato, deveriam ser estes limites.

Das considerações colocadas, fica claro que as avaliações quantitativas ainda têm um alcance limitado para os nanomateriais, mesmo sendo, em tese, mais precisas (menos subjetivas). Para contornar estas dificuldades, fazemos uso de métodos qualitativos que são os mais indicados.

MÉTODOS QUALITATIVOS

Da mesma forma que os métodos quantitativos, também os métodos qualitativos precisam ser específicos para nanomateriais, não sendo possível a utilização de métodos usados para materiais em escala maior. Apesar disto, os princípios já utilizados também podem ser aplicados aos nanomateriais, como é o caso, por exemplo, dos métodos específicos de avaliação de riscos envolvendo nanomateriais baseados no princípio do controle de bandas (*control banding*). Vencidas as etapas de identificação dos perigos e a avaliação da exposição é possível determinar um “nível de risco”, risco este que deve ser controlado.

Para minimizar o risco deve ser aplicada a hierarquia de controle proposta na higiene ocupacional, levando-se em conta as especificidades do nanomaterial utilizado. Por exemplo, não basta a instalação de ventilação local exaustora. É necessário que o material exaurido seja captado por um sistema contendo um filtro tipo HEPA, conhecido como filtro absoluto. A informação é a arma principal diante das incertezas. As empresas produtoras e importadoras de nanomateriais e que promovem a transformação tecnológica de postos de trabalho devem adotar para todos os funcionários sessões rotineiras de informação, sobre riscos e cuidados, se possível com a distribuição de material informativo, em linguagem acessível.

A (re)qualificação dos funcionários deve anteceder a transformação tecnológica dos postos de trabalho ou a adoção de nanomateriais nos processos de produção e manipulação, com tempo hábil para que o funcionário possa adaptar-se a nova rotina da organização ou mesmo se recolocar no mercado de trabalho.

Os processos de (re)qualificação e sessões de informação devem abordar conhecimentos sobre Equipamento de Proteção Coletiva (EPC) e Equipamento de Proteção Individual (EPI) adequados à proteção contra a inalação, ingestão e contato com a pele de nanomateriais; primeiros socorros em caso de exposição; planos de contingenciamento e rotas de fuga.

À GUIA DE CONCLUSÃO

A necessidade de investimento em pesquisas para determinação de potenciais riscos na produção, no manuseio ou na adição de nanopartículas durante a criação de materiais avançados é algo urgente para o Estado e empresas que buscam o selo de responsabilidade social.

Este é o caminho para transpor a barreira da falta de informação sobre a ação dos nanomateriais e dos seus limites de tolerância, como apontamos no texto. É importante ressaltar que o resultado destas pesquisas citadas acima não deve permanecer nos gabinetes e gavetas, mas, se converter em ações de informação e prevenção para melhoria dos ambientes de trabalho contando com a participação de todos os envolvidos. As diretrizes de gestão de SST preveem que a participação dos trabalhadores constitui um elemento essencial do sistema de gestão da SST na organização, e desta forma esta participação torna-se ponto central das ações de prevenção e deve ser adotada na busca de uma produção segura de nanomateriais.

E enquanto isto acontece, destaca-se aqui a necessidade de se considerar o seguinte princípio da precaução: *na falta de informações, uma substância ou situação deve ser considerada perigosa até que sejam obtidas evidências concretas que afastem esta suposição inicial*. A partir deste pensamento, todas as medidas possíveis e necessárias para proteção dos trabalhadores devem ser adotadas.

Assim sendo, é prioritário para atividades ligadas à produção e manuseio das nanotecnologias e/ou materiais avançados, as seguintes ações:

- b. a identificação dos nanomateriais e descrição da exposição a eles;
- c. a medição da exposição aos nanomateriais (se possível) e eficácia das medidas de proteção;
- d. avaliação dos riscos dos nanomateriais alinhados com um arcabouço legal adequado;
- e. estudos *in vivo* para a avaliação dos efeitos; dos nanomateriais sobre a saúde.
- f. validação dos métodos *in vitro* e dos métodos de propriedades físico-químicas para determinar os efeitos na saúde; e
- g. formação dos trabalhadores e das diretrizes e práticas de manuseio para as atividades envolvendo nanomateriais.
- h.

Destaca-se ainda a importância de avaliar todo o ciclo de vida dos nanomateriais, para que os possíveis riscos não sejam repassados para os usuários e/ou consumidores dos materiais em nanoescala.

Por ora é possível projetar a importância não só das pesquisas relacionadas à segurança e saúde no trabalho envolvendo nanomateriais, como também da divulgação ampla destes conhecimentos. Provavelmente, a nanotecnologia, mais do que qualquer outra tecnologia, tem sido caracterizada pela discussão de seus riscos ainda no desenho do projeto, ou seja, antes da detecção de possíveis consequências adversas. Esta antecipação dos riscos se constitui em uma oportunidade para que se tente não repetir os erros relacionados aos impactos de novas tecnologias sobre a segurança, a saúde e o meio ambiente. Para maiores informações, inclusive técnicas, convidamos os nossos leitores a entrar em contato com os autores e visitar as nossas referências bibliográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCURI, A. S. A.; PONTES, J. M.; SCHMIDT, J. R. A.; ANDRADE, L. R. B.; VIEGAS, M. F. T. F.; PINTO, V. R. S.; VIEGAS FILHO, A. Governança, nanotecnologia e a necessidade de capacitação da força de trabalho. Mundo Nano. **Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología**, v. 15, n. 28, p. 1e-22e, 27 set. 2021. Disponível em: <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69677>. Acesso em: 21 Mai. 2023

ANDRADE, L. R. B. (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo: Fundacentro, 2021. Disponível em: http://arquivosbiblioteca.fundacentro.gov.br/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/HURV61KMKA5KUJN5KCED4K7847HJN1.pdf. Acesso em 14 jun 2023

_____. Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia. 2013. **Tese de doutorado**. Engenharia de Produção. Universidade federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: [http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/TESE_ANDRADELRB20MAR2%202014\(2\).pdf](http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/TESE_ANDRADELRB20MAR2%202014(2).pdf). Acesso em: 05 fev. 2018

ARCURI, A. S. A. PONTES, J. M. Nanopartículas. IN: INCA. **Ambiente, trabalho e câncer**: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios. Rio de Janeiro: INCA, 2021. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//ambiente_trabalho_e_cancer_-_aspectos_epidemiologicos_toxicologicos_e_regulatorios.pdf. Acesso em 14 jun 2023

ça do Trabalho (SST) para uma produção segura com o uso de nanotecnologias. São Paulo: Fundacentro, 2018. Disponível em: <http://antigo.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/Nota%20tecnica%20%2001-2018%20Corrigida%20e%20Revisada.pdf>. Acesso em: 21 Mai. 2023

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials**. Geneva: World Health Organization, 2017.

PONTES, J. M.; BONINI, L. M. de M. (Orient.). O tripartismo e as políticas públicas de segurança e saúde no trabalho. 2015. 127 f. **Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas)**. Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, 2015.

SCHMIDT, J. R. A. Avaliação de risco envolvendo a manipulação de nanomateriais em um laboratório de pesquisa. **Dissertação de mestrado**. Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/176917/346686.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

_____. Um modelo probabilístico para avaliação do risco ocupacional envolvendo nanomateriais. **Tese de doutorado**. Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226765>. Acesso em: 05 jun. 2023.