Nanotecnologia e a saúde do trabalhador: a aplicabilidade do princípio da precaução em face da inexistência de regulamentação normativa

Nanotechnology and worker health: the applicability of the precautionary principle in the face of the absence of normative regulation

Versalhes Enos Nunes Ferreira^{1*}, Eliana Maria de Souza Franco Teixeira²

RESUMO

O artigo tem por objetivo analisar a proteção da saúde do trabalhador em face dos avanços da nanotecnologia aplicáveis no setor industrial, ressaltando o fato de que inexistem um marco legal capaz de regular seu potencial grau de toxicidade ao ser humano, especificamente quanto à interação entre nanomateriais e sistemas biológicos. A problemática da pesquisa reside em verificar em que medida a ausência de um regulamento normativo relativo à nanotecnologia contribui para a violação do direito fundamental à saúde do trabalhador. Deste modo, utilizando o método dedutivo, a partir de pesquisa de natureza bibliográfica, conclui-se que a nanotecnologia representa um avanço científico ao bem-estar da humanidade, todavia, sua utilização deve ser acompanhada por iniciativas legislativas hábeis ao seu monitoramento contínuo, prevenindo a ocorrência de danos à saúde do trabalhador, motivo pelo qual o princípio da precaução deve ser um vetor a ser considerado nesta conjuntura.

Palavras-chave: Nanotecnologia; Princípio da precaução; Direito do Trabalho; Saúde humana.

ABSTRACT

The article aims to analyze the protection of workers' health in the face of advances in nanotechnology applicable to the industrial sector, highlighting the fact that there is no legal framework capable of regulating its potential degree of toxicity to humans, specifically regarding the interaction between nanomaterials and biological systems. The problem of the research resides in verifying to what extent the absence of a normative regulation concerning nanotechnology contributes to the violation of the fundamental right to worker health. Thus, using the deductive method, based on bibliographical research, we conclude that nanotechnology represents a scientific advance for the well-being of humanity; however, its use must be accompanied by legislative initiatives capable of continuously monitoring it, preventing damage to workers' health, which is why the precautionary principle must be a vector to be considered at this juncture.

Keywords: Nanotechnology; Precautionary principle; Labor law; Human health.

¹ Centro Universitário do Estado do Pará

*E-mail: vfenos@gmail.com

² Universidade Federal do Pará

INTRODUÇÃO

A humanidade vivencia um momento de rápido progresso científico e tecnológico, com aplicabilidade e alteração na maneira como as pessoas vivem, trabalham e se relacionam, desdobramento da chamada Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0, e que tem na nanotecnologia um conjunto de técnicas capazes de criar novos materiais, produtos e processos, com potencial de revolucionar setores como medicina, agricultura, tecnologia da informação e comunicação, defesa militar, dentre outras possibilidades, sendo considerada a via para a resolução de muitos dos problemas da atualidade enfrentados pela sociedade global.

Nesta conjuntura, diversos produtos em variados setores vêm sendo fabricados e postos à disposição dos consumidores, como medicamentos, cosméticos, materiais de construção, protetores solares, materiais de limpeza, e tantos outros que são manuseados e consumidos todos os dias pela população em geral, que sequer conhecem a origem e o processo produtivo daquilo que estão utilizando. Ademais, se a célere expansão da nanotecnologia movimentava o setor industrial, por outro lado, o conhecimento acerca de seus efeitos, especificamente pela dimensão das nanopartículas, ainda é incipiente.

Entretantes, a possível nocividade das nanopartículas não atingirá apenas aqueles que consomem um determinado produto final, mais também, o segmento de cidadãos que manipulam, no interior das fábricas, compostos formados por nanomateriais, circunstância que poderá deixá-los vulneráveis a riscos, considerando as múltiplas vias de exposição, fazendo com que o trabalhador esteja na primeira linha de eventual contaminação. Considerando o inexistente marco legal, o princípio da precaução pode servir ao propósito de mitigar o potencial grau de toxicidade das nanopartículas, protegendo a saúde do trabalhador.

Deste modo, utilizando o método dedutivo, a partir de pesquisa de natureza bibliográfica, a problemática reside em discutir se a ausência de um regulamento normativo para as nanotecnologias viola o direito à saúde do trabalhador. Para alcançar resposta ao problema, o texto foi estruturado em quatro itens. O primeiro é esta introdução. Em seguida, analisa aspectos centrais da nanotecnologia, abordando proposta legislativa para sua regulação. Após, investiga o risco das nanopartículas para a saúde do trabalhador, acentuando a adoção do princípio da precaução como mecanismo capaz de assegurar este direito fundamental. Por fim, apresenta as considerações finais do estudo.

NANOTECNOLOGIA E AMBIENTE LABORAL: RISCOS POTENCIAIS E A NECESSIDADE DE UM MARCO LEGAL

A ideia de nanotecnologia foi apresentada pelo físico norte-americano Richard Feynman, em 1959, em uma palestra apresentada na Reunião da Sociedade Americana de Física, intitulada *There is Plenty of Room at the Bottom*, quando sugestionou a possibilidade de manipulação de objetos em dimensões atômicas. Posteriormente, o físico apresentou o conceito de dispositivos na escala nanométrica. O termo Nanotecnologia para designar as manipulações em escala inferior ao microscópico foi utilizado pela primeira vez em 1974 pelo professor Norio Taniguchi, da Universidade de Ciências de Tóquio (HOHENDORFF; COIMBRA; ENGELMANN, 2016, p. 152-153).

A nanotecnologia nasce com o propósito de manipular átomos e moléculas para realizar processos, construir coisas e até seres vivos. Ela funciona rearranjando a matéria na escala de átomos, que são as menores partículas de um elemento químico. Os produtos em nanoescala têm propriedades únicas e se comportam de forma diferente da matéria convencional. As nanotecnologias conseguem criar novos materiais sintéticos ou modificar os existentes a partir dos átomos ou moléculas. Qualquer estrutura pode ter seu tamanho reduzido. E, as ferramentas e processos nanotecnológicos podem ser aplicados em praticamente qualquer produto fabricado, em toda a amplitude do setor industrial. Os novos materiais ou estruturas produzidas não necessariamente possuem tamanho nanométrico, mas têm em sua composição estruturas nanométricas que geram novas propriedades e novas aplicações (CENTRO ECOLÓGICO, 2009, p. 04-05).

Existe, assim, uma variedade de nanomateriais e todos eles têm em comum o tamanho em escala nanométrica, sendo que a redução do tamanho dos materiais até a nanoescala pode ocasionar mudanças relevantes em suas propriedades. Para se ter ideia da dimensão, 1 nanômetro (nm) corresponde à bilionésima parte de 1 metro, ou 1 milionésima parte de 1 milímetro, podendo ser explicitado dividindo o número $1/1.000.000.000$, ou, $0,000000001\text{m.}$, sendo que o nanômetro é nove ordens de grandeza menor que o metro. O prefixo nano, de origem grega, significa anão, por isso que na nanotecnologia as coisas são extremamente pequenas, invisíveis ao olho nu e a quaisquer outros instrumentos, à exceção de aparelhos muito poderosos, a exemplo do Microscópio de Varredura por Tunelamento e do Microscópio Eletrônico de Varredura. Comparativamente, a espessura (diâmetro) de um fio de cabelo é de cerca de 80.000 a 100.000 nanômetros, um glóbulo vermelho do sangue tem cerca de 5.000 a 7.000 nm e,

uma molécula de DNA tem cerca de 2nm de largura (BERWIG, 2019, p. 50; CENTRO ECOLÓGICO, 2009, p. 02/04).

As pesquisas no campo científico-tecnológico envolvendo a nanotecnologia aumentaram significativamente, tanto que, diversos tipos de nanopartículas passaram a ser incorporadas à uma grande variedade de produtos disponíveis no mercado, porém, essas novidades chegam à sociedade sem que a grande maioria da população tenha conhecimento a seu respeito, em especial aos riscos à saúde, considerando as particularidades desses materiais (NOVO, 2013, p. 09-10). Sua aplicação é diversa, alcançando, por exemplo, os setores energético, metalúrgico, celulose e papel, eletroeletrônicos, cosméticos, construção civil, saúde, agronegócio, tecnologia da informação e comunicação, indústria têxtil, defesa militar, dentre outras possibilidades (ARCURI; PONTES, 2018, p. 320).

É importante mencionar que não se trata de uma tecnologia única, mas um agrupamento multidisciplinar de física, química, engenharia biológica, materiais, aplicações e conceitos em que tamanho é a definição característica (HOHENDORFF; COIMBRA; ENGELMANN, 2016, p. 153), por isso que o mais coerente é dizer que existem várias nanotecnologias. A realidade é que se tem o envolvimento interdisciplinar objetivando extrair melhoramentos nas propriedades de materiais e produtos postos no mercado de consumo.

No mundo, existem, aproximadamente, 8.523 produtos sendo comercializados e que incorporaram as nanotecnologias em sua produção, porém, esse número pode ser bem maior, levando-se em consideração que as nanotecnologias ainda não possuem regulamentação nos níveis internacional e nacional. Apesar da ausência de tratados ou de regulações internas, a Organização das Nações Unidas estima que o mercado mundial de produtos nanotecnológicos cresça em torno de 20% ao ano, alcançando US\$ 55 bilhões, em 2022 (BERWIG, 2019, p. 81). Em acréscimo, o relatório de inteligência de mercado da BIS Research, intitulado *Global Nanopharmaceutical Drugs Market - Analysis and Forecast, 2018-2026*, informa que o mercado global de nanofármacos deverá crescer mais de US\$ 79,29 bilhões até 2026, crescendo a uma taxa de 8,12% durante esse período (PRNewswire, 2018, s.p.).

Apesar de todos esses avanços, existe uma lacuna no que diz respeito à ausência de normas específicas para regulamentar a nanotecnologia no Brasil, ou seja, normativas referentes ao registro, controle de qualidade desses produtos e eventuais níveis de

toxicidade. Essas incertezas, quanto aos seus riscos, ao eventual grau de nocividade para o ser humano, continuam sendo um dos temas que mais desperta a atenção da comunidade jurídica, posto que sem um marco regulatório no país, o perigo à saúde dos cidadãos é preocupação legítima (BERWIG, 2019, p. 81; APOLINARIO; SALATA; BIANCO; FUKUMORI; LOPES, 2020, p. 223; BERWIG; ENGELMANN, 2017, p. 68-69).

Evidentemente, apesar da lacuna regulatória, setores empresariais passaram a adotar em seus sistemas produtivos substâncias nanocompostas, cuja manipulação e contato recaem sobre os trabalhadores, e isso para inovar ou potencializar a produção enquanto fator de competitividade no mercado. Ocorre que, o manuseio de tais materiais, sem o conhecimento e a proteção adequada, pode desencadear o surgimento de patologias diversas, deixando a saúde do obreiro suscetível a riscos ainda desconhecidos, motivo pelo qual o ambiente laboral, por congregar uma multiplicidade de pessoas que convivem com familiares e amigos em outros ambientes, precisa receber atenção especial (ORTIGARA, 2020, p. 210; GOMES, ENGELMANN, 2018, p. 84-85).

Hohendorff, Coimbra e Engelmann (2016, p. 152) apontam que a inquietação quanto às nanotecnologias e a saúde do trabalhador é que se desconhecem publicamente os possíveis riscos que as nanotecnologias, já utilizadas no cotidiano social, podem gerar para as pessoas e o meio ambiente. Na prática, nada ou pouco existe em termos de regulação jurídica, não se tendo conhecimento sólido sobre suas propriedades físico-químicas, seu potencial de degradação e de acumulação no meio ambiente, sua toxicidade ambiental e em relação ao trabalhador em contato com as nanotecnologias.

Um dos pontos centrais quanto às potenciais ameaças nanotecnológicas diz respeito ao tamanho dos materiais criados, manipulados em nanoescala. Se o nível atômico, molecular ou macromolecular faz com que essa ciência tenha potencial para revolucionar o futuro da humanidade em praticamente todos os setores da vida em sociedade, é justamente o tamanho dos compostos que acarreta preocupação aos estudiosos (NOLASCO, 2016, p. 55-56).

Reduzir o tamanho dos materiais à nanoescala pode ocasionar mudanças significativas em suas propriedades. Pelo fato de serem tão pequenas, as nanopartículas possuem uma grande relação superfície/volume que é um dos fatores responsáveis por novas propriedades físicas e químicas. Assim, um material perfeitamente seguro para ser manuseado em tamanho maior, pode, em nanoescala, facilmente penetrar na pele e na corrente sanguínea na forma de nanopartícula. Deste modo, poderá haver uma facilidade

para um material nanométrico invadir órgãos e/ou sistemas e se acumular, sendo que, as consequências são desconhecidas (ARCURI, 2012, p. 04-06). É por isso que estudar os riscos da nanotecnologia insere o ser humano em um ambiente em que os efeitos positivos e negativos estão em escala invisível e, com a modificação das propriedades físico-químicas, esse risco fica potencialmente maior (ENGELMANN; HOHENDORFF; LEAL, 2018, p. 85).

A nanotecnologia ainda está envolta num cenário de incertezas e inseguranças. Seja pelo tamanho das partículas, seja pela variedade de nanomateriais, os riscos à saúde humana ainda estão em campo desconhecido. A falta de regulamentação jurídica específica que indique os mecanismos e testes que possam ser realizados impede que se tenha um rol dos eventuais perigos a curto, médio ou longo prazo. Evidentemente, o desenvolvimento tecnológico não pode parar, todavia, a observância da precaução é um caminho apto para se preservar bens jurídicos essenciais, como a saúde e a vida humana.

Como afirmado alhures, a dimensão dos nanomateriais abre espaço para múltiplas vias de exposição do trabalhador a esses compostos, facilitado seu ingresso no corpo humano. Assim, seja pela inalação, pela ingestão ou mesmo pela absorção, os trabalhadores podem ser vítimas dos efeitos nocivos das nanopartículas.

A inalação desponta como a via mais comum de exposição, na medida em que as nanopartículas irão se alojar nas vias respiratórias e pulmões, alcançando a corrente sanguínea e podendo espalhar-se para outros órgãos e tecidos. A ingestão também é uma possibilidade, visto que as práticas incorretas de manuseio de materiais e substâncias pode fazer com que o simples levar as mãos ao rosto seja o meio para ingerir compostos nanotecnológicos que, são invisíveis a olho nu, mas que poderão chegar a diversos órgãos do corpo. A absorção de nanopartículas pela pele humana também é um fator de risco, posto que uma partícula nanotecnológica é menor que o poro da pele, facilitando seu ingresso no organismo (SILVA, FARIAS, MARANHÃO, 2019, p. 853; UGT PORTUGAL, 2020, p. 08-09).

Neste contexto, de avanços significativos e de riscos ainda desconhecidos, a nanotecnologia continuará a ser utilizada na criação de novas propriedades aos materiais, ofertando novas possibilidades em variados setores e cuja apropriação e utilização é realidade nos setores industriais. A questão é que aqueles que estarão em contato direto com nanopartículas possuem o direito de desempenharem suas atividades protegidos de riscos potenciais, cujo desdobramento para sua saúde é incerto. Esse risco emergente

precisa ser levado em consideração pelas autoridades públicas, empresários e sindicatos, para que o trabalhador, na busca do seu sustento e de sua família, não acabe recebendo apenas patologias e sofrimentos diversos.

O aumento de pesquisas, nesse sentido, é o caminho para monitorar essas ameaças e proteger a saúde humana. O Brasil possui uma série de iniciativas e programas visando à orientação e incentivo de ações na área da nanotecnologia, considerada uma tecnologia estratégica para o desenvolvimento social e econômico. Porém, o país ainda necessita de um marco legal, capaz de regular o aprimoramento e a possível nocividade desses produtos à saúde e ao meio ambiente. Como ainda não se tem um conhecimento sólido sobre os potenciais riscos desses materiais, o Estado, através de seus órgãos competentes, deve observar o princípio da precaução, conquanto que o grau das ameaças ainda é inconclusivo, logo, o tratamento do risco revela-se razoável para proteger as pessoas.

No campo legislativo, constatou-se a tramitação do Projeto de Lei (PL) n° 880/2019 no Senado (BRASIL, 2019). Esse PL pretende a criação do Marco Legal da Nanotecnologia e estabelece incentivos ao desenvolvimento científico, pesquisa, capacitação e inovação no âmbito da nanotecnologia. Objetiva conferir maior segurança jurídica à pesquisa e à manufatura com nanotecnologia e materiais avançados ou novos materiais no país. Composto por 15 artigos, foi aprovado na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania em 19 de fevereiro de 2020, agregando-se uma Emenda.

A Emenda 1, com 08 artigos, apresentada e aprovada na Comissão, acresceu que as atividades de inovação e de pesquisa científica, tecnológica e nanotecnológica devem observar princípios que assegurem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, dentre os quais: da precaução; da consideração dos impactos; da responsabilidade do produtor; da participação e da informação ao público e à sociedade (artigo 2º, I, III, V e VII), assim como, respeitar diretrizes visando reduzir os riscos inerentes ao trabalho, entre as quais: a proteção da saúde do público, consumidores e trabalhadores; a implementação de medidas específicas de saúde do trabalho; a avaliação e controle dos possíveis impactos à saúde dos trabalhadores e a informação adequada e contextualizada (artigo 3º, I, II, III e V).

Cumpre frisar que o PL projeta a necessidade de se construir, futuramente, uma Política ou Programa Nacional de Nanosseguurança, como se produtos e serviços criados a partir da nanotecnologia ainda não estivessem no mercado de consumo brasileiro. Evidentemente, o PL ainda está tramitando, o que significa que poderá sofrer acréscimos

e/ou reduções em seu texto. Atualmente, está tramitando na Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática do Senado Federal.

Por fim, cumpre destacar que em 2013 foi lançada a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), cujo objetivo é criar, integrar e fortalecer ações governamentais na área de nanotecnologia, com foco na promoção da inovação na indústria e no desenvolvimento econômico e social. Em 2019, pela Portaria nº 3.459/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, a IBN foi instituída como principal programa estratégico para incentivo da nanotecnologia no país. Diversas ações de promoção e fomento foram implementadas no âmbito da IBN, com destaque para o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias; a criação de Redes de Centros de Inovação em nanotecnologias no âmbito do Sistema Brasileiro de Tecnologia; o apoio a projetos de cooperação internacional, em especial o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia e o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (BRASIL, s.d.).

Apesar desses avanços para a promoção da pesquisa, visualiza-se que estas iniciativas não objetivam implementar medidas de segurança e uma gestão de riscos, em especial para trabalhadores em seu meio ambiente laboral, tampouco para os consumidores, frisando-se que produtos fabricados a partir de materiais nanotecnológicos já estão sendo comercializados no mercado brasileiro. Ora, o crescimento tecnológico é importante, porém, não se pode descuidar dos potenciais impactos de qualquer tecnologia para o meio ambiente e para o ser humano.

O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO E SUA APLICABILIDADE PARA A PROTEÇÃO DA SAÚDE DO TRABALHADOR E A IMPORTÂNCIA DA ATUAÇÃO SINDICAL

O uso das nanotecnologias, considerada uma revolução tecnológica, nos setores da indústria e serviços é uma realidade frente à expansão da indústria 4.0, fazendo com que essas inovações técnicas alcancem o mundo do trabalho, forçando-o a passar por mudanças, seja nos novos processos de produção, nas novas condições de trabalho, e, nesse contexto, envolto na utilização e expansão de sistemas cibernéticos, *internet* das coisas, inteligência artificial, corrobora para o aprimoramento dos negócios empresariais quanto à eficiência, custos, agilidade.

Ocorre que, ao passo que a criação de materiais nanotecnológicos e aplicação em cadeias produtivas é acelerada, estudos que busquem analisar seus impactos na saúde

humana ainda são incipientes, a começar pela ausência, a exemplo do Brasil, de uma regulamentação normativa capaz de prever políticas de mapeamento de riscos gerados.

A Associação Nacional de Medicina do Trabalho (ANAMT, 2018, s.p.) alerta que o uso amplo e diversificado de nanomateriais no setor industrial dificulta estimativas sobre o número de trabalhadores expostos aos efeitos ambientais e de saúde dessas tecnologias, alertando que estruturas como dióxido de titânio, fulerenos, nanopartículas de ouro, nanopartículas de prata, nanotubos de carbono e polímeros, possuem potencial de causar doenças nos seres humanos. Inclusive, alguns tipos de nanotubos de carbono, úteis para indústrias de materiais plásticos, nas conduções térmica e elétrica, na construção civil, na produção de carros e aeronaves e até mesmo na medicina, apresentam potencial cancerígeno, o que denotaria serem muito tóxicos.

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho emitiu um informativo intitulado “A gestão dos nanomateriais no local de trabalho” (EU-OSHA, s.d.), nele é explicitado que nem todos os nanomateriais fabricados implicam riscos concretos à saúde humana. Ademais, alguns deles apresentam esse potencial nocivo, sendo, por isso, necessária uma abordagem caso a caso, afastando-se generalizações.

A Agência também relata que os efeitos dos nanomateriais que suscitam maior preocupação ocorrem nos pulmões e incluem, entre outros, inflamação e lesões nos tecidos, aparecimento de fibroses e tumores. O sistema cardiovascular também pode ser afetado. Alguns tipos de nanotubos de carbono podem ter os mesmos efeitos que o amianto. Além dos pulmões, descobriu-se que os nanomateriais podem afetar também outros órgãos e tecidos, incluindo o fígado, os rins, o coração, o cérebro, os ossos e os tecidos moles. Por isso, uma gestão prudente de riscos se revela mecanismo hábil, para eliminar ou substituir materiais e processos perigosos e minimizar a exposição, através da adoção de medidas preventivas e hierarquizadas (EU-OSHA, s.d.).

Dentro de um contexto de riscos ainda desconhecidos em sua totalidade pela ciência, a aplicação do princípio da precaução, de origem jusambiental, se revela pertinente, visto que em seu nascedouro objetiva mitigar riscos desconhecidos e futuros que, *in casu*, podem ser produzidos pela manipulação de nanomateriais e que atingirão aqueles que, cotidianamente, podem estar em contato com nanopartículas em suas atividades, ou seja, os trabalhadores. Ora, a utilização de novas tecnologias e novos processos de produção, como biotecnologias e nanotecnologias, podem carrear riscos profissionais ao ser humano que trabalha.

Pyrrho e Schramm (2012, p. 2.024) defendem que a toxicidade das nanopartículas e dos materiais nanoestruturados depende de uma complexa interação de fatores como tamanho, concentração, tempo de exposição, estado de saúde e características individuais do organismo exposto, no caso, o trabalhador. Porém, seria um erro afirmar que os mecanismos de toxicidade das nanopartículas são plenamente conhecidos. Isso se dá porque aquilo que faz a nanotecnologia parecer tão revolucionária — o comportamento diverso das nanopartículas em relação às formas brutas do mesmo material — é também aquilo que torna seus potenciais efeitos sobre a saúde e meio-ambiente imprevisíveis.

Como ressalta a Agência Europeia (EU-OSHA, s.d.), nanomateriais fabricados já se encontram presentes num amplo leque de produtos e aplicações, em diversas partes do mundo, sendo que alguns desses nanomateriais são já usados há décadas, tais como a sílica sintética amorfa, em betão, pneus e produtos alimentares. Mais recentemente foram descobertos o dióxido de nanotitânio, usado como agente bloqueador de raios UV em tintas ou protetores solares; a nanoprata, usada como agente antibacteriano em aplicações têxteis e medicinais; ou os nanotubos de carbono, frequentemente utilizados pela sua resistência mecânica e leveza, e pelas suas propriedades de dissipação do calor e de condutividade elétrica em aplicações como a eletrotécnica, o armazenamento de energia, as estruturas de aeronaves espaciais e veículos e o fabrico de equipamento desportivo.

O mundo assiste a um progressivo desenvolvimento de novas gerações de nanomateriais, os quais serão acompanhados pelo crescimento do seu mercado consumidor. Essa tecnologia tende a se expandir, a gerar novos produtos, materiais, compostos, e sua aplicação é múltipla, desde a medicina, na química, na engenharia, na informática. Porém, a exposição dos trabalhadores aos nanomateriais também é uma realidade, e pode ocorrer não apenas na fase de produção, como também, ao longo das diversas fases da cadeia de abastecimento, onde mais trabalhadores podem ser expostos sem sequer saberem que estão em contato com nanomateriais. (EU-OSHA, s.d.)

Um estudo chinês, datado de 2009 e publicado na *European Respiratory Journal*, documentou que sete jovens chinesas sofreram danos permanentes aos pulmões e duas delas morreram depois de trabalharem durante meses, sem proteção, numa fábrica de tintas que usava nanopartículas. Os cientistas afirmaram que esse estudo é o primeiro a registrar malefícios causados por nanotecnologia na saúde humana, denotando que o diâmetro diminuto das nanopartículas significa que podem penetrar as barreiras naturais do corpo, particularmente por contato com pele machucada ou por inalação ou ingestão,

logo, o uso de técnicas adequadas de proteção e higiene industrial são essenciais. (ESTADÃO, 2009, s,p.)

Neste contexto, de perigos ainda desconhecidos em sua integralidade, o princípio da precaução servirá ao objetivo de prevenir e evitar a ocorrência de situações que se mostrem efetivamente aptas à causação de dano à saúde do trabalhador. Em outros termos, a mera possibilidade teórica de risco e efeitos nocivos autoriza sua aplicação, alicerçada em uma verdadeira gestão de riscos.

Para Fiorillo (2020, p. 58), o princípio da precaução se revela um critério de gestão de risco a ser aplicado sempre que existirem incertezas científicas sobre a possibilidade de um produto, evento ou serviço desequilibrar o meio ambiente ou atingir a saúde humana, no caso, prejudicar a saúde dos trabalhadores, o que exige que o Poder Público analise os riscos, avalie os custos das medidas de prevenção e execute as ações necessárias, as quais serão decorrentes de decisões universais, não discriminatórias, motivadas, coerentes e proporcionais.

A ideia é que seja realizada uma verdadeira avaliação vinculada à administração de probabilidades de perigo ligadas à incerteza no campo da ciência, sendo necessário sopesar os aspectos positivos e negativos e vinculá-los à possibilidade de um acontecimento e das suas consequências, interligados às atividades econômicas que usam nanopartículas em sua cadeia produtiva. Desta forma, como aduz Machado (2018, p. 95), onde houver dúvida científica sobre ameaça de danos sérios ou irreversíveis ao meio ambiente ou ao ser humano, incidirá o princípio da precaução, cujo desdobramento deverá ser a adoção de medidas eficazes e viáveis prevenindo riscos futuros.

E mais, uma vez demonstrada a potencialidade nociva de um negócio empresarial, cabe ao empreendedor demonstrar, cabalmente, que sua atividade não apresenta qualquer risco ao meio ambiente ou às pessoas. Caso contrário, restando dúvida, o princípio da precaução autoriza que a atividade não seja desenvolvida, evitando-se, deste modo, o próprio risco ainda imprevisto (MACHADO, 2018, p. 118). O foco, aqui, é evitar qualquer risco de dano, seja na esfera do meio ambiente, seja no âmbito do ser humano individualmente considerado, detentor de dignidade humana, fazendo com que as empresas que utilizam nanopartículas em seu processo produtivo realizem uma competente gestão de riscos, protegendo seus trabalhadores.

Inclusive, como defendem Silva, Farias e Maranhão (2019, p. 855), havendo dúvida concreta quanto à própria existência de riscos severos à saúde humana, a própria

opção empresarial de utilização da nanopartícula há também de ser colocada em discussão. Ora, se existem certeza, severidade e extensão do risco à saúde dos trabalhadores, o funcionamento ou o início da atividade deve ser precedida, necessariamente, de uma implementação de controles suficientes para prevenir lesões e doenças.

Evidentemente, a inexistência de um marco legal, ou de normas regulamentadoras, fez nascer inquietação quanto à possível judicialização de situações que versem sobre o uso de nanotecnologias no ambiente laboral, notadamente sobre doenças do trabalho e indenizações. Estudo de Castro e Pasqualetto (2016, p. 197), ao pesquisar índices de judicialidade na Justiça do Trabalho, com marco temporal fixado até 2016, encontraram apenas dois dissídios coletivos de natureza econômica, no Tribunal Regional do Trabalho da 15ª Região, envolvendo cláusulas de acordos coletivos de trabalho sobre nanotecnologia, saúde e segurança no ambiente de trabalho.

Deste modo, abarcando o interregno entre 30 de abril de 2017 a 30 de abril de 2022, e usando as palavras-chave “nanotecnologia”, “nanomateriais” e “nanopartículas”, realizou-se pesquisa jurisprudencial nos vinte e quatro Tribunais Regionais do Trabalho e no Tribunal Superior do Trabalho, objetivando encontrar dissídios individuais e coletivos que tratem da manipulação ou contato direto com nanopartículas ou nanomateriais e de efeitos nocivos como eventual desdobramento.

Ao fim da pesquisa, constatou-se a inexistência de qualquer litígio nos vinte e cinco tribunais do trabalho acessados, observando os parâmetros adotados, denotando, possivelmente: 1) inoccorrência de demandas tratativas de doenças do trabalho com descoberta de nexos com o manuseio ou contato com materiais nanotecnológicos; ou, 2) inexistência de efeitos nocivos da nanotecnologia; ou, então, 3) adoção de controles preventivos, eficientes e eficazes, que estão neutralizando a ocorrência de lesões ou doenças. Convém acrescentar, uma vez mais, que os riscos nanotecnológicos ainda não estão satisfatoriamente claros ao público, o que pode colaborar para a formação de um quadro de desconhecimento quanto ao próprio uso e manuseio de nanopartículas na cadeia de produção, ou sua ligação a doenças.

De qualquer forma, a inexistência de demandas tratando, especificamente, da nanotecnologia, não afasta a importância da atuação sindical nesta nova realidade. Insumos e produtos com nanomateriais em sua composição estão sendo empregados pela indústria, seja na criação de produtos intermediários ou finais, e estão sendo manipulados

por trabalhadores e postos à disposição dos consumidores. E, a falta de informação, clara e precisa, sobre esses compostos atinge ambos os segmentos. Tal situação merece ser acompanhada pelos sindicatos, na medida em que defendem os interesses da classe obreira, notoriamente seu direito à saúde e a um meio ambiente do trabalho equilibrado.

Deste modo, as Comissões Internas de Prevenção de Acidentes (CIPA's) e os sindicatos precisam exigir das empresas informações sobre a efetiva utilização de nanotecnologia no processo produtivo, seus malefícios à saúde dos trabalhadores e quais medidas preventivas serão adotadas para neutralizar os efeitos nocivos à saúde. Logo, um controle e uma gestão de riscos são políticas convenientes para o quadro de incertezas instalado. E, não apenas essas instituições, mais também, o Ministério Público do Trabalho (MPT) e os auditores fiscais do trabalho. A cooperação interinstitucional é caminho salutar para que os avanços da nanotecnologia não representem benefícios ao setor empresarial e prejuízos aos trabalhadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia representa um novo patamar da revolução tecnológica no mundo, gerando possibilidades até então inimagináveis, como a criação de novas formas de matéria e estruturas em nível atômico e molecular. Isso gera impactos diretos nos setores econômico, social e cultural, uma vez que foi atingido um novo estágio do conhecimento científico que, inevitavelmente, precisa ser analisado e regulado, para que seus eventuais riscos, à pessoa e ao meio ambiente, sejam neutralizados.

A regulamentação normativa precisa ser efetivada, posto que os avanços proporcionados pela nanotecnologia são inúmeros e sua aplicação na fabricação de múltiplos produtos é realidade. O trabalhador que mantém contato direto ou manipula materiais que utilizam nanopartículas precisa estar ciente desta situação e protegido dos possíveis efeitos nocivos que esses compostos podem desencadear em sua saúde. E, neste ínterim, a atuação sindical se revela meio hábil para cobrar transparência e medidas de segurança a serem adotadas pelas empresas, dentro de uma competente gestão de riscos no ambiente laboral. E mais, o Estado também precisa atuar, fiscalizando empreendimentos e cobrando ações, à luz do princípio da precaução, que salvaguardem a saúde e a dignidade dos trabalhadores, e isso num contexto em que as patologias e suas consequências não são conhecidas em sua inteireza. Logo, a ausência de um marco legal,

mesmo existindo riscos em potencial, se revela forma de violação ao direito à saúde do trabalhador, segmento vulnerável nas relações de trabalho.

Portanto, acredita-se que a elaboração de um Marco Legal das Nanotecnologias, de uma política empresarial de gestão de riscos e adoção de mecanismos eficazes de proteção à saúde do trabalhador, aliado à atuação das entidades sindicais, CIPA, MPT e Poder Público, à luz do postulado jusambiental da precaução, será possível tornar esta revolução científico-tecnológica verdadeiramente segura para o trabalhador. As novas tecnologias devem, sempre, ser úteis ao ser humano, medida necessária para o progresso da humanidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (EU-OSHA). **A gestão dos nanomateriais no local de trabalho**. Nanomateriais – Riscos emergentes, s.d. Disponível em: <https://osha.europa.eu/pt/emerging-risks/nanomaterials> Acesso em: 04 abr. 2022.

APOLINARIO, Alexandra Conceição; SALATA, Giovanna Cassone; BIANCO, Arthur F. R.; FUKUMORI, Claudio; LOPES, Luciana Biagini. Abrindo a caixa de pandora dos nanomedicamentos: há realmente muito mais ‘espaço lá embaixo’. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 212-225, Fev. 2020. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=8037. Acesso em: 05 mar. 2022.

ARCURI, Arline Sydneia Abel; PONTES, Jorge Marques. *Nanotecnologia e seus impactos na saúde, meio ambiente e no mundo do trabalho*. In: HESS, Sonia Corina (Org.). **Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil**. 1. ed. – São Paulo: Outras Expressões, 2018, p. 315-336.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO (ANAMT). **Alerta sobre riscos da nanotecnologia para o trabalhador**. Saúde no trabalho / 26 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.anamt.org.br/portal/2018/02/26/alerta-sobre-riscos-da-nanotecnologia-para-o-trabalhador/#:~:text=%E2%80%9CAlguns%20tipos%20de%20nanotubo%20de,riscos%20significativos%E2%80%9D%2C%20diz%20Arline>. Acesso em: 09 abr. 2022.

BERWIG, Juliane Altmann. **A gestão dos riscos ambientais da nanotecnologia a partir de estudo de um caso: a elaboração de *framework* com fundamento no sistema do direito ambiental brasileiro**. Tese (Doutorado em Direito Público), 475 f. – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Direito, São Leopoldo, RS, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7791> Acesso em: 05 fev. 2022.

BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson. *A nanotecnologia: do fascínio ao risco*. In: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (Orgs.). **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017, p. 39-74.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Nanotecnologia**. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECONOLOGIA.html . Acesso em: 02 mar. 2022.

BRASIL. **Projeto de lei nº 880, de 19 de fevereiro de 2019**. Diário do Senado Federal. 20 fev. 2019. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. Acesso em: 25 mar. 2022.

CASTRO, Janaína Vieira de; PASQUALETO, Olívia de Quintana Figueiredo. Nanotecnologia, saúde e segurança no trabalho: espaço para regulação. **Revista Dos Estudantes De Direito Da Universidade De Brasília**, (12), 2016, 195–212. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/redunb/article/view/13520> Acesso em: 27 abr. 2022.

CENTRO ECOLÓGICO. **Nanotecnologia – A manipulação do invisível**. Coleção Novas Tecnologias. 2009. Organização: Maria José Guazzelli e Julian Perez. Disponível em: https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Nanotecnologia_-_a_manipulacao_do_invisivel. Acesso: 02 fev. 2022.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; LEAL, Daniele Weber S. Nanotecnologias e a evolução das teorias sobre risco: a atenção para o nanowaste e sua adequada gestão. **Cadernos de Direito Actual** N° 10. Núm. Ordinario (2018), pp. 79-118. Disponível em: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/328> Acesso em: 15 fev. 2022.

ESTADÃO (O Estado de São Paulo). **Estudo chinês documenta mortes por nanotecnologia**. Ciência, Reuters. São Paulo, 19 de agosto de 2009. Disponível em: <https://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,estudo-chines-documenta-mortes-por-nanotecnologia,421451> Acesso em: 23 jan. 2022.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 20. ed. - São Paulo: Saraiva Educação, 2020.

GOMES, Claudino; ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e a vulnerabilidade dos trabalhadores em seu ambiente laborativo: os desafios gerados pela in (existência) de normas protetivas trabalhistas. **Rev. de Direitos Fundamentais nas Relações do Trabalho, Sociais e Empresariais**. Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83–105. Jul/Dez. 2018. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/revistadireitosfundamentais/article/view/4865/pdf> Acesso em: 02 maio 2022.

HOHENDORFF, Raquel Von; COIMBRA, Rodrigo; ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias, os riscos e as interfaces com o direito à saúde do trabalhador. **Revista de informação legislativa**, v. 53, n. 209, p. 151-172, jan./mar. 2016. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/53/209/ril_v53_n209_p151. Acesso em: 14 mar. 2022.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 26. ed., rev., ampl., e atual. – São Paulo: Malheiros, 2018.

NOLASCO, Loreci Gottschalk. **Regulamentação jurídica da nanotecnologia**. Tese (Doutorado em Biotecnologia), 417 f. – Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biodiversidade. Goiânia, GO, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6252> Acesso em: 15 jan. 2022.

NOVO, Magda Suzana. **Nanociências, nanotecnologia: uma visão desde seu nascimento até a apresentação das temáticas à sociedade**. Tese (Doutorado em Educação em Ciências), 94 f. – Universidade Federal do Rio Grande. Programa de Pós-Graduação em Ciências: Química da Vida e da Saúde, Rio Grande, RS, 2013. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/4816> Acesso em: 10 fev. 2022.

ORTIGARA, Rudinei Jose. Nanotecnologias e riscos no ambiente de trabalho: a proteção ao trabalhador a partir do princípio da precaução. **Percurso – Anais do IX CONBRADEC**. Vol. 02, nº 33, Curitiba, 2020, p. 210-232. Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/percurso/article/view/4361>. Acesso em: 10 maio 2022.

PRNewswire. **Global Nanopharmaceutical Drugs Market is Expected to Reach \$79.29 Billion by 2026 (BIS Research)**. California, December 11, 2018. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-nanopharmaceutical-drugs-market-is-expected-to-reach-79-29-billion-by-2026-832020991.html> Acesso em: 10 jan. 2022.

PYRRHO, Monique; SCHRAMM, Fermin Roland. A moralidade da nanotecnologia. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 28(11):2023-2033, nov, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/dWdK5cbj9rsTWGjQ5ZYJTgt/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 maio 2022.

SILVA, Janice M. Pontes da; FARIAS, Maria Ruffeil; MARANHÃO, Ney. **Nanotecnologia e meio ambiente laboral: abordagem à luz do princípio jusambiental da precaução**. In: Seminário internacional de pesquisa (re)pensando o trabalho contemporâneo: o futuro do trabalho. Franca: UNESP-FCHS, 2019. v. 3. p. 847-862. Disponível em: https://www.franca.unesp.br/Home/Departamentos31/direitoprivado/anaisdeeventos/01-anais_ivrepensando_2019_final.pdf Acesso em: 08 mar. 2022.

UGT PORTUGAL (União Geral dos Trabalhadores – Portugal). **Nanomateriais no Local de Trabalho: Riscos, Efeitos na Saúde e Prevenção**. Programa Operacional Inclusão Social e Emprego / União Europeia (Fundo Social Europeu) – 2020, 33 p. Disponível em: <https://www.ugt.pt/downloadcomunicados?comunicado=2457&file=6740cfd34a477aa0c4cc58d69c77e43a0cb004b0> Acesso em: 29 jan. 2022.

Recebido em: 05/05/2022

Aprovado em: 12/06/2022

Publicado em: 15/06/2022