



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NANOTECNOLOGIA: A revolução silenciosa na segurança do trabalho

PATRÍCIA DO SOCORRO PEREIRA MACÊDO ALMEIDA

Belém-PA
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PATRÍCIA DO SOCORRO PEREIRA MACÊDO ALMEIDA

NANOTECNOLOGIA: A revolução silenciosa na segurança do trabalho

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Jordan Del Nero

Belém-PA
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NANOTECNOLOGIA: A revolução silenciosa na segurança do trabalho

AUTORA: PATRÍCIA DO SOCORRO PEREIRA MACÊDO ALMEIDA

Dissertação submetida à banca examinadora aprovada pelo colegiado do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará-PA, sendo julgada e adequada para obtenção do grau em Mestre em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações.

APROVADA EM: 28/09/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Jordan Del Nero
Orientador – UFPA – PPGEE

Profa. Dr^a. Shirsley Joany dos Santos da Silva
Avaliador Externo/UFPA-Campus de Ananindeua

Prof. Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante
Avaliador Interno/UFPA PPGEE

VISTO:

Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso (Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

Este trabalho é dedicado para minha família, em especial a minha afilhada Penélope Macêdo, ao meu esposo Lamberto Almeida, a minha sogra Lúcia de Fatima, a minha cunhada Patrícia de Macêdo, meu irmão Gilmar de Macêdo, minha amiga Lucy Alves e minhas amigas Andreza Moreira e Ana Carla Barradas, que sempre me apoiaram nas horas difíceis me dando força para eu nunca desistir, e sempre dizendo que o conhecimento é a coisa mais importante na vida, pois, é a eles que devo tudo que sou. A minha família Pereira que sempre acreditou e me incentivou para eu vencer as dificuldades.

Patrícia do Socorro Pereira Macêdo Almeida

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me ter dado a vida, a sabedoria para viver e fazer as melhores escolhas, a coragem para enfrentar os obstáculos e a oportunidade de, com meu próprio esforço, construir uma carreira profissional com dignidade e merecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jordan Del Nero, pelo apoio, compreensão, incentivo, paciência, uma das suas maiores qualidades.

Aos professores que passaram em minha vida deixando ensinamentos e conhecimentos, colaborando diretamente com a minha formação, não apenas como profissionais, mas como pessoas que me fizeram entender que é possível tornar nossos anseios realidade.

Meu carinhoso agradecimento ao meu esposo Lamberto que, esteve todo tempo ao meu lado, dando amor, carinho e amizade.

Agradeço aos meus pais, Rubens e Santa, meus irmãos Gilmar, Priscilla, Douglas e Pamela. Obrigado por todo amor e carinho.

A todos os meus familiares e amigos, pela torcida na superação e conquista de mais este desafio.

Enfim, agradeço a todos aqueles que direta e indiretamente me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Patrícia do Socorro Pereira Macêdo Almeida.

RESUMO

A pesquisa exploratória tem como objetivo analisar a regulamentação existente em relação à nanotecnologia e seu impacto na segurança dos trabalhadores. O estudo se concentrará em examinar os desafios específicos associados à nanotecnologia, incluindo a falta de dados toxicológicos adequados para avaliar os riscos, a complexidade da caracterização dos nanomateriais e as limitações das técnicas de monitoramento existentes. Um dos principais desafios enfrentados é a falta de dados suficientes sobre os efeitos à saúde dos trabalhadores expostos a nanomateriais. A nanotecnologia é uma área relativamente nova, e ainda há muito a ser aprendido sobre os possíveis efeitos adversos à saúde que esses materiais podem causar. A falta de dados toxicológicos adequados dificulta a avaliação precisa dos riscos e a implementação de medidas de proteção eficazes. Além disso, a caracterização dos nanomateriais também é uma tarefa complexa. Suas propriedades físicas e químicas únicas exigem métodos de análise especializados e técnicas avançadas. A falta de padronização nesse campo dificulta a compreensão completa dos nanomateriais e sua relação com os efeitos à saúde. Outro desafio é a limitação das técnicas de monitoramento disponíveis para avaliar a exposição dos trabalhadores a nanomateriais. Os métodos tradicionais de monitoramento podem não ser adequados para detectar e quantificar a presença de nanomateriais no ambiente de trabalho, devido ao seu tamanho diminuto e às suas propriedades únicas. Isso dificulta a avaliação precisa da exposição dos trabalhadores e a implementação de medidas de controle apropriadas. O estudo também se propõe a examinar as estratégias e abordagens adotadas por diferentes países e organizações internacionais para enfrentar esses desafios e garantir a segurança dos trabalhadores expostos à nanotecnologia. Isso pode incluir o desenvolvimento de regulamentações específicas, a promoção de pesquisas e estudos toxicológicos, a criação de diretrizes de boas práticas e a implementação de medidas de controle de engenharia e proteção individual. Em resumo, a pesquisa exploratória visa analisar a regulamentação existente e os desafios relacionados à segurança dos trabalhadores na área da nanotecnologia. Compreender e abordar esses desafios é essencial para garantir a proteção dos trabalhadores e promover o uso seguro e responsável da nanotecnologia na indústria.

Palavras-chaves: Nanotecnologia; Saúde do Trabalhador; Norma Regulamentadora.

ABSTRACT

The exploratory research aims to analyze existing regulations regarding nanotechnology and its impact on worker safety. The study will focus on examining the specific challenges associated with nanotechnology, including the lack of adequate toxicological data to assess risks, the complexity of characterizing nanomaterials, and the limitations of existing monitoring techniques. One of the main challenges faced is the lack of sufficient data on the health effects of workers exposed to nanomaterials. Nanotechnology is a relatively new field, and much remains to be learned about the potential adverse health effects these materials can cause. The lack of adequate toxicological data makes it difficult to accurately assess risks and implement effective protective measures. Furthermore, the characterization of nanomaterials is also a complex task. Its unique physical and chemical properties require specialized analysis methods and advanced techniques. The lack of standardization in this field makes it difficult to fully understand nanomaterials and their relationship to health effects. Another challenge is the limited monitoring techniques available to assess workers' exposure to nanomaterials. Traditional monitoring methods may not be adequate to detect and quantify the presence of nanomaterials in the work environment due to their small size and unique properties. This makes it difficult to accurately assess worker exposure and implement appropriate control measures. The study also sets out to examine the strategies and approaches adopted by different countries and international organizations to address these challenges and ensure the safety of workers exposed to nanotechnology. This may include developing specific regulations, promoting toxicological research and studies, creating good practice guidelines, and implementing engineering control and personal protection measures. In summary, the exploratory research aims to analyze existing regulations and challenges related to worker safety in the field of nanotechnology. Understanding and addressing these challenges is critical to ensuring worker protection and promoting the safe and responsible use of nanotechnology in industry.

Keywords: Nanotechnology; Worker's health; Regulatory standard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Escala nanométrica.....	15
Figura 2: Escala nanométrica -Outras Comparações.....	15
Figura 3: Abordagens de nano fabricação top-down e bottom-up.....	24
Figura 4: Exposição às Nanopartículas se dá por três vias: inalação, ingestão e pela pele.....	46
Figura 5: Exposição abaixo do limite de tolerância.....	77
Figura 6: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois apesar de alguns valores ultrapassarem o LT, a média ponderada ficou abaixo do LT e nenhum valor atingiu o valor máximo.....	77
Figura 7: Exposição acima do limite de tolerância, pois apesar da média ponderada ficar abaixo do LT, alguns valores superam o valor máximo.....	78
Figura 8: Exposição acima da tolerância, pois a média ponderada ficou acima do LT.....	78
Figura 9: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.....	79
Figura 10: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.....	80
Figura 11: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.....	80
Figura 12: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.....	81

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Tabela de limites de tolerância.....	79, 80 e 81
Tabela 2: Particulado Respirável e Inalável.....	83

LISTA DE SIGLAS

OIT Organização Internacional do Trabalho

SUS Sistema Único de Saúde

NR Normas Regulamentadoras

NR-15 Atividades e Operações Insalubres

NR-09 Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos

PVC Policloreto de Vinila

CLT Consolidação das Leis do Trabalho

EPI Equipamento de Proteção Individual

EPC Equipamento de Proteção Coletiva

MTE Ministério do Trabalho e Emprego

RNC Registro de não conformidade

SST Saúde e Segurança do Trabalho

OMS Organização Mundial de Saúde

ACGIH Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais

NM Nanômetro

NNI Iniciativa Nacional de Nanotecnologia

DNA **Ácido desoxirribonucleico**

NSF National Science Foundation

EMA Agência Européia de Medicamentos

IRG Conselho Internacional de Governança de Riscos

OSHA Occupational Safety and Health Administration

REACH Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas

CB Control Banding

PPM Parte por milhão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivo do Trabalho.....	18
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivo Específico	18
1.2.3 Fundamentação Teórica	20
CAPÍTULO 2: CONCEITOS	22
2.1 A Nanociência e Nanotecnologia suas Definições e Nomenclaturas	22
2.1.1 Mercado, Benefícios e Riscos da Nanotecnologias	26
2.2 Nanotecnologia e a Regulamentação no Brasil.....	32
2.2.1 As Implicações da Nanotecnologia para a Saúde Segurança do Trabalhador.40	
2.3 Meio Ambiente: Princípio Protetor do Trabalhador.....	441
2.4 Formas de Contaminação e os Perigos aos Trabalhadores Vulneráveis no Manuseio das Nanopartículas	45
2.6 As Normas do Direito Protetivos e seu Papel.....	46
CAPÍTULO 3: AS NANOTECNOLOGIAS E SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (SST).....	49
3.1 A Sst Na Nanotecnologia no Direito Coletivo do Trabalho	49
3.2 OS Efeito Ambiental da Nanotecnologia	52
3.3 Os Riscos Específicos em Relação à Segurança e Saúde no Trabalho	53
3.4 Identificação dos Possíveis Danos à Saúde e Formas de Infecção.	55
3.5 A Percepção dos Riscos e as Características Éticas	57
CAPÍTULO 4: MEIO AMBIENTE E A COMUNIDADE FRENTE AS NANOPARTÍCULAS	59
4.1 Particularização Sobre a Relação do Meio Ambiente e da Comunidade	59
4.2 Gestão de Riscos e as Atividades com Nanomateriais	60
4.3 O Princípio da Precaução.....	62
4.3.1 O Control Banding (CB).....	64
CAPITULO 5: METODOLOGIA	66
CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67

6.1NR 15 - Atividades e Operações Insalubres.....	67
6.2 ACGIH.....	81
CAPITULO7CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95 E 96

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Richard Feynman fez algumas contribuições expressivas para o campo da nanotecnologia, embora o termo em si tenha sido cunhado por Nório Taniguchi em 1974. Feynman antecipou muitos conceitos fundamentais da nanotecnologia em sua palestra intitulada "There's Plenty of Room at the Bottom" (Há Muito Espaço na Parte de Baixo), apresentado em dezembro de 1959 na reunião anual da American Physical Society (SOUZA, 2010).

Quase 15 anos depois da palestra de Feynman, Norio Taniguchi, foi o primeiro a usar a "nanotecnologia" para descrever processos semicondutores que ocorriam na ordem de um nanômetro. Ele defendia que a nanotecnologia consistia no processamento, separação, consolidação e deformação de materiais por um átomo ou uma molécula (HULLA, 2015).

Porém, o termo foi popularizado pelo cientista, engenheiro, tecnólogo, americano Dr. Kim Eric Drexler pela publicação de seu livro, "Engines of Creation", - em uma tradução livre, Engrenagens da Criação -, para expressar a nova tecnologia em que as máquinas de tamanhos nanometricos manipulariam os átomos (FANFAIR, 2017).

Em 1981 foi feito o primeiro microscópio de tunelamento (STM - Scanning Tunneling Microscopy), pelos cientistas Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, da IBM de Zurich, que acabaram recebendo o Prêmio Nobel de Física em 1986 por essa descoberta, que facilitava ainda mais os estudos da nanotecnologia por possibilitar imagens em escala atômica, tecnologia até então considerada impossível na história da ciência. Desde então, várias descobertas importantes foram feitas como os nanotubos de carbono, por Iijima em 1991, os nanotubos revolucionaram a nanotecnologia, pois exibiram resistência mecânica muito alta e capacidade de aplicações singulares que hoje fazem parte de vários materiais cujas aplicações variam de bicicletas a condutores e semicondutores de circuitos eletrônicos (FULEKAR, 2010).

Desde a afirmação visionária de Richard Feynman em 1959 a respeito da nanotecnologia, e a primeira aplicação nos anos 80, é notória a ascensão de descobertas e aplicações dessa nova tecnologia. A utilização da nanociência em

diversas áreas alterou profundamente o cenário atual do mundo, devido às suas vantagens sobre os produtos convencionais (SANTOS, 2015).

As dificuldades colocadas pela transformação tecnológica, a chamada "Quarta Revolução Industrial", e a conseqüente ruptura histórica com o pós-modernismo. Isto marca uma virada na história, inaugurando uma vasta gama de avanços tecnológicos, incluindo, mas não limitados à inteligência artificial, robôs, a Internet das Coisas, veículos autônomos, impressão 3D, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia, computação quântica e nanotecnologia (o foco desta pesquisa).

Diante da evolução nanotecnologia, surge inumeráveis oportunidades e avanços no sentido de trazer melhorias a qualidade de vida e, também, para contribuir com a preservação do meio ambiente. Porém, como acontece em todas as áreas envolvendo tecnologias que utilizam intensamente materiais sintéticos e substâncias químicas, a nanotecnologia traz consigo, e isso é inerente, a potencialidade de riscos ao meio ambiente e a saúde humana.

Pois, a manipulação da matéria em escala nanométrica é um dos principais focos das pesquisas em desenvolvimento tecnológico da atualidade.

Para compreender a referida escala, é necessário saber que o prefixo "nano", com origem no grego, significa "anão" (DA RÓZ et al, 2015, p. 3). A nano escala indica que "1 nanômetro (nm) nada mais é que 1 bilionésimo de 1 metro ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$ metros)". Pode-se exemplificar a dimensão de um "nano" de diversas formas, o tamanho é equivalente a aproximadamente 100 mil vezes menor do que um fio de cabelo, 30 mil vezes menor do que um dos fios de uma teia de aranha ou, 700 vezes menor que um glóbulo vermelho (BORJES; GOMES; ENGELMANN, 2014, p. 6-7). Ou ainda, para efeito de comparação: "a relação de tamanho entre uma bola de futebol e o planeta Terra, é aproximadamente a mesma entre a bola e uma esfera de 60 átomos de carbono conhecida como fulereno C-60 (...).

Em menor escala, um vírus comum tem entre 45 nm e 200 nm" (DA RÓZ et al, 2015, p. 4). As duas figuras a seguir possuem comparações de escala a partir da escala manométrica.

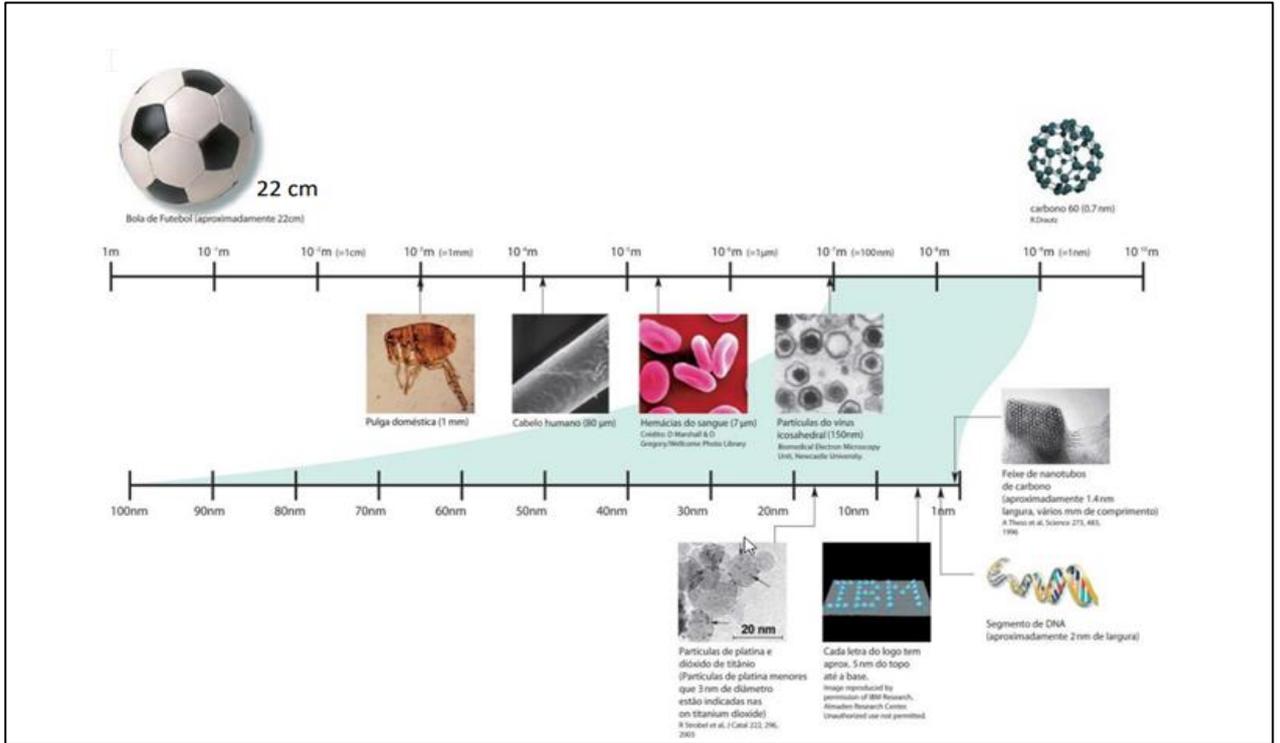


Figura 01: Escala nanométrica.

Fonte: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties (Royal Society).

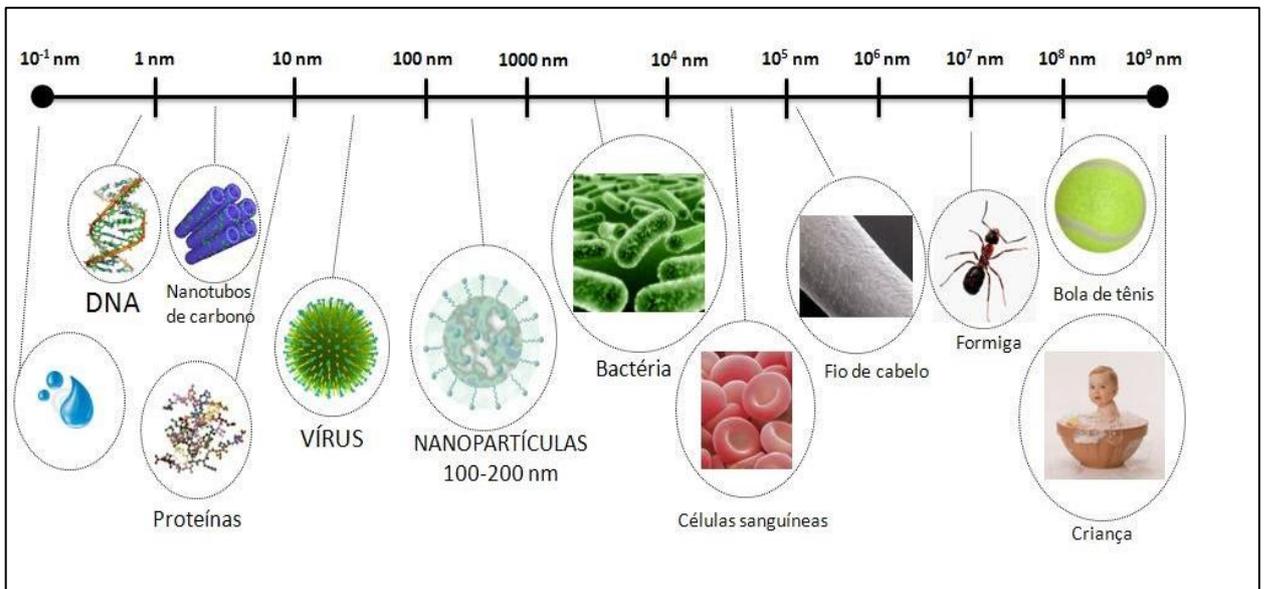


Figura 02: Escala nanométrica – Outras Comparações

Fonte: Cosmetologia in radice

Neste sentido, apesar de representar um assunto recente, “o tema nanotecnologia vem sendo utilizado e estudado há muito tempo, mas sem o conhecimento da relação entre escala, produto e efeito final” (DA RÓZ et al, 2015, p. 6). Significa dizer que o homem manipulava a matéria, porém não sabia que os resultados obtidos eram consequência da manipulação nanométrica.

Dada a escassez de conhecimentos e a exposição a materiais nanométricos pode ocorrer que em diferentes etapas, desde a síntese e produção até a utilização e descarte. Embora os benefícios e as oportunidades fornecidas pela nanotecnologia sejam inegáveis, é essencial garantir uma proteção adequada aos trabalhadores que lidam com esses materiais, a fim de minimizar os riscos à saúde e assegurar um ambiente de trabalho seguro (MARTINEZ, 2013).

Nesse contexto, a regulamentação desempenha um papel crucial na implementação de medidas de segurança e na definição de diretrizes para a proteção dos trabalhadores. A falta de conhecimento científico completo sobre os efeitos dos nanomateriais na saúde humana, combinados à velocidade com que novos nanomateriais são apresentados e apresentados no mercado, torna a regulamentação um desafio complexo e em constante evolução (Moreira, 2022).

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, existe um certo desconhecimento sobre nanomateriais, principalmente seus usos e aplicações por muitas empresas, assim como sobre legislação específica que contemple o uso destes materiais em processos industriais e carência de estudos que possam nortear tanto as empresas quanto os profissionais da área de segurança e saúde no trabalho sobre uso de matérias primas em escala nanométrica (HOHENDORFF, COIMBRA e ENGELMANN, 2015).

Atualmente, o uso de materiais em escala nanométrica não está previsto nas Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, conforme redação dada pela Lei n.º 6.514, de 22 de dezembro de 1977 do Ministério de Trabalho e Emprego, Portaria 3. 214/78 de 8 de junho de 1978, estabelecendo as Normas Regulamentadoras, das quais destaca – se para fins de comparação de limites de exposição ocupacional a NR 15 – Atividades e Operações Insalubres, não estabelece LT – Limite de Tolerância ou parâmetros para enquadramento qualitativo de tais materiais.

A NR-15 estabelece as atividades que devem ser consideradas insalubres, gerando direito ao adicional de insalubridade aos trabalhadores. É composta de uma parte geral e mantém 13 anexos, que definem os Limites de Tolerância para agentes físicos, químicos e biológicos, quando é possível quantificar a contaminação do ambiente, ou listando ou mencionando situações em que o trabalho é considerado insalubre qualitativamente. (FUNDACENTRO, 2023).

No campo da segurança e saúde no trabalho, as discussões sobre as nanotecnologias, a priori, tem sido realizada pela ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que, através de seu Edital de Chamamento Público nº 2, datado de 21/05/2018, solicitou a apresentação de propostas pela comunidade acadêmico-científica, industrial e terceiro setor de estudos experienciais para servidores da Anvisa, no que tange a diversas práticas emergentes, dentre elas o uso de nanotecnologias em materiais de uso em saúde (ANVISA, 2018).

Para uma grande empresa, acompanhar esse desenvolvimento pode significar maiores lucros no futuro. Se por um lado esse avanço científico trará benefícios as empresas, por outro vem deixando pesquisadores da área de saúde e segurança dos trabalhadores em alerta quanto aos riscos dessas novas tecnologias.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 OBJETIVO GERAL

A Ciência e a tecnologia das nanoestruturas é uma área interdisciplinar de intensa pesquisa no mundo inteiro. O uso amplo e diversificado de nanomateriais na indústria dificulta estimativas sobre o número de trabalhadores expostos aos efeitos ambientais e de saúde dessas tecnologias. Ainda há pouco conhecimento sobre os perigos, mas estudos técnicos apontam que estão associados a insumos e produtos intermediários utilizados na indústria, como dióxido de titânio, fulerenos, nanopartículas de ouro, nanopartículas de prata, nanotubos de carbono e polímeros, e a produtos finais, como chips eletrônicos, displays, filtro solar, roupas inteligentes e sensores gustativos, entre outros (FERREIRA, 2022).

Os nanotubos de carbono, por exemplo, são 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. No entanto, alguns tipos de nanotubos de carbono de paredes múltiplas possuem potencial cancerígeno semelhante ao do amianto (DIAS, 2022).

Desta forma, este estudo foi elaborado baseando-se em revisão bibliográfica de publicações, relatórios de pesquisas recentes realizadas por instituições e informações sobre empresas de todo o mundo. Desta revisão resultou a presente descrição sobre o tema e o exemplo prático apresentado. Ressalta-se que o conteúdo deste trabalho não pretende produzir um estudo completo sobre o tema. Apenas apresenta-se um recorte que exemplifica a potencialidade desta nova tecnologia.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo da pesquisa é analisar a regulamentação atual relacionada à nanotecnologia e à segurança do trabalhador, buscando compreender como as medidas de proteção estão sendo implementadas e quais são as lacunas existentes. Além disso, serão exploradas as questões éticas, jurídicas e sociais que permeiam a regulamentação da nanotecnologia, a fim de fornecer uma visão abrangente dos desafios enfrentados nesse campo.

Ao examinar criticamente as abordagens regulatórias adotadas por diferentes países e organizações, espera-se identificar as melhores práticas e recomendações para aprimorar a proteção dos trabalhadores expostos a nanomateriais. Estas podem fornecer benefícios para as políticas existentes aprimoradas e contribuir para o desenvolvimento de estratégias regulatórias mais eficazes, que garantem um ambiente de trabalho seguro e saudável no contexto da nanotecnologia (VIEGAS, 2018).

1.2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diante da falta de regulamentação específica e os desafios relacionados à nanotecnologia no contexto da saúde e segurança do trabalhador pode ser embasada em diversas fontes e conceitos relevantes. A seguir, destacarei alguns pontos que podem ser considerados na fundamentação teórica sobre o tema:

Nanotecnologia e seus riscos: É importante abordar os princípios e conceitos fundamentais da nanotecnologia, destacando suas características e propriedades singulares que podem apresentar riscos à saúde dos trabalhadores. Explorar os efeitos potenciais dos nanomateriais no organismo humano, como sua capacidade de atravessar barreiras biológicas, interagir com células e tecidos, e potenciais efeitos tóxicos e inflamatórios (VON HOHENDORFF, 2013)

Saúde e segurança ocupacional: Embasar-se em conceitos e teorias relacionadas à saúde e segurança ocupacional, como a identificação, avaliação e controle de riscos ocupacionais. Destacar a importância de uma abordagem preventiva para proteger os trabalhadores, a responsabilidade do empregador na criação de ambientes de trabalho seguros, a necessidade de capacitação dos trabalhadores e o uso adequado de equipamentos de proteção individual (NEVES, 2017)

Lacuna regulatória: Explorar o conceito de lacuna regulatória no contexto da nanotecnologia, abordando a ausência de regulamentação específica para a gestão dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia no Brasil. Discutir as possíveis consequências dessa lacuna, como a falta de diretrizes claras, padrões de segurança e monitoramento adequado, bem como o impacto na saúde e segurança dos trabalhadores (CONSALES, 2022).

Estratégias internacionais: Investigar as abordagens adotadas por outros países e organizações internacionais para enfrentar os desafios da nanotecnologia no contexto da saúde e segurança ocupacional. Examinar regulamentações existentes em outros países, iniciativas de pesquisa e desenvolvimento de boas práticas, estratégias de monitoramento e controle de riscos, e exemplos de colaboração entre diferentes partes interessadas (PINTO, 2022).

Necessidade de atualização regulatória: Embasar-se em argumentos e discussões sobre a importância de atualizar as regulamentações existentes para incorporar requisitos específicos relacionados à nanotecnologia. Destacar a necessidade de desenvolver normas regulatórias que abordem a caracterização, avaliação, controle e monitoramento dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia. Explorar o papel das agências reguladoras, instituições de pesquisa e trabalho conjunto entre setores público e privado na elaboração e implementação de regulamentações eficazes (MOREIRA, 2022).

Esses pontos de fundamentação teórica podem ajudar a embasar a análise e discussão sobre a falta de regulamentação específica, os desafios e as possíveis soluções para a gestão da saúde e segurança do trabalhador no contexto da nanotecnologia.

CAPÍTULO 2: CONCEITOS

2.1 A Nanotecnologia com suas Definições e Nomenclaturas

O termo nanotecnologia, em sua definição mais simples, é utilizado para descrever a criação, exploração e manipulação de materiais com escala nanométrica. Um segundo ponto importante para iniciarmos esse assunto é a definição de nanômetro. Um nanômetro é um metro dividido por um bilhão, ou seja, 1 nanômetro é igual a 10^{-9} m. Talvez fique mais fácil a compreensão com alguns exemplos: a espessura de uma folha de jornal tem cerca de 100.000 nanômetros de espessura, já o DNA humano tem apenas 2,5 nanômetros de diâmetro (Bioquímica Brasil, 2020).

No entanto, as nanopartículas podem ser encontradas no ambiente, bem como nos processos metabólicos dos organismos vivos. Os animais utilizam as nanopartículas contidas nos carboidratos, proteínas e outras macromoléculas para uma série de processos metabólicos. Há inúmeros exemplos de nanopartículas naturais, tais como nanocristais em uma teia de aranha, o azul das asas de uma borboleta, que é criado quando a luz interfere na disposição das nano-escala, e os pelos nas pernas de um lagarto, que são tão finos que podem se aproximar e se fixar a uma base de apoio a uma distância de alguns nanômetros. É vital ter em mente que os processos de combustão também podem criar nanopartículas, que podem subsequentemente ser enroladas em locais como ar poluído e cinzas vulcânicas (NNI, 2023).

A nanotecnologia é definida pela Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (NNI) como o estudo, compreensão e desenvolvimento de materiais entre um e cem nanômetros de tamanho, o que permite usos previamente imaginados para materiais comercialmente acessíveis (NNI, 2023). A *National Science Foundation* (NSF) tem uma definição mais ampla de nanotecnologia, afirmando que a manipulação atômica pode ocorrer em tamanhos entre um nanômetro e cem nanômetros, particularmente em nanomateriais poliméricos com diâmetros entre duzentos e trezentos nm. As interações intermoleculares distinguem estas partículas poliméricas, e seus usos farmacológicos e medicinais são evidentes. (NNI, 2023).

A Recomendação de 2011/696/UE da Comissão tem sido utilizada como referência para determinar se um material deve ser considerado um 'nanomaterial'

para fins legislativos e políticos na União Europeia. A Comissão Europeia procedeu à revisão desta Recomendação, focando-se particularmente na aferição da necessidade de aumentar ou reduzir a distribuição numérica da dimensão das partículas (50%) ou de incluir materiais com estrutura interna ou superficial à escala nanométrica (por exemplo, materiais nanocomponentes complexos, incluindo materiais nanoporosos e nanocompósitos eventualmente utilizados em determinados setores). A definição de nanomaterial estabelecida na Recomendação 2011/696/UE foi atualizada (PINTO, 2022).

Como há muito mais átomos de superfície por unidade de volume de uma nanopartícula do que no interior, a redução da nano escala das partículas tem efeitos essenciais sobre o desempenho dos nanomateriais, como o aumento da área de superfície desses materiais microscópicos (MARTINEZ; ALVES, 2013).

Estas propriedades de nano escala dos elementos são cruciais porque fornecem uma abundância de opções únicas para o estudo da nanociência, tais como aplicações inovadoras, novos materiais e novas tecnologias. Devido ao aumento da área de superfície e reatividade, é necessário menos matéria prima para a síntese de um produto, o que beneficia o meio ambiente e a economia (SHATKIN, 2013).

Um exemplo é o estudo e a manipulação do ouro em nano escala. O ouro em seu estado natural, expandido, é amarelo porque sua superfície reflete a luz. Entretanto, quando apresentado na forma de nanopartículas, ele absorve certos comprimentos de onda de luz, mudando assim a cor para vermelho, verde ou magenta. Por exemplo, a temperatura de fusão do ouro em seu estado ampliado é de 1063 graus Celsius, mas apenas 500 graus Celsius quando suas partículas são de dois nanômetros de tamanho. Esta é uma disparidade de quase 500 graus Celsius. Estas alterações no ouro permitiram uma maior variedade de usos, incluindo a integração de nanopartículas de ouro com biomoléculas para uso em diagnósticos médicos (MARTINEZ; ALVES, 2013). De acordo com Roco et al. (2006), há quatro gerações de produtos que utilizam nanotecnologia. Antes do ano 2000, a primeira geração de produtos incluía revestimentos nano estruturados, dispersão de nanopartículas, superfícies nano padrão, e materiais in natura (matérias-primas), como metais nano estruturados. Esta nova família de materiais é definida por sua construção sólida e imutável. 2005 viu o início da síntese da segunda geração de

produtos nanotecnológicos, compreendendo nanoestruturas ativas como novos transistores, medicamentos-alvo e produtos químicos. Em 2010, a terceira geração começou a utilizar técnicas de síntese e montagem como robótica, bi montagem e nano sistemas mecânicos quânticos acoplados em multiescolha. A quarta geração de nano sistemas moleculares, que os especialistas preveem que teve início entre 2015 e 2020, consistiu em nano sistemas moleculares heterogêneos nos quais cada molécula tem uma estrutura e função distintas. ROCO et al (2011).

Existem dois métodos primários para sintetizar nanomateriais: de cima para baixo e de baixo para cima, a figura 3, mostra a técnica top down sintetiza estruturas de nano escala a partir de outras de maior escala através de processos físicos, tais como a produção de nanopartículas submicrônicas a partir da moagem de materiais em escala normal. Tipicamente, é utilizada uma estratégia top down, que é realizada de forma seca.

A fabricação de chips faz uso do registro ótico de padrões. A síntese bottom up inclui a construção do nanomaterial átomo por átomo ou molécula por molécula. Este é frequentemente um processo químico úmido envolvendo solventes e síntese química, embora também possa ser realizado usando microscópios potentes e outras técnicas físicas. de acordo com (MARCONE, 2015).

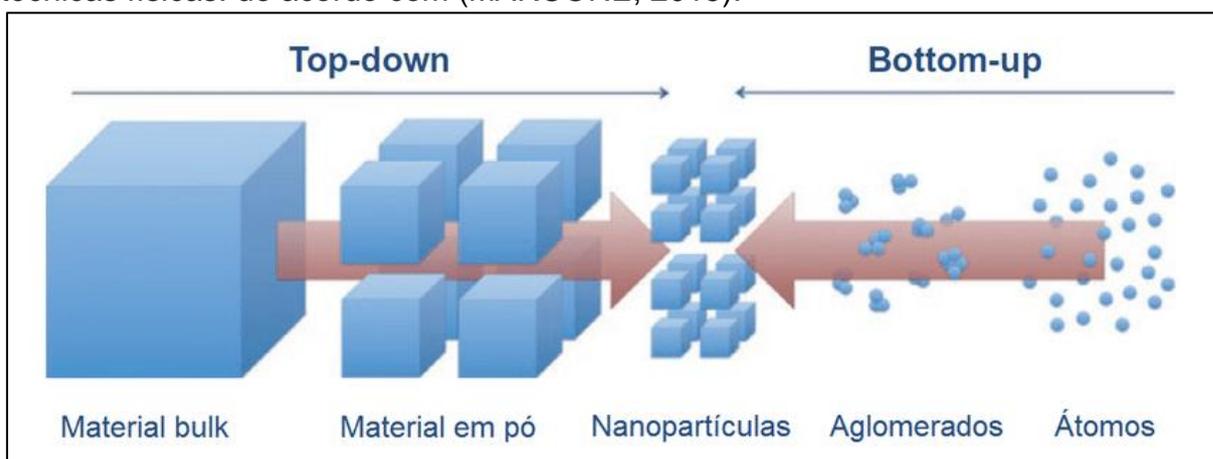


Figura 03: Abordagens de nano fabricação top-down e bottom-up.

Fonte: [researchgate.net/figure](https://www.researchgate.net/figure)

Como as partículas na escala nanométrica são termicamente instáveis, elas tendem a se aglomerar e formar complexos estruturais maiores, o que pode reduzir ou eliminar as propriedades distintivas da nano escala. A fim de sintetizar formulações

nanotecnológicos mais duráveis, os pesquisadores devem considerar a biodegradabilidade, biocompatibilidade, capacidade de funcionamento da superfície das partículas, conjugação, complexação e encapsulamento desses materiais. Os nanomateriais usados na indústria são normalmente encapsulados para evitar a degradação da luz e do oxigênio, para manter a estabilidade do composto, para aumentar a solubilidade e para evitar a sedimentação. Considere a solubilização, retenção dentro da nanopartícula, conjugação e adsorção como exemplos de encapsulamento. Referências: (ZARBIM, 2007; DIMER et al., 2013). (ZARBIM, 2007; DIMER et al., 2013).

De acordo com sua composição química, as nanopartículas podem ser categorizadas em três grandes grupos: nanopartículas inorgânicas, orgânicas e híbridas, sendo as nanopartículas inorgânicas a categorização mais utilizada no meio acadêmico. Os materiais inorgânicos incluem dióxido de titânio, óxido de ferro e nanopartículas de metais de transição, tais como ouro e prata, bem como pontos quânticos à base de cádmio e selênio. Fullerenos, grafeno e nanofibras de carbono, juntamente com lipossomos e nano emulsões, são os exemplos mais notáveis de nanopartículas orgânicas. Em contraste, os nanomateriais híbridos consistem em dois nano componentes distintos com funções complementares ou coesivas, como a conjugação de biomoléculas a nanopartículas metálicas ou a associação de nano moléculas orgânicas a matrizes nano poliméricas, e são empregados para melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e ópticas (COSTA, 2015).

A notável revolução científica e econômica causada pelo surgimento da tecnologia de nanoescala alterou o comportamento do consumidor. Além disso, a nanotecnologia se destaca porque todos os elementos da tabela periódica podem ser utilizados como matéria prima (disposição dos elementos químicos em uma tabela dividida em períodos e grupos, dispostos por afinidade química, número atômico e configuração eletrônica). Isto a torna adequada para praticamente todos os itens manuseados e praticamente todas as áreas industriais (BUSSINGER; TOSE, 2017).

Portanto, a nanotecnologia se destaca por sua multidisciplinaridade, pois seu estudo diz respeito à física, química e biologia, e pode-se concluir que este é o verdadeiro potencial desta nova tecnologia, que pertence ao grupo de tecnologias convergentes devido à interação e combinação cooperativa de diferentes campos do

conhecimento, tais como tecnologia da informação, medicina, neurociência cognitiva e biotecnologia. Isto abriu caminho para a aplicação generalizada da nanotecnologia na indústria, resultando em uma mudança radical nos métodos de síntese e fabricação em campos tão diversos como medicina, higiene e cosméticos, gestão ambiental e tecnologia da informação, com implicações de longo alcance para o estado da sociedade e a saúde do planeta como um todo, bem como para a relação entre as empresas e seus clientes (BUSSINGER; TOSE, 2017).

2.1.1 Mercado, Benefícios e Riscos da Nanotecnologias

O setor de nanotecnologia parece ter um futuro promissor. Em 16 de agosto de 2023, cerca de 11.117 nanoprodutos fabricados por 3.859 empresas em 68 países foram relatados como sendo comercialmente acessíveis no site *StatNano*. (StatNano, 2023). A cada dia, mais e mais produtos e aplicações usando nanotecnologia são introduzidos. Em seguida, o setor médico (1.314), as indústrias cosméticas (1.010) e têxtil (893), a construção civil (1.170) e automotiva (841), o meio ambiente (636), as energias renováveis (552), os negócios de alimentos e bebidas (429) e a indústria petroquímica (317). (StatNano, 2023).

Em 2023, a nanotecnologia foi incorporada com mais de 12,42 mil milhões de dólares de produtos e serviços fornecidos por uma variedade de empresas em todo o mundo. A pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia têm recebido enormes investimentos de corporações privadas e governos do mundo todo (RESEARCH, 2023). Os Estados Unidos e o Canadá estão entre os principais investidores do mundo neste setor. Em 2015, o setor de saúde gerou cerca de 160 bilhões de dólares em escala global. Menos capital é investido no Brasil do que em outros países. Barbosa, Bagattolli e Invernizzi (2018) descobriram que entre 2006 e 2016, a FINEP "concedeu R\$ 81,29 milhões para 56 projetos de nanotecnologia, e as empresas contribuíram com uma média de R\$ 1,45 milhões por projeto como contrapartida, cobrindo 60,2% do valor total dos projetos (considerando o montante concedido mais as contribuições de contrapartida das empresas)" Em 2007, a FINEP forneceu os maiores fundos. O documento sublinha o fato de que, entre 2014 e 2016, nenhum pedido de propostas ou projetos foi emitido especificamente para o avanço da pesquisa nanotecnológica,

demonstrando uma "falta de priorização consistente do NT neste instrumento estratégico de estímulo à inovação" (BARBOSA; BAGATTOLLI; INVERNIZZI, 2018).

Os Estados Unidos foram responsáveis por 51,7% das patentes do USPTO e 34% das patentes do EPO em 2017, de acordo com o ranking de StatNano (2017) dos dez países com o maior número de pedidos de patentes em 2017. A Coreia do Sul e o Japão estão em segundo e terceiro lugar, respectivamente, entre as três principais economias. Em 2017, o Escritório de Patentes e Marcas dos EUA depositou quatorze patentes de nanotecnologia, enquanto o Escritório Europeu de Patentes depositou apenas seis no Brasil (StatNano, 2017).

Em janeiro de 2018, o grupo StatNano (2017) publicou uma pesquisa que categorizou o número total de publicações sobre nanotecnologia indexadas no banco de dados da Web of Science em 2017 por país. No total, havia 154.000 itens incluídos no índice. China, Estados Unidos e Índia responderam por cerca de 52% de todos os artigos. A China, os Estados Unidos da América, Índia, Irã e Coreia responderam por 62% de todos os artigos da Web of Science em 2017. A China publicou mais artigos científicos do que qualquer outra nação nos últimos anos (56.000 vs. 24.000 nos EUA). Com 2.788 artigos publicados em 2017, o Brasil ocupa a 17ª posição mundial e responde por 5,7% de todas as publicações indexadas (StatNano, 2017). Com 2.471 artigos indexados na Web of Science em 2016, o Brasil também ficou em décima sétima posição. Esta proporção reflete 1,8% de todos os artigos publicados em 2016 no banco de dados da Web of Science. (StatNano, 2017).

A nanotecnologia é vista por muitos acadêmicos como um componente da Quarta Revolução Industrial desde que ela permitiu o desenvolvimento de medicamentos inovadores baseados em nanoestruturas altamente seletivas e complexas e oferece uma enorme promessa para o futuro da tecnologia médica. Isto compreende nano robôs, sondas e sensores que circulam pelo corpo para monitorar os níveis de colesterol, hormônio e glicose; sistemas de administração de medicamentos; e métodos inovadores para a detecção precoce do câncer (através da capacidade de observar células individuais, rastrear o movimento das células cancerosas e rastrear moléculas individuais que se movimentam em torno das células cancerosas). Esta descoberta tem ajudado suplementos dietéticos, monitores de glicose, tintas com força abrasiva e tintas com ação bactericida e fungicida. As

inovações na medicina personalizada, regenerativa e teranótica representam outro objetivo com altos riscos (ALVES, 2004; ABDI, 2013; LONDANO, 2015).

A nanotecnologia é predominante em toda a cadeia de fornecimento de alimentos, desde a produção agrícola até o processamento e embalagem de alimentos. Na agricultura, as nanopartículas modificadas têm o potencial de aumentar a produção de alimentos e reduzir o uso de pesticidas sem prejudicar o solo ou a água. Nanofilmes são usados para proteger e preservar alimentos (cor, sabor), nanosensores são usados para monitorar a deterioração dos alimentos, e embalagens contendo nanopartículas podem aumentar a vida útil dos alimentos, servindo como barreira contra umidade e micróbios. Como agentes funcionais, tais como antioxidantes, corantes e conservantes, as nanopartículas são frequentemente usadas (SINGH, 2017; RESCH; FARINA, 2015).

Os nanotubos de carbono são usados para transportar líquidos nos setores petrolífero e químico porque permitem o desenvolvimento de condutos que são simultaneamente mais leves, mais fortes e resistentes à corrosão. A nanotecnologia é utilizada na indústria têxtil devido às vantagens que oferece em termos de melhor durabilidade do produto, conforto, limpeza e redução dos custos de fabricação. Nesta disciplina, a nanotecnologia permitiu a criação de materiais com maiores características, tais como resistência antibacteriana, resistência aos raios UV e gerenciamento de odores. Como exemplo, são mostradas nanopartículas de prata com capacidades antibacterianas e ante odor (SINGH, 2017).

De acordo com Shah and Powers (2015), a nanotecnologia tem potencial para ser mais sustentável do que o paradigma produtor-consumidor convencional criado pelos países industrializados, especialmente no que diz respeito ao uso de recursos renováveis, como água e energia. Os estudos de recursos hídricos frequentemente utilizam materiais e métodos de baixa tecnologia e baixo custo que são igualmente aplicáveis em regiões rurais com escassez de água e cidades densamente povoadas. Vários estudos baseados na nanotecnologia examinaram a viabilidade da energia solar, da biomassa e eólica como fontes renováveis de energia. O processo de fotocatalise é mostrado através do uso de energia solar e nanopartículas de titânio para mineralizar uma série de poluentes (SHAH; POWERS, 2015).

Gatti apresenta um argumento convincente para a necessidade de examinar as possíveis ameaças das nanopartículas à saúde humana e ao meio ambiente, bem como a forma como as células, os animais e os tecidos reagem à sua presença (2016).

Gatti (2014) destaca a evidência clínica de nanopartículas em tecidos e sangue doentes e sublinha que estas partículas podem se mover prontamente para qualquer órgão do corpo.

Como a grande maioria das partículas não é biodegradável, elas não podem ser erradicadas. Dado o exposto acima, Gatti (2014) pergunta: "Para onde vão estas nanopartículas? O pesquisador responde que as interações entre nanopartículas e proteínas e nanopartículas e DNA irão induzir inflamação e outras complicações. Se elas se alojarem no cérebro, estudos indicam que elas podem induzir inflamação e doenças neurológicas como o autismo, Alzheimer e Parkinson. Se a interação entre as nanopartículas e o DNA não for gerenciada adequadamente, podem ocorrer danos cromossômicos e, em situações graves, defeitos fetais (GATTI, 2014).

A maior reatividade dada pela maior superfície das nanopartículas em relação ao seu volume, bem como o fato de que suas manifestações físico-químicas podem variar daquelas exibidas em escalas maiores, pode resultar em atividade biológica e toxicidade imprevistas. Uma nanopartícula com um diâmetro de 10 nanômetros contém 20% menos átomos de superfície que uma com um diâmetro de 1 nanômetro. Quanto maior a área de superfície de uma partícula, maior sua atividade biológica e toxicidade (FOLADORI; INVERNIZZZI, 2016).

De acordo com Sufian et al. (2017), devido à novidade das nanopartículas como produto químico, há menos dados sobre seus possíveis riscos para a saúde humana e o meio ambiente. As pessoas podem ser expostas a nanopartículas durante todo o seu dia de trabalho, desde o momento da síntese, passando pelo momento da produção, até a incorporação nos itens concluídos, de acordo com os autores. Da mesma forma que os consumidores podem ser expostos a estas substâncias durante o uso, sua eliminação e posterior acumulação no ambiente pode constituir um risco para a saúde humana. Sufian et al. (2017) revelaram que a inalação é o modo predominante de contato com nanomateriais em ambientes ocupacionais. Isto se deve à presença de nanomateriais no ar como consequência tanto dos processos de síntese quanto dos processos de produção e manipulação de pós-nanomateriais.

Segundo Louro, Borges e Silva (2013), quando expostos a nanopartículas oralmente, seja através de alimentos consumidos, suplementos nutricionais, água poluída ou solo contaminado, a absorção ocorre principalmente através dos intestinos (LOURO; BORGES; SILVA, 2013).

Dvorackova et al. (2009) conduziram um estudo sobre as amígdalas humanas e descobriram uma série de aglomerados de metais nanoestruturados da poluição ambiental que entram no organismo pela respiração e podem ter consequências adversas à saúde.

De acordo com Gajewicz (2012), há variações substanciais na pesquisa, sendo a mesma nanopartícula vista como muito perigoso para os organismos e o meio ambiente em alguns estudos e relativamente inofensivo devido a sua baixa toxicidade em outros. Isto pode ser parcialmente devido à falta de um mecanismo globalmente reconhecido para avaliar a ameaça apresentada por estes nanomateriais (GAJEWICZ, 2012).

Este foi também o resultado da revisão da literatura de Fernandes e Waissmann (2013) sobre a questão dos nanotubos e fullerenos de carbono e seus efeitos sobre a pele. Os pesquisadores descobriram que procedimentos conflitantes e caracterizações contraditórias das características físico-químicas das nanopartículas utilizadas em testes levaram a resultados inconsistentes (FERNANDES; WAISSMANN, 2013).

Enquanto cientistas como Hankin e Caballero (2014) são defensores da nanotecnologia, os detratores acreditam que são necessárias abordagens adequadas baseadas em avaliações quantitativas de risco para evitar que a nanotecnologia infligir danos ao meio ambiente, à saúde humana e à segurança. Eles pedem uma abordagem cuidadosa para regulamentar esta tecnologia a fim de evitar qualquer resultado negativo e reação pública. Além disso, enfatizam que, embora as abordagens regulatórias da nanotecnologia sejam vitais, elas devem ser fluidas, adaptáveis e flexíveis à luz das pesquisas atuais e do crescente conhecimento das possíveis repercussões da nanotecnologia. Pesquisadores e profissionais perceberam recentemente que os fatores regulatórios e de inovação podem ser fundidos. De acordo com um estudo de 2014 (HANKIN & CABALLERO), o objetivo da governança de risco, uma abordagem utilizada pelos governos, é reduzir a

possibilidade de resultados ruins. Os objetivos sociais e a viabilidade econômica podem ser alcançados com a ajuda de uma gestão governamental eficaz e coordenada. É crucial garantir o desenvolvimento de nanotecnologia segura e sustentável através de uma governança eficaz que permita uma tecnologia segura e sustentável voltada para a sociedade sem limitar a inovação, com segurança, sustentabilidade e a realização de metas sociais vistas como fonte de inovação e estímulo para ela, para fins particulares. Uma governança eficaz requer comunicação, coordenação e cooperação extensiva entre as numerosas instituições e partes interessadas envolvidas no desenvolvimento, síntese, comercialização e regulamentação das nanotecnologias, bem como representantes da sociedade civil, a fim de promover um processo proativo e adaptativo (HANKIN; CABALLERO, 2014).

A incorporação de medidas de segurança é necessária para o desenvolvimento responsável das nanotecnologias. Em 2007, foi publicado o *Nano Risk Framework*, oferecendo uma estrutura global e flexível para o estudo dos possíveis riscos das nanopartículas, com ênfase na coleta de informações sobre o ciclo de vida, características, ecotoxicidade e descarte de nanomateriais. A *TUV SUD Industry Service and Innovation Society* cooperou para desenvolver os cenários, um sistema de gerenciamento e monitoramento de riscos, a fim de examinar melhor os perigos ligados à nanotecnologia para os trabalhadores, clientes e o meio ambiente. *AssuredNanoTM*, que foi estabelecido em 2008, é um sistema de certificação de segurança de nanomateriais que aborda as preocupações de saúde, ambientais e de segurança dos trabalhadores relacionadas com a expansão do uso industrial da nanotecnologia (HANKIN; CABALLERO, 2014). Atualmente, eles devem ser considerados empreendimentos privados.

A plataforma *Integrated Nano-Science & Commodity Exchange* (INSCX) é outro exemplo de um novo esforço de organizações privadas; ela visa facilitar a comercialização de nanomateriais através de um mercado centralizado que fornece uma lista exaustiva, é confiável e oferece certificação de padrões de qualidade e conformidade. Para salvaguardar interesses econômicos e sociais, o sistema INSCX opera em conformidade com as normas de autorregulamentação que regem a distribuição de nanomateriais, com base nos quadros legais existentes. O INSCX pode

fornecer um relatório detalhando a circulação, aplicação e degradação dos nanomateriais (INSCX).

2.2 Nanotecnologia e Regulamentação no Brasil

A regulamentação da nanotecnologia é uma questão relativamente recente de discussão na maioria dos países que desenvolvem ativamente produtos e aplicações à base de nanopartículas. Como resultado da ênfase nas tentativas do Brasil de controlar a nanotecnologia, as operações de outros governos serão minimizadas. É geralmente aceito que a colaboração global é necessária ao considerar os possíveis riscos da nanotecnologia e como governá-la.

Até agora, grupos não governamentais e organizações internacionais como a OCDE, a União Européia e as normas ISO têm sido os principais responsáveis pelos esforços para regulamentar a nanotecnologia. Incluídos na regulamentação REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*) na União Européia estão documentos da Agência Européia para Segurança e Saúde no Trabalho, da Administração de Segurança e Saúde no Trabalho (OSHA), da Associação das Indústrias de Nanotecnologias Ocupacionais (NIA), e da *Food and Drug Administration* (FDA). A Ásia abriga organizações como o *ANF-Asia Nano Fórum*, o Comitê de Medidas de Segurança para Nanomateriais do Japão, a Academia de Ciências da China, a Sociedade para o Progresso de Materiais Químicos Inovadores e o Conselho Internacional de Nanotecnologia (ICON). Observe a Lei de Controle de Substâncias Tóxicas (TSCA) e as leis da *Food and Drug Administration* (FDA), o povo americano. O registro de nanoprodutos ocorre em várias nações através das agências reguladoras de nações individuais, com cada aplicação sendo avaliada por seus próprios méritos devido à ausência de um padrão global para nanomateriais. (HANKIN; CABALLERO, 2014; ENGELMANN; PULZ, 2015).

A ISO atribuiu ao Comitê Técnico No. 229 a criação e publicação de normas relacionadas à nanotecnologia (ENGELMANN; MARTINS, 2017). Vários estados membros da União Européia (UE), como França, Bélgica e Dinamarca, aceitaram as normas essenciais de divulgação para uma variedade de nanoprodutos disponíveis

comercialmente, como os usados em nanocosméticos (HANKIN; CABALLERO, 2014).

Notavelmente, na UE, tanto as empresas públicas quanto privadas são obrigadas a prestar contas de quaisquer consequências prejudiciais que suas pesquisas nanotecnológicas tenham sobre as pessoas e o meio ambiente. Além disso, a União Européia (UE) desenvolveu em 2008, com uma revisão bienal, condutas de pesquisa nos campos da nanotecnologia e das nanociências para instruir os estados membros, pesquisadores, cientistas, financiadores de pesquisa e outras partes interessadas a realizar investigações responsáveis (HUPFFER; ENGELMANN, 2017). A transmissão de informações sobre nanofoods aos consumidores foi controlada pelo Regulamento nº 1169 de 2011. A existência de nanopartículas em um produto deve ser informada usando o prefixo "nano" entre parênteses após o nome do ingrediente (HUPFFER; ENGELMANN, 2017).

Segundo Foladori et al., o desenvolvimento da nanotecnologia é uma prioridade governamental no Brasil, e um de seus principais objetivos é atrair investimentos privados e públicos a fim de promover o crescimento nos setores técnicos e de pesquisa vinculados (2012). Esta técnica foi descoberta para ter duas características com outras nações latino-americanas: a incorporação de centros de excelência dentro do setor e o descaso destas nações com relação à proteção do trabalhador e do consumidor contra os potenciais consequências desta tecnologia. Além disso, Foladori et al. (2012) identificam a ausência de participação da sociedade nas decisões políticas públicas relacionadas à nanotecnologia como uma característica compartilhada pelos estados latino-americanos na estruturação da nanotecnologia nestas nações.

De acordo com o estudo de Pereira e Fonseca (2013) sobre a abordagem do Brasil à política regulatória da nanotecnologia, esta questão é exemplificada pelo descaso do país com a prestação de contas nesta política. Como consequência do ambiente fechado do Brasil para a formulação de políticas públicas, que se baseia em uma concepção excessivamente simplificada dos benefícios da ciência e tecnologia, há uma fixação insalubre com o aumento da competitividade econômica via P&D. Dada a atual atmosfera geopolítica, estes autores também exploram os possíveis obstáculos à aplicação da estrutura institucional de outros países mais desenvolvidos

para as práticas governamentais locais. Eles aconselham examinar a expansão das nanotecnologias sociais no Brasil e combinar o desenvolvimento desta tecnologia com as preocupações sociais e ambientais (FONSECA; PEREIRA, 2013).

A discussão sobre como governar a nanotecnologia não avançou mais no Brasil do que em outros países. Para evitar que a pesquisa neste campo avance numa direção desfavorável para a sociedade brasileira, o primeiro Projeto de Lei nº 5.076 de 2005 foi adotado em 2005 com o objetivo de regulamentar a pesquisa nanotecnológica de modo a preservar os valores morais e sociais da pessoa e da família. Este projeto de lei propõe a criação de uma Comissão Técnica Nacional de Nanotecnologia (CTNano) que se reporta à Presidência da República. A CTNano será responsável por prestar assessoria técnica sobre a implementação da Política Nacional de Nanosegurança, incluindo o estabelecimento de normas técnicas de segurança e pareceres técnicos para a proteção da saúde humana e do meio ambiente em relação à pesquisa, produção, consumo e descarte de produtos nanotecnológicos (DUARTE, 2005).

Além disso, a medida especificou que os termos "produto nanotecnológico", "contém matéria-prima nanotecnológica" ou "exposto a um processo nanotecnológico" devem ser claramente indicados no rótulo de qualquer produto que empregue nanotecnologia. Seria de responsabilidade do Setor Público supervisionar estas atividades. Além disso, a lei garantiu que o governo federal obteria uma porcentagem da renda gerada pela venda de produtos criados como consequência das pesquisas por ele financiadas. O Fundo de Desenvolvimento da Nanotecnologia (FDNano), que receberia 10% do orçamento do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, incentivaria a pesquisa nesse sentido (DUARTE, 2005).

A Comissão de Finanças e Tributação, Comissão de Desenvolvimento Econômico, Comissão de Indústria e Comércio e Comissão de Ciência, Tecnologia, Comunicação e Informática da Câmara Federal receberam e analisaram esta proposta de lei. Dois fatores levaram à sua rejeição: a ausência de acordo entre os setores público e privado do Brasil sobre como governar a nanotecnologia e o entendimento de que a gestão de riscos nanotecnológicos poderia ter um impacto negativo sobre os investimentos em projetos e pesquisas nesta área. Notavelmente, o governo brasileiro tem um controle tanto do setor público quanto do privado, o que é problemático, já que

o governo não seria capaz de acompanhar todas as pesquisas em nanociências que estão sendo realizadas no país (BRASIL, 2005).

O relator da Comissão de Ciência, Tecnologia, Comunicação e Informática disse que os riscos potenciais da nanotecnologia para a saúde humana e o meio ambiente precisam de um exame minucioso de como governar o assunto. No entanto, o relator argumenta que uma proposta legislativa específica para a regulamentação desta tecnologia é desnecessária, ressaltando que o assunto seria regido por lei tanto em termos de proteção quanto de penalidades pela Lei nº 9.782 de 1999, que define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária; Lei nº 6.938 de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente; e a Lei nº 9.605 de 1998, que regulamenta a Lei de Crimes Ambientais. A rotulagem dos produtos nanotecnológicos é uma área cinza, mas o relator considera que as regras do Código de Proteção ao Consumidor poderiam ser implementadas analogamente para proporcionar controle suficiente (BRASIL, 2005).

Em 2013, o Deputado Sarney Filho reintroduziu seu Projeto de Lei 5.133 para regulamentar a rotulagem de objetos e produtos baseados na nanotecnologia. Como era o caso da proposta legislativa anterior, a rotulagem com símbolos e advertência em linguagem específica do uso da nanotecnologia em produtos comercialmente disponíveis é obrigatória, e esta advertência deve ser claramente exibida. O cliente deve ser informado sobre as matérias-primas empregadas pelo fabricante de cosméticos, alimentos e medicamentos. Esta informação deve ser explicitamente declarada no documento fiscal se as matérias-primas relacionadas à nanotecnologia tiverem que ser rastreadas durante todo o processo de produção. Além disso, certas frases devem ser incluídas no componente primário do produto para identificar alimentos e matérias-primas geradas por animais alimentados com ração contendo nanoprodutos (SARNEY FILHO, 2013a).

Os nanoprodutos são produtos com características únicas, e a falta de regulamentação da nanotecnologia no Brasil tem um impacto direto na ausência de controle sobre a disponibilidade de produtos nanotecnológicos para consumo e o descarte adequado desses produtos após seu uso. Vários estudos também sugeriram a possibilidade de que as nanopartículas possam ser perigosas para a saúde humana e para o meio ambiente. Esta nova ideia pretende cumprir os princípios estabelecidos

nos artigos 6 e 31 do Código de Proteção ao Consumidor, que declaram que um dos direitos básicos do consumidor é o acesso a informações precisas e abrangentes sobre os bens e serviços a que têm direito (SARNEY FILHO, 2013a).

Entretanto, vários adversários do governo, como o diretor da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, desafiaram esta legislação que tenta regulamentar a forma de rotulagem destes produtos, argumentando que "O que a presença de nanopartículas sinaliza para o consumidor? Algo a se preocupar, ou algo a se antecipar? É provável que fiquem ainda mais confusos como consequência". Além disso, ela sublinhou a necessidade de mais pesquisas sobre a nanotecnologia antes de sua regulamentação legal. Antes de ser oferecida ao público, ela enfatiza que todos os medicamentos, alimentos e cosméticos devem passar por severos testes de controle de qualidade e segurança (POMPEU; DOERDELEIN).

O mesmo congressista, Sarney Filho, também apresentou o Projeto de Lei No. 6741 de 2013 para criar a Política Nacional sobre Nanotecnologia, pesquisa, produção, eliminação de resíduos e o uso da nanotecnologia na nação. Ele foi anexado ao Projeto de Lei No. 5.133 de 2013 após uma resolução da Câmara dos Deputados, que também constituiu a Comissão Especial para emitir um parecer sobre o Projeto de Lei nº 6.741 de 2013 e para rever o Projeto de Lei nº 5.133 de 2013. O objetivo desta legislação é idêntico ao da lei original proposta em 2005: proteger as pessoas e o meio ambiente contra os possíveis riscos da nanotecnologia, preservando o princípio da precaução e protegendo as liberdades básicas. De acordo com esta legislação proposta, o órgão responsável pela regulamentação da pesquisa científica será informado sobre qualquer pesquisa e desenvolvimento de nanoproductos e determinará dentro de 90 dias se aprova o estudo (SARNEY FILHO, 2013b).

Elaborando mais detalhadamente esta proposta legislativa, afirma-se que se a pesquisa incorporar organismos vivos, a autorização prévia para esta atividade deve estar de acordo com os padrões éticos estabelecidos pela Lei 8.080 de 1990. Antes que estes produtos possam ser vendidos, as autoridades sanitárias e ambientais devem providenciar sua liberação. Dado que o governo será responsável pela verificação do registro dos processos e produtos nanotecnológicos, em relação ao poder econômico do requerente, é evidente que uma taxa de inspeção seria cobrada, mas somente no momento do registro. O lixo nanotecnológico será descartado de

acordo com o artigo 20 da Lei 12.305 de 2010 (Programa Nacional de Lixo Sólido), o que significa que será descartado da mesma forma que outros resíduos industriais, sem qualquer forma de tratamento especializado, apesar de suas propriedades particulares de reatividade (SARNEY FILHO, 2013b).

Engelmann e Pulz (2015) sugerem que apesar da ausência de legislação específica para nanotecnologia, "há várias áreas do direito que incluem textos legais que podem ser aplicados à nanotecnologia, tais como o Código Civil, o Código Penal, a legislação ambiental e as leis trabalhistas". Os autores também se referem ao "marco normativo - ideias e normas da Constituição Federal de 1988", de acordo com (ENGELMANN, 2015, p. 177).

Até onde sabemos, a Portaria 245/2012 é a única regulamentação inflexível que rege o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Este Decreto estabeleceu o Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia (SisNANO) como um componente do Programa Nacional de Nanotecnologia, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e o Plano Brasil Maior (BRASIL, 2012).

Verdi, Hupffer e Jahno concluem, com base na avaliação do segundo item desta Portaria, que as questões de implementação e gestão da nanotecnologia estão apenas começando a ser destacadas no Brasil. A subseção I visa criar uma governança para as nanotecnologias, a subseção II visa apoiar as empresas deste setor, e a subseção III delinea a realização de avanços científicos e tecnológicos. (VERDI, HUPFFER, & JAHNO, 2017: p.

Continuando o exame da subseção IV do segundo artigo, Verdi, Hupffer e Jahno (2017, p. 55) observam que este parágrafo contribui para a melhoria da infraestrutura para a expansão da pesquisa básica e aplicada, enquanto a subseção V visa expandir a pesquisa nanotecnológica e seus benefícios. O ponto 6 enfoca a globalização do conhecimento científico, enquanto o ponto 7 visa preparar a nação para o desenvolvimento de iniciativas de cooperação internacional. De acordo com esta interpretação, o artigo VIII trata da colaboração com os estados do MERCOSUL, enquanto o artigo IX trata do treinamento e desenvolvimento dos recursos humanos. O terceiro artigo da Portaria 245 de 2012 trata da criação e administração de laboratórios, enquanto o quarto artigo delinea as responsabilidades e operações do Comitê Consultivo. Os autores destacam que não conseguiram descobrir leis que

controlam o uso ético, ambiental ou preventivo das nanotecnologias e que a saúde ocupacional dos pesquisadores não é protegida de nenhuma forma (VERDI; HUPFFER; JAHNO, 2017).

Hankin e Caballero (2014) desenvolveram um roteiro de ações para a regulamentação da nanotecnologia no Brasil, com base nas avaliações dos Laboratórios Estratégicos e Associados do Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia. Fortalecer e continuar a participação brasileira nas atividades relevantes da OCDE e da ISSO; intensificar o relacionamento com os coordenadores dos projetos atuais e futuros do Cluster Europeu de Nanosegurança para colaborar com as metas e objetivos relevantes do Brasil; desenvolver um sistema governamental de acreditação ou certificação para instituições industriais e de pesquisa, enquanto está planejado no sistema regulatório; e desenvolver um banco de dados regulatório, semelhante aos desenvolvidos na União Européia. (HANKIN; CABALLERO, 2014).

Segundo estudos sobre autorregulamentação e governança das nanotecnologias em muitos países, não há interesse governamental em regular as nanotecnologias e direcionar essa regulamentação para uma governança responsável. Grande parte da legislação que procura regulamentar esta tecnologia é de natureza privada, representando os interesses de organizações privadas encabeçadas por práticas notáveis de manipulação e inovação científica, que podem influenciar as decisões de compra de consumidores mais conscientes. Uma das dificuldades na regulamentação da nanotecnologia por diferentes países pode ser atribuída ao fato de que se trata de uma indústria altamente promissora que continua a crescer rapidamente. Temendo a perda de participação no mercado, nenhum país está pronto para assumir a liderança no estabelecimento de restrições legislativas. Entretanto, ao importar produtos nanotecnológicos de outras nações, você também está importando os riscos e contribuindo para a prosperidade econômica de outras nações, dado que os riscos da nanotecnologia são globais, intergeracionais e transnacionais.

Além disso, os governos e as organizações internacionais cuja missão é proteger as gerações futuras têm dificuldade em regular a nanotecnologia à luz da expansão exponencial dos nanoproductos e das aplicações nanotecnológicas em todo

o mundo. A autorregulamentação ou o uso de processos legais tradicionais baseados em normas de comando e controle, que não acompanharam o ritmo do paradigma técnico e científico da nanotecnologia, não podem garantir a segurança da nanotecnologia. Diante desses obstáculos, sugerimos uma governança preventiva, multidisciplinar e global focada na gestão de riscos e uma comunicação aberta com os principais atores responsáveis pela elaboração de marcos regulatórios. Para garantir que os nanoproductos e as aplicações nanotecnológicas sejam seguros, inclusivos e ambientalmente sustentáveis, os Estados membros das Nações Unidas podem colaborar para estabelecer padrões regulatórios como um primeiro passo.

Existem novos produtos nanotecnológicos com repercussões incertas e nenhuma estrutura regulatória estabelecida no ambiente atual. Além disso, especialistas e defensores do controle rápido têm opiniões variadas sobre se a tecnologia deve ou não ser regulamentada. Esta oposição também é vista nos esforços do Brasil para regulamentar a nanotecnologia. Na Audiência Pública realizada em 25 de junho de 2015, por exemplo, houve oposição de vários campos de pesquisa, ilustrando a disparidade de interesse entre as Ciências Humanas e Sociais Aplicadas e as Ciências Exatas. Isto indica que as escolhas legislativas, tais como princípios normativos, são provavelmente as formas mais adequadas de estabelecer o marco regulatório. Tanto as regras quanto os princípios se enquadram na categoria de normas legais, mas os princípios têm um limiar de abertura maior e mais maleável do que as regras, pois se destinam a auxiliar na busca da melhor legalidade para o caso mais eficiente e, portanto, exigem maior cuidado em sua aplicação (ENGELMANN, 2016).

A disciplina do direito está passando por transformações, pois tenta abandonar um ponto de vista positivista-legalista e estabelecer um canal de comunicação entre as fontes do direito e outras fontes reguladoras-normativas. Algumas dessas fontes que se destacam na nanotecnologia são as diretrizes da OCDE, as normas ISO referentes à nanotecnologia e aos nanomateriais preparadas pelo Comitê Técnico 229, as regulamentações feitas pelas agências reguladoras, as propostas e instruções do NIOSH e outras diretrizes divulgadas pelos Estados Unidos da América, a União Européia e outras. A crescente dependência dos modelos corporativos criados por organizações como a Organização Mundial do Comércio (OMC), a Organização para

Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a Organização Internacional de Normalização indica uma tendência para a privatização da lei (ISO). A partir disto, três tipos de normas surgirão: a primeira consistirá de princípios de ordem superior e direitos fundamentais, a segunda será a lei em seu sentido mais amplo, a Lei Positiva, e a terceira serão as recomendações sancionadas pelas organizações e autoridades de padronização e boas práticas. Isto é apoiado pela pesquisa (ENGELMANN, 2016).

2.2.1 As Implicações da Nanotecnologia para a Saúde Segurança do Trabalhador

A fabricação de nanopartículas projetadas ou fabricadas tem como objetivo encontrar aplicações em diversos setores comerciais. A indústria farmacêutica tem 1.087 produtos nanotecnológicos, seguida pela indústria da construção com 864 itens e a indústria cosmética com 67 coisas (859). Os dados de *StatNano* demonstram a abrangência das nanopartículas em nossa vida diária ao longo do ano seguinte. No entanto, que impacto isso tem sobre a saúde do pessoal? Pode ser criado um ambiente de trabalho seguro?

As características físicas e químicas das nanopartículas podem ser diferentes daquelas das formas maiores das mesmas substâncias, tornando isto um fator essencial a ser considerado quando se lida com nanomateriais. Isto se deve à maior reatividade das nanopartículas e aos processos quânticos que afetam suas propriedades.

De acordo com Fundacentro, "um 'seguro' para manusear uma substância em tamanho maior pode rapidamente permear a pele como uma nanopartícula ou produzir um aerossol e entrar no corpo através da via respiratória" (2021).

A Agência Europeia para Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA, 2009a) considera a nanotecnologia um dos mais importantes tópicos de pesquisa com base na ideia de que tais tecnologias seriam usadas em quase todas as áreas do conhecimento. Isto tem amplas repercussões para a sociedade, incluindo a economia e o local de trabalho. Apesar de sua importância, as preocupações de segurança e saúde dos trabalhadores são pouco reconhecidas (EU-OSHA, 2009b).

Em um documento separado, a Agência da União Europeia para Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA) concordou com a Organização Internacional do

Trabalho (OIT/ILO, 2011) que as nanotecnologias são um dos principais problemas emergentes no mundo do trabalho (EU-OSHA, 2009b).

Devido ao seu tamanho comparável ao dos componentes celulares e proteínas típicos, as nanopartículas são suspeitas de escapar das defesas naturais do organismo e de infligir danos celulares irreparáveis. Pinto, Valeria (2021).

Pesquisas toxicológicas, incluindo testes in vivo e in vitro, conectaram vários nanomateriais a potenciais efeitos adversos. Estes impactos incluem resposta inflamatória e estresse oxidativo, que podem contribuir para mutagenicidade, carcinogenicidade e problemas reprodutivos. Dra. Valeria Pinto (2021).

Devido ao período de latência incerta dos possíveis efeitos à saúde desses nanomateriais, vários especialistas aconselham a adoção de uma postura cautelosa. Estes compostos podem estar presentes durante todo o ciclo de vida do produto. O trabalhador deve ser notificado que está exposto, que está manipulando nanomateriais como parte de seu trabalho, e o que as precauções de manuseio podem e não podem realizar.

Além disso, não há limites de exposição ocupacional para uma série de produtos químicos conhecidos, incluindo nanopartículas. Valéria Pinto (2021) afirma que quando se trata de nanopartículas, grandes empresas com tecnologia avançada são capazes de tomar medidas de proteção, mas pequenas empresas não o fariam, deixando os funcionários mais vulneráveis. Mesmo quando se avalia o conhecimento em termos de proteção a ser aplicada, isto é verdade. Segundo Arline Arcuri (2021), "as condições técnicas e tecnológicas são alcançáveis, mas não serão aplicáveis às pequenas e médias empresas" (2021).

2.3 O Meio Ambiente do Trabalho e os Riscos das Nanotecnologias

Apesar das conquistas científicas trazidas por esta nova tecnologia, o tamanho das partículas (nanopartículas) é uma grande preocupação, pois mostra que os processos ou produtos nanotecnológicos podem ter efeitos negativos sobre o meio ambiente, a saúde humana e a sociedade como um todo (MARTINS, 2009). As nanopartículas podem representar um risco maior para os pesquisadores,

trabalhadores e consumidores do que as partículas de tamanho comum, devido à sua maior toxicidade.

Há três dificuldades com os planos nanotecnológicos latino-americanos: um envolvimento público inadequado durante os debates e a tomada de decisões; uma falta de estudo sobre as consequências da tecnologia para a saúde, o meio ambiente e a ética; e uma falha em considerar possíveis ramificações econômicas (FOLADORI; INVERNIZZI, n.d.).

A pesquisa em nanotecnologia é atualmente uma das principais prioridades da União Européia em termos de segurança e saúde dos trabalhadores. Dada a falta de provas, os empregadores devem presumivelmente tomar medidas sempre que um empregado possa ser exposto a nanopartículas (OSHA).

O NIOSH, Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional dos Estados Unidos, vem examinando os efeitos da nanotecnologia nos trabalhadores desde 2008, quando publicou um relatório sugerindo que as empresas tomem medidas de proteção para restringir a exposição dos empregados à tecnologia até que se saiba mais (NIOSH, 2008). A *"Interim Guidance for Medical Examination and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Nanoparticles"*, publicada em 2009 pelo NIOSH e pelos Centros de Controle e Prevenção de Doenças, também recomendou a continuação de investigações toxicológicas in vivo e in vitro para identificar riscos potenciais à saúde associados à exposição ocupacional a nanopartículas (NIOSH, 2009).

No Brasil, os testes toxicológicos são inadequados para determinar os impactos das nanopartículas nos ecossistemas e nas pessoas. A disposição destes itens também é fonte de preocupação, especialmente devido ao processo de bioacumulação. Os contaminantes ambientais podem ser ingeridos por humanos e outros animais através de vários canais (solo, água, ar e alimentos), e se acumulam no organismo ao longo do tempo. É difícil prescrever um plano de ação para o monitoramento médico do pessoal que está exposto a nanopartículas na ausência de mais estudos (VIEGAS, 2008).

Além das pesquisas atuais, precisamos avaliar os possíveis efeitos a longo prazo dos nanomateriais sobre a saúde humana e ambiental (ENGELMANN; FLORES; ELY, 2010).

Vários estudos examinam os efeitos das nanotecnologias sobre a segurança no trabalho. Como pode ser quantificada a ameaça apresentada por compostos com características totalmente novas quando reduzidos a dimensões nanoescópicas? Os testes de toxicidade podem ser realizados utilizando este meio? Que riscos o manuseio de nanopartículas oferece à saúde humana? Quão extensamente estas partículas viajam dentro do corpo? O que acontece quando os produtos e seus resíduos entram no ecossistema? Como podemos avaliar se a saúde dos trabalhadores expostos a estas drogas está comprometida? São necessárias mais precauções pessoais e de segurança pública? Um certo nível de exposição será aceitável? Existe uma maneira confiável de transportar, armazenar e descartar nanomateriais?

Devido às diferentes características dos elementos na escala nanométrica, eles podem ter efeitos não intencionais e desconhecidos quando entram em contato com o ambiente e o corpo humano, e a base real das características das substâncias em tamanhos maiores não se aplica aos mesmos elementos na escala nanométrica.

A falta de estudo sobre a interação entre as nanotecnologias e o meio ambiente expõe o potencial para problemas ambientais e perigos humanos (ar, água e solo). Experimentos em animais mostraram alterações na embriogênese, danos ao sistema respiratório e sangramento no cérebro (ETC GROUP, 2005).

Um estudo realizado com peixes *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) como parte do projeto "Nanotoxicologia ocupacional e ambiental: subsídios científicos para estabelecer marcos regulatórios e avaliação de risco" (MCTI/CNPq, processo 55.2131/2011-3), que faz parte do projeto "A rede brasileira de nanotoxicologia" (que indica uma preocupação, embora preliminar, com a identificação de riscos), fornece evidências de que os nanotubos de carbono podem ser perigosos nos aquários (BRITTO, 2012). O Zebrafish tratado com nanotubos de carbono (*Danio rerio*) indica possíveis efeitos neurotóxicos (OGLIARI DAL FORNO, 2013).

Apesar do alto custo de desenvolvimento de pesquisa e métodos de teste alternativos para os riscos ambientais e sanitários dos nanomateriais, a avaliação de materiais específicos e seus padrões de uso de risco é necessária devido à vasta gama de aplicações nanotecnológicas, às propriedades expressas, às rotas de exposição e aos meios de eliminação (PORTER et al., 2012, p. 385). Devido a suas

propriedades físicas, químicas e biológicas únicas e diversas, os nanomateriais precisam de uma avaliação mais sofisticada, caso a caso.

2.4 Meio Ambiente: Princípio Protetor do Trabalhador

Além dos materiais e componentes no ambiente de trabalho do trabalhador incluem as ferramentas utilizadas para o trabalho, o método no qual as tarefas são executadas e a atitude e tratamento do empregador de serviço e dos colegas de trabalho. Os prestadores de serviços são obrigados a limitar "os riscos inerentes à profissão via requisitos de saúde, higiene e segurança", a fim de oferecer um local de trabalho seguro e saudável para seus trabalhadores (inc. XXII do art. 7 da CF). Os prestadores de serviços são os principais responsáveis por proporcionar aos trabalhadores treinamento, orientação e informação sobre os riscos aos quais estão expostos no desempenho de suas funções, bem como as medidas individuais e coletivas apropriadas para cada situação, de acordo com as normas legais aplicáveis e as diretrizes das autoridades competentes.

O princípio da precaução é crucial em questões ambientais, e isto é especialmente verdadeiro no local de trabalho. Suas funções normativas orientam intérpretes e aplicadores das normas legais estabelecidas, enquanto suas atividades integrativas preenchem quaisquer lacunas ou omissões legais. Juntamente com as noções de informação (MENEGAZZI, 2011) e participação, eles oferecem a base para a aplicação bem sucedida do princípio da precaução a situações do mundo real relacionadas à nanotecnologia.

O princípio da precaução estabelece um padrão de prova mais baixo, mais amplo e mais dependente do contexto para estabelecer a segurança de uma atividade do que o grau de risco envolvido (CARVALHO, 2011). Ao contemplar a nanotecnologia e a necessidade de estudos de longo prazo, por exemplo, o princípio da precaução pode ser usado para apoiar um estudo mais aprofundado sobre possíveis riscos e seus impactos. O objetivo do princípio da precaução é encorajar a tomada de decisões em grupo e eliminar ou reduzir a incerteza nas buscas científicas. Toda decisão será informada através de análise, protegendo o meio ambiente e evitando interferências na esfera social. De acordo com o Princípio da Precaução de Moreira (2005, p. 61),

na ausência de fatos científicos provando que os perigos não existem, é responsabilidade das autoridades públicas tomar as medidas adequadas para evitá-los ou limitá-los.

2.5 Formas de Contaminação e os Perigos aos Trabalhadores Vulneráveis no Manuseio das Nanopartículas

De acordo com o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), diferentes tipos de nanopartículas são produzidas ou utilizadas em vários processos industriais. O NIOSH também informa sobre as limitadas informações disponíveis sobre os riscos das nanopartículas nos ambientes de trabalho e realiza pesquisas para determinar se elas representam um risco à saúde dos trabalhadores expostos.

Em resposta a estas preocupações, os cientistas realizaram estudos de laboratório em animais e descobriram que certas nanopartículas podem alcançar a corrente sanguínea, o cérebro e outros órgãos após serem inaladas. Isto pode ter efeitos negativos sobre os pulmões, incluindo inflamação e fibrose. Conseqüentemente, é natural preocupar-se com as possíveis repercussões para os indivíduos, especialmente para aqueles que estão na linha de frente do processo industrial, como os trabalhadores. De acordo com pesquisadores do NIOSH, não há atualmente dados disponíveis sobre exposição humana e resposta a nanopartículas ingeridas.

Devido aos riscos apresentados pelas nanopartículas aos trabalhadores, os cientistas devem saber o seguinte: a variedade e concentração de nanopartículas pode ser quantificada no mundo dos negócios; as nanopartículas podem ser medidas em termos de seu tamanho e forma. Como as características das nanopartículas podem se mostrar no corpo de um trabalhador; As consequências adversas causadas pelas concentrações de nanopartículas presentes durante a execução da atividade.

A Figura 4 mostra a inalação, ingestão e absorção cutânea como as três formas de exposição a nanopartículas. Embora a inalação de nanopartículas seja a via mais comum de exposição, caminhos adicionais, tais como a ingestão não intencional através da transferência mão-boca ou absorção de partículas expelidas do sistema respiratório, devem ser considerados.

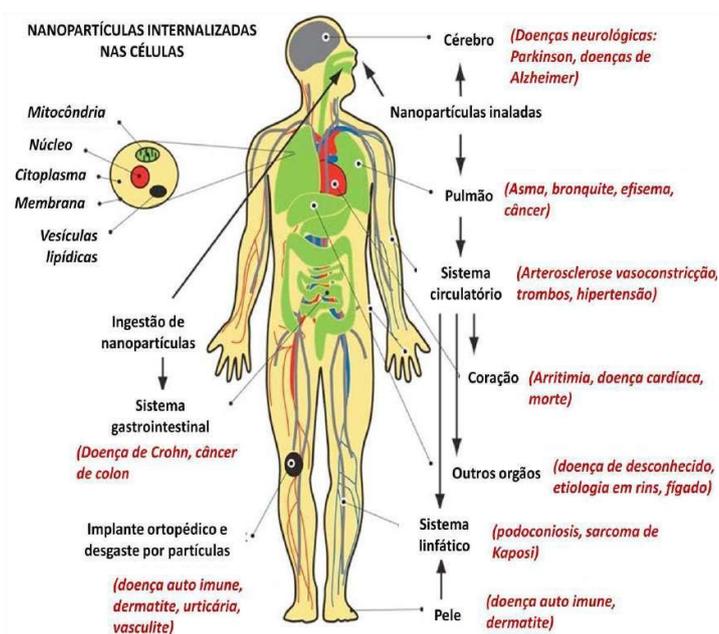


Figura 04: mostra a exposição às nanopartículas se dá por três vias: inalação, ingestão e pela pele.
 Fonte: BUZEA, C., BLANDINO, I. I. P., ROBBIE. K., Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. Biointerphases, vol. 2, 4, 2007

Muitas variáveis contribuem e afetam a exposição dos funcionários a nanopartículas, e as implicações de tal exposição são desconhecidas, portanto, sua exposição está sendo explorada. Entretanto, todas as exposições são afetadas pela concentração, duração e frequência, e o fato de que as nanopartículas se espalham rapidamente como poeira ou névoa (partículas líquidas) agrava ainda mais a situação.

2.6 As Normas do Direito Protetivos e seu Papel

Como foi observado na seção anterior, a crescente frequência e complexidade das nanotecnologias no local de trabalho gera uma lacuna de conhecimento potencialmente explorável entre empregadores e empregados. Portanto, é essencial reconhecer as funções que as novas tecnologias desempenham no local de trabalho, a fim de demonstrar que a lei está procurando alcançar a inovação.

Examinaremos as funções das regulamentações através da lente da proteção que elas pretendem proporcionar, começando com a premissa de que as regulamentações de direitos de proteção são incapazes de resolver os conflitos entre

as inovações tecnológicas e as repercussões diretas causadas pelo contato dos trabalhadores com estas novas substâncias.

Com exceção dos casos de regulamentação capturados ou ineficazes, as normas de proteção legal (ou mesmo normas reguladoras) podem induzir mudanças comportamentais, formas alternativas de controle social dos fornecedores, rejeição coletiva de produtos e serviços fornecidos por uma entidade legal específica, fortalecimento dos mecanismos de responsabilização, mudança da cultura interna das empresas e perda do valor de mercado das corporações de forma simbólico-pedagógica (DIAS TOFFOLI, 2012).

Quando bens ou serviços atingem maior relevância, no entanto, o valor simbólico e educativo das leis de proteção ao trabalhador diminui. Isto indica que o desejo de inovação técnica supera a necessidade de frear seu crescimento, apesar do fato de que o pessoal pode se tornar mais suscetível à exposição a produtos químicos desconhecidos, como consequência do aumento da pesquisa científica e das realizações.

A segunda é corretiva e envolve a resolução das dificuldades que surgiram como resultado da disparidade em termos técnicos (conhecimento e informação), econômicos e legais entre trabalhadores e empregadores em uma escala maior, em oposição a uma base individual. Esta segunda função pode ser ampliada através do estudo e compreensão das normas do Direito do Trabalho, especialmente os componentes implícitos do princípio de proteção, permitindo uma investigação mais completa e exaustiva dos problemas.

Milhares de decisões foram emitidas para melhorar ou declarar condições de trabalho abusivas, reconhecer os direitos (legítimos) dos trabalhadores, ajustar a prevenção do ambiente de trabalho expondo os trabalhadores a produtos perigosos ou prejudiciais, assegurar a aplicação dos direitos e manter uma variedade de outros serviços funcionando sem problemas, atestando sua influência (DIAS TOFFOLI, 2012).

O reconhecimento dos limites da lei, especialmente as restrições morais diretamente relacionadas à dignidade do trabalhador, permite o debate em arenas democráticas não legais, o que é a maior vantagem. A vertigem deste novo poder, centrado na proteção dos empregados pobres e vulneráveis diante da nanotecnologia,

havia sido aumentada com a ajuda de doutrinários e inúmeros professores de direito através de artigos de estudo e eruditos sobre o tema. Isto se deve ao fato de que a hipossuficiência e vulnerabilidade do trabalhador são inerentes às leis e normas que controlam as relações de trabalho e à discussão dos impactos desta revolução nanotecnológica na sociedade global.

CAPÍTULO 3: AS NANOTECNOLOGIAS E SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (SST)

3.1 A SST na Nanotecnologia no Direito Coletivo do Trabalho

Nunca antes houve uma preocupação tão ampla com o bem estar dos membros mais vulneráveis da força de trabalho. É crucial debatê-los e confrontá-los para maior clareza, pois nem a legislação nacional nem as convenções e tratados internacionais estão acompanhando as necessidades dos trabalhadores em matéria de saúde, segurança no trabalho e sua dignidade diante das nanotecnologias que se infiltram nas atividades das cadeias produtivas. As iniciativas públicas de prevenção e inspeção de acidentes estão em contradição com o sistema atual, pelo qual os empresários priorizam o mercado e os incentivos econômicos. Eles não se preocupam mais com seus trabalhadores e não conseguem ver que seus esforços têm contribuído para seu sucesso. Ao invés disso, eles estão apenas preocupados em aumentar seus resultados (BARROS OLIVEIRA, 2000).

Atualmente, a promoção da saúde como um todo está em uma situação precária e preocupante. À medida que a nanotecnologia se espalha pelo local de trabalho, uma grande variedade de substâncias novas, manipuladas em escalas nanométricas, entram nas cadeias de produção primária ou secundária sem o mínimo de informações necessárias para estabelecer rotinas e meios de proteção preventiva para a saúde e segurança desses indivíduos, que são sempre os primeiros a ter contato. Sem representação, a força produtiva de uma nação é abandonada, e os sindicatos, outrora um farol de esperança para sua força de trabalho, tornaram-se em sua maioria irrelevantes.

A promoção de equipamentos de proteção pessoal à custa de medidas que possam garantir a segurança da comunidade; a institucionalização de técnicas de fabricação seguras que, em certos casos, implicam apenas em uma estrutura simbólica de prevenção. De acordo com esta posição, os trabalhadores devem suportar o custo de qualquer acidente ou doença relacionada ao trabalho, uma vez que são o resultado direto de negligência do empregador (MACHADO; MINAYO-GOMEZ, 1995 apud MINAYO-GOMEZ; THEDIM-COSTA, 1997).

Além deste desprezo pela saúde e pela vida, há também a relutância das pessoas em reconhecer sua posição de insuficiência, bem como a pressão para perder seus empregos: O medo de perder o emprego, a garantia imediata de existência, aliada aos mais diversos limites que caracterizam a trajetória do trabalhador doente "longe" do trabalho, cobre, em muitas circunstâncias, a percepção dos indicadores de saúde debilitada ou os desloca para outras esferas da vida. 1997 (MINAYO-GOMEZ; THEDIM-COSTA).

Os trabalhadores que produzem atividades nanotecnológicas estão em perigo porque não têm controle sobre o questionamento e devem fazer seu trabalho apesar do fato de seu contrato de trabalho não conter nenhuma menção à atividade nanotecnológica ou contato com nanocompósitos.

Seguindo o conselho do Dr. Robert Becker, por exemplo, os fabricantes europeus começaram a empregar seus próprios médicos no local de trabalho. Isto proporcionaria a estes especialistas acesso irrestrito ao local de trabalho, permitindo-lhes comunicar livremente com os trabalhadores, aprender sobre seus problemas e servir como parte neutra nos conflitos entre a administração, o pessoal e os consumidores. Assim, uma vez identificados os males que afetavam o local de trabalho, caberia aos médicos de cada empresa parar as causas dos danos, e esta responsabilidade seria limitada a este profissional; assim, se houvesse uma doença relacionada ao local de trabalho, seria responsabilidade do médico erradicar seus efeitos, pois a responsabilidade pelos danos causados por estas doenças recairia sobre ele (MENDES; DIAS, 1991).

O restante da Europa, seguido pelos estados periféricos, aceitou rapidamente o paradigma de Becker.

Devido à ausência ou fraqueza dos sistemas de saúde, seja como expressão do seguro social ou diretamente fornecido pelo Estado através dos serviços públicos de saúde, os serviços médicos das empresas desempenharam um papel substituto, ao mesmo tempo em que consolidaram seu papel como um instrumento para criar e manter a dependência do trabalhador, juntamente com o exercício direto do controle sobre a força de trabalho (MENDES; DIAS, 1991).

Em resposta à crescente necessidade de supervisão e padronização internacional, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) foi criada em 1919; em

1959, a OIT emitiu sua primeira recomendação sobre medicina ocupacional, que afirmava que "a medicina ocupacional tem como objetivo (a) assegurar a proteção dos trabalhadores contra qualquer risco à sua saúde que possa resultar de seu trabalho ou das condições sob as quais ele é realizado; (b) contribuir para a saúde física e mental dos trabalhadores". (VASCONCELLOS, 1995).

Portanto, é essencial enfatizar a relevância e o valor da saúde mental do trabalhador. Como os empregados são "coisas" ou "meios" que se destacam na produção, no movimento econômico, e sua dignidade deve ser urgentemente preservada, era proibido que eles fossem expostos a agentes que causassem danos psicológicos ou fossem submetidos a circunstâncias de trabalho desumanas ou humilhantes.

Quanto à questão da adequação do trabalhador ao meio ambiente e ao significado dos cuidados a serem tomados com os trabalhadores, é importante transcrever os comentários de Oliveira e Teixeira, que descrevem como a seleção de pessoal permite a seleção de uma força de trabalho que tem menos probabilidade de gerar problemas futuros como o absenteísmo e suas consequências (interrupção da produção, gastos com obrigações sociais, etc.). (interrupção da produção, despesas com obrigações sociais, etc.).

Em segundo lugar, as tentativas da empresa para conter o presenteeísmo entre seus funcionários existentes, analisando as ocorrências de doenças, faltas e licenças. Outro aspecto é a possibilidade de uma melhor taxa de retorno dos investimentos em mão-de-obra e produtos (OLIVEIRA; TEIXEIRA, 1986 apud MENDES; DIAS, 1991, 28).

As discussões sobre segurança e saúde dos trabalhadores no Brasil aqueceram nos anos 70 e 80, durante a chamada Revolução Sanitária Brasileira, cuja ideologia centrava-se na formulação de políticas de saúde pública como um dos temas para a assembléia constituinte reformadora que ocorreria na década seguinte. A frase "Saúde do Trabalhador" foi criada pela combinação da linguagem mais agressiva e sensível à saúde do movimento sindical com a base técnica e intelectual das áreas que lidam com as ligações saúde/segurança no trabalho (VASCONCELLOS, 1995).

Conforme declarado na I Convenção Nacional sobre Saúde do Trabalhador, que foi convocada em 1986, os trabalhadores têm o direito de se recusar a trabalhar

em ambientes perigosos ou inseguros enquanto ainda recebem seu salário normal. Esta convenção enfatizou a necessidade de adotar políticas públicas para salvaguardar o trabalhador de todos os perigos aos quais ele está exposto e incluiu estas obrigações no Sistema Único de Saúde (SUS), (JUNIOR, 2021).

O trabalho em tais ambientes seria acompanhado por um sindicato de categoria, o que garantiria o pagamento de prêmios obrigatórios. Posteriormente, foi incluído no capítulo de saúde da Constituição de 1988; isto motivou o desenvolvimento da lei nas Normas Regulamentadoras; entretanto, o empregador deve sempre buscar a eliminação da nocividade e não apenas a compensação pela fragilidade de seu sistema produtivo através de aumento salarial, pois a saúde e o bem-estar do empregado não podem ser comprados (GONZALEZ, 2009).

3.2 Os Efeitos Ambiental da Nanotecnologia

As nanopartículas têm várias aplicações, e mais estão sendo descobertas todos os dias. Dentro desse quadro maior, medicina, ecologia, energia e produtos de consumo são apenas um punhado das muitas áreas de aplicação possíveis (LINKOV et al., 2009b).

Melhorias na identificação e tratamento de doenças como doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, distúrbios musculoesqueléticos e distúrbios neurodegenerativos são apenas algumas das muitas aplicações médicas da nanotecnologia. Particularmente no tratamento do câncer, o surgimento do nanotransporte de drogas (drug delivery) reduziu os efeitos colaterais, permitindo que elas atuassem apenas nas áreas afetadas (LINKOV et al., 2009b; MURASHOV, 2009).

O efeito ambiental da nanotecnologia é duplo: em primeiro lugar, diminui a poluição, apoiando atividades ecologicamente corretas, como produção sustentável, química verde e design ecologicamente correto.

Para uma melhor compreensão de como desenvolver fontes de energia renováveis, os cientistas têm se voltado para a nanotecnologia (MARCHANT, 2008; BOWMAN, 2007 e 2009). O hidrogênio da água e da luz solar, células solares melhoradas com custos de produção mais baixos, iluminação de estado sólido mais

barata e o desenvolvimento de materiais mais fortes e leves que permitem a construção de veículos mais econômicos, continuando a depender de combustíveis fósseis, são todos o foco dessas investigações.

Um inventário realizado em maio de 2008 e citado por Linkov et al. (2009) revelou que 322 empresas de 22 países produziram 610 commodities ou linhas de produtos, incluindo nanomateriais. Aparelhos relacionados a alimentos são apresentados nesta categoria.

Publicações sobre o tema demonstram que o uso da nanotecnologia em produtos alimentícios é prevalente (BOUWMEESTER et al., 2009).

De acordo com a mesma pesquisa, ainda existem inúmeras incógnitas em torno de como as nanopartículas influenciam o corpo humano. Numa linha semelhante, sublinha as dificuldades relacionadas não só com a descrição das nanopartículas (onde se sabe que estão presentes), mas também com a recolha de dados sobre a sua utilização na cadeia de abastecimento alimentar, linha de fabricação.

3.3 Os Riscos Específicos em Relação à Segurança e Saúde no Trabalho

As nanotecnologias oferecem um potencial revolucionário e dificuldades na gestão de riscos (WARDAK et al, 2008). Na avaliação de risco, o perigo de danificar alguém ou algo (aqui, traduzido como a toxicidade ou segurança do produto ou situação) e a possibilidade de isso ocorrer (aqui, traduzido como a quantidade de exposição ou a frequência com que ela acontece) são as duas considerações mais importantes (MAYNARD, 2007).

Consequentemente, podemos concluir que a toxicidade de um produto é proporcional ao risco à saúde que ele apresenta, que depende das propriedades intrínsecas da substância, dos níveis e durações de exposição do trabalhador, da persistência da substância no corpo humano e da suscetibilidade do trabalhador (OSTEGUY et al, 2009b; LINKOV et al, 2008). Para definir melhor os materiais em termos de segurança e saúde ocupacional, é necessário entender como eles podem ser engolidos, inalados ou tocados (NIOSH, 2009). O NIOSH (2009) levanta preocupações de segurança com nanopartículas, citando o potencial de reações catalíticas e o perigo de incêndio e explosão.

Avaliar os riscos potenciais das nanopartículas é um desafio, se não impossível (OSTEGUY et al, 2009; OSMAN, 2008). A comunidade acadêmica como um todo concorda que agora há demasiadas incógnitas para fazer qualquer julgamento definitivo sobre a quantidade de toxicidade (HALLOCK et al, 2009; DOE, 2008; TEXAS A&M, 2005; LINKOV et al, 2009b; WARDAK et al, 2008).

As limitações de exposição, a ausência de protocolos padronizados de testes e avaliação e as propriedades mecânicas desconhecidas das nanopartículas são alguns exemplos das muitas formas de informação necessárias para uma avaliação de risco abrangente (LINKOV et al, 2009b; COMISSÃO EUROPEIA, 2009).

Linkov et al. (2009) identificam três áreas críticas para abordar a necessidade de identificação e avaliação de riscos à luz da falta de clareza em torno dos impactos das nanotecnologias e nanopartículas. Características internas de dose ou concentração; triagem de abordagens prospectivas; exame da exposição externa (concentração e características dos nanomateriais suspensos no ar ou em líquidos). Novas tecnologias devem ser capazes de auxiliar o trabalho necessário para produzir estas informações, o que inclui a caracterização de nanomateriais para explicar o risco de exposição. Entretanto, foi observado que relativamente pouco estudo foi realizado nesta área (HANSEN, 2009).

Wang (2011) afirma que medições e metodologias de caracterização, dados de emissões, exposição e toxicidade, e informações de controle e redução da exposição são todos necessários para experimentos SST usando nanomateriais. Entretanto, pesquisas neste campo tendem a mostrar que existem outros problemas não resolvidos, tais como se os níveis reportados são seguros e se existe a métrica ideal para medir a exposição a nanomateriais. O mesmo autor fornece métodos e ferramentas para determinar os níveis de exposição de nanomateriais no local de trabalho.

Comparando os perigos associados às nanotecnologias com aqueles associados aos produtos químicos, há muitos paralelos em como eles são classificados e como eles podem ser controlados. Entretanto, selecionar quais dados devem ser usados para descrever as nanotecnologias apresenta desafios adicionais (MARK, 2007).

Mark (2007) afirma que existem equipamentos e processos para massa, número de partículas e área de superfície de partículas, embora não no contexto da exposição ocupacional. Todos eles podem ser medidos direta ou indiretamente.

Com relação à métrica de nanopartículas em mais detalhes, Voogd (2010) acredita que, apesar da falta de consenso, a área de superfície das nanopartículas é o fator mais importante para estudos de dose-resposta e, como tal, deve ser considerado ao determinar os limites de exposição.

3.4 Identificação dos Possíveis danos à Saúde e Formas de Infecção

Os nanomateriais representam um perigo para as pessoas em todas as fases do seu ciclo de vida, desde a síntese até à eliminação. Inúmeras questões científicas sobre os impactos da exposição a nanomateriais ainda precisam ser abordadas (STERN e MCNEIL, 2008; BAA, 2007). Na literatura existente (STERN e MCNEIL, 2008; MURASHOV e HOWARD, 2007), vários tipos de contaminação são identificados, incluindo, mas não se limitando ao seguinte:

1) Inalação: Devido ao seu tamanho diminuto e à influência do movimento browniano, as nanopartículas são capazes de serem inaladas e espalhadas por vastas regiões. A principal via de contaminação é o sistema respiratório (EU-OSHA, 2009a). Devido ao fato de que partículas ultrafinas (abaixo de 100 nm) são depositadas e eliminadas dos alvéolos de forma diferente das partículas maiores, pesquisas epidemiológicas sugerem que elas podem causar doenças pulmonares (BROUWER, et al., 2004). Ao contrário, há evidências de que os filtros comerciais contemporâneos de alta eficiência podem proteger contra esses riscos (KIM et al., 2006).

2) Translocação generalizada ao pulmão: Alguns estudos indicam que as nanopartículas podem ir dos pulmões para outros órgãos, no entanto, isso não foi demonstrado por todos os estudos. Durante a fabricação, outras dessas partículas podem ser encontradas no ar, tornando esse problema ainda mais urgente.

3) Transposição de neurónios: Numerosas investigações têm mostrado que as nanopartículas podem atravessar o epitélio nasal e atingir o bulbo olfatório. Eles podem chegar imediatamente ao cérebro através do bulbo olfatório (HALLOCK et al., 2009).

4) Exposição dérmica: Pesquisas recentes têm se concentrado fortemente na interação de pequenas partículas com a pele, uma vez que elas são cada vez mais empregadas em produtos como protetores solares, loções e roupas. Além dos usos mencionados acima, as nanopartículas voadoras tendem a se agrupar, gerando aglomerados que se depositam em superfícies, como a pele, neste caso.

5) Exposição estomacal: De acordo com certos estudos, as nanopartículas podem ser absorvidas pelo corpo através do sistema digestivo. Em termos de perigo ocupacional e ambiental, a exposição oral pode ser comparável à exposição da pele. As nanopartículas podem entrar no corpo pelo consumo de alimentos ou bebidas contaminados, inalação ou transferência das mãos para a boca. Alternativamente, as nanopartículas utilizadas em drogas orais podem ser absorvidas, com efeitos indeterminados sobre os usos biológicos.

Semelhante aos fulerenos, as nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) apresentaram fotogenotoxicidade em ensaios *in vitro*, protegendo contra carcinogênese fotoinduzida em estudos *in vivo*.

Tendo em vista os possíveis perigos para a saúde, também é vital monitorar a saúde dos funcionários que foram expostos. A controvérsia envolve a necessidade e a praticidade do monitoramento médico nanoespecífico (NASTERLACK et al., 2008).

A magnitude do problema, a precisão e a consistência dos procedimentos de análise, a eficácia da detecção precoce, o risco de danos colaterais do processo de seleção e se os benefícios superam os custos são fatores a serem considerados ao decidir se deve ou não tomar tal ação (Nasterlack et al., 2008).

Atualmente, não há pontos de vista estabelecidos sobre qualquer um desses tópicos que dariam credibilidade ao monitoramento específico da nanotecnologia. Os modelos atuais de monitoramento médico do trabalhador não incluem características nanoespecíficas, mas sua inclusão pode ser vantajosa (NASTERLACK et al., 2008; GROSSI, 2009; NIOSH, 2009b).

3.5 A Percepção dos Riscos e as Características Éticas

Tecnologias particularmente inovadoras têm a capacidade de trazer à tona considerações éticas (MOOR, 2005). (MOOR, 2005). Normalmente, há três fases para as revoluções tecnológicas: introdução, quando o impacto social é mínimo e há poucas aplicações e conceitos; permeação, quando os impactos e a compreensão dessa nova área se expandem; e domínio, quando o impacto social é generalizado devido ao uso generalizado da tecnologia (MOOR, 2005).

Isso é claramente demonstrado pela revolução da TI. Inicialmente, os computadores eram encontrados exclusivamente em instituições acadêmicas; posteriormente, foram adquiridos como curiosidades ou brinquedos com pouco uso; e hoje, como resultado da inclusão digital, mesmo as crianças sem os meios financeiros para se sustentar podem ter acesso à Internet.

As considerações éticas das nanotecnologias estão ligadas às da engenharia genética, notadamente no contexto dos alimentos transgênicos (PETERSEN e ANDERSON, 2007; MOURÃO, 2005). (PETERSEN e ANDERSON, 2007; MOURÃO, 2005). Como as vantagens e desvantagens das nanotecnologias serão dispersas ou apoiadas? Até que ponto os não-estudantes do tema (a sociedade em geral) podem fornecer uma opinião sobre a direção da pesquisa e os usos das tecnologias? Essa visão terá algum peso ou algum impacto na direção da pesquisa e desenvolvimento? Existe um método consistente para usar o financiamento público para explorar novas tecnologias? (SCHUMMER e PARIOTTI, 2008; PROJETO FRAMINGNANO, 2009; SPARROW, 2009; PETERSEN, 2009).

Deve-se enfatizar que o enigma moral nada tem a ver com malevolência, autonomia, justiça, privacidade ou crescimento do respeito pelos indivíduos (SCHUTLE; SALAMANCA-BUENTELLO, 2006).

As preocupações relacionadas ao local de trabalho incluem o seguinte (SCHUTLE e SALAMANCA-BUENTELLO, 2006): os riscos sendo devidamente identificados e comunicados por cientistas, autoridades e empregadores; Trabalhadores com a opção de aceitar ou rejeitar livremente quaisquer riscos que lhes sejam comunicados; Ser devidamente selecionado e aplicado os controles; programas

de detecção precoce sendo devidamente estabelecidos; e financiamento adequado para a investigação em toxicologia e vigilância.

O medo é uma reação normal ao estranho ou desconhecido. Isso vale também para as nanotecnologias. Essa afirmação é apoiada pela pesquisa de Siegrist (2007), que indica que o público em geral está mais consciente dos perigos da nanotecnologia do que cientistas e engenheiros, e que eles não confiam em fontes autorizadas; no entanto, ambos os grupos têm um nível semelhante de compreensão sobre os benefícios da nanotecnologia. Vários valores (como cultura, educação e acesso à informação, etc.) têm um papel no desenvolvimento da percepção de risco de um indivíduo, o que pode resultar em diversidade substancial nessa perspectiva.

Currall (2006) segue os passos de Palma e Oliveira ao apresentar as nanotecnologias em forma gráfica do ponto de vista da percepção de seus potenciais perigos e benefícios (2009). Conforme definido por Currall, os riscos e recompensas são mostrados em um par de eixos cartesianos que variam de 1 (muito baixo) a 7 (extremamente alto) (2006). Os benefícios da nanotecnologia excedem os perigos em cerca de 3,80. Em contraste, o amianto tem seis riscos para cada dois benefícios.

Especialistas na área (PETERSEN e ANDERSON, 2007) são quase unificados em sua avaliação dos perigos apresentados pela nanotecnologia, mas nenhuma ação significativa foi feita para aliviar ou mesmo avaliar essas questões (HANSEN, 2009). A nanotecnologia é uma disciplina sobre a qual o público em geral é notavelmente ignorante, e o pouco que eles sabem é principalmente restrito aos benefícios econômicos e sociais frequentemente associados a ela. Mesmo entre os especialistas científicos, não há unanimidade sobre os possíveis riscos do desenvolvimento de tecnologia (SCHEUFELE e LEWENSTEIN, 2005; INVERNIZZI, 2008).

Conceitos e percepções modernas de risco viraram a ordem cronológica convencional do passado, presente e futuro de cabeça para baixo. O passado não pode mais ser usado como justificativa para o presente. Até agora, os acordos baseavam-se num exame retrospectivo das ligações de causa e efeito. No futuro, se os padrões presentes continuarem, as pessoas discutirão e analisarão fatos e possibilidades hipotéticas que nunca ocorreram antes, mas que podem ocorrer no futuro (BERGER FILHO, 2010).

CAPÍTULO 4: MEIO AMBIENTE E A COMUNIDADE FRENTE AS NANOPARTÍCULAS

4.1 Particularização Sobre a Relação do Meio Ambiente e da Comunidade

De acordo com Simone e Valcarcel (2009), as nanopartículas podem afetar o meio ambiente de quatro maneiras diferentes: (1) tendo um efeito direto na biota (toxicidade); (2) modificando a biodisponibilidade de toxinas ou nutrientes; (3) tendo efeitos indiretos devido a sua interação com o meio ambiente orgânico; e (4) modificando as microestruturas ambientais.

O Projeto sobre Nanotecnologias Emergentes nos Estados Unidos (PEN) exige mais pesquisa sobre riscos ambientais e de segurança no trabalho, maior regulamentação governamental e uma abordagem coordenada da nanotecnologia (SARGENT, 2008; COMISSÃO EUROPEIA, 2009).

Neste contexto, a iniciativa oferece diversas considerações ambientais, comunitárias e de segurança e saúde ocupacional. Estas incluem o desenvolvimento de um Sistema de Relatórios de Segurança Nano, através do qual os envolvidos na nanotecnologia poderiam relatar anonimamente suas experiências e trocar dados que ajudariam no desenvolvimento de indicadores de questões de segurança emergentes, bem como a criação de tecnologias de alerta precoce e de baixo custo para perigos potenciais.

A proposta de Grossi (2009) para um sistema de vigilância epidemiológica ampliado para a população em geral, reforçado pelos sistemas existentes (BOWMAN e LUDLOW, 2009), e alguns nanopontos chave que podem ser responsáveis pela identificação de potenciais problemas de saúde devido à exposição a nanomateriais, pode ser acrescentada a esta lista.

Considerando o escopo destas questões, Sargent (2008) aconselha como um primeiro passo essencial o desenvolvimento de parcerias globais para a distribuição de dados e gestão das preocupações decorrentes do uso de nanotecnologias. Através dessa cooperação, devem ser definidas normas para a aplicação e caracterização das consequências das nanotecnologias sobre a sociedade e o meio ambiente.

Após os benefícios econômicos e sociais das nanotecnologias terem sido alcançados, tanto os defensores quanto os críticos concordam que as possíveis

consequências ambientais, de segurança e de saúde dessas tecnologias devem ser abordadas. Um grande número de indivíduos também pensa que o atual conjunto de conhecimentos sobre os impactos dos materiais em escala nanométrica sobre os seres humanos e o meio ambiente é insuficiente para avaliar e gerenciar riscos potenciais (SARGENT, 2008).

Handy et al. (2012), por outro lado, fornecem um estudo detalhado dos problemas relacionados à ecotoxicidade das nanopartículas, sugerindo que métodos padrão de avaliação de risco ainda são aplicáveis, embora com modificações para acomodar a nanoescala.

4.2 Gestão de Riscos e as Atividades com Nanomateriais

Malchaire (2003) afirma que o bom senso é essencial para a gestão adequada de todos os riscos de trabalho. Priorizar o significado dos princípios centrais da prevenção é um bom lugar para começar. Os riscos devem ser eliminados sempre que possível (modificando procedimentos ou trocando produtos, por exemplo), então aqueles que não podem ser eliminados devem ser avaliados, então esses riscos devem ser combatidos em sua fonte, então o trabalho deve ser adaptado à condição humana (através de medidas como o uso de equipamentos de proteção coletiva), e finalmente, se tudo mais falhar, o homem deve ser protegido enquanto trabalha (uso de equipamentos de proteção individual, por exemplo).

O conceito de que risco é a soma de dois componentes, ameaça e exposição, está intimamente ligado aos conceitos de prevenção descritos acima. O perigo também pode ser inerente ao produto (como a inflamabilidade da gasolina), ao procedimento (como a alta temperatura de um forno), ou à situação (trabalhar em altura). O período também pode ser caracterizado pela intensidade ou possibilidade de danos potenciais ao longo de sua duração.

Para este objetivo, podemos definir "exposição" como o grau de risco representado pela possibilidade de danos corporais. Diversos fatores, incluindo a frequência e duração do cenário de risco, a natureza do processo e os controles em vigor para minimizar o risco, e as personalidades das pessoas responsáveis pelo

desenvolvimento do processo, todos influenciam a possibilidade de ocorrência de danos (MALCHAIRE, 2003).

Estas suposições são válidas tanto para os riscos ocupacionais bem compreendidos como para aqueles sobre os quais subsistem dúvidas, tais como as apresentadas pelos nanomateriais. Devido à obscuridade que envolve os nanomateriais, no entanto, a maioria dos sistemas atuais de gerenciamento de risco estão mal equipados para lidar com os desafios extras apresentados pelas nanotecnologias (MARCHANT et al., 2008; SARGENT, 2008; CONTI et al., 2008; OK et al., 2008).

Risco aceitável, análise de custo benefício e viabilidade (ou melhor tecnologia disponível) são três técnicas de gerenciamento de risco frequentemente utilizadas e tradicionais (MARCHANT et al., 2008). Cada um desses modelos é mais adequado para certos trabalhos do que outros devido a suas características distintas. É vital definir o que constitui um risco aceitável e para quem. Somente empresas com alto risco e grande recompensa, como as usinas de energia nuclear, são viáveis. Como a saúde e a vida humana nem sempre são mensuráveis, as questões éticas devem ser incluídas nas análises de custo benefício.

Linkov e colegas (2009a) oferecem o Método de Avaliação de Alternativas e o Método de Análise de Decisão Multi-Critérios para o controle de riscos relacionados à nanotecnologia. Linkov et al. (2009a) propõem que o foco deve ser mudado da atual pesquisa de risco para o desenvolvimento de soluções. Em vez de se concentrar em decidir qual nível de risco é aceitável para um nanomaterial específico, a nova estratégia permitiria à pesquisa e à política identificar nanotecnologias alternativas e oportunidades de redução de risco e inovação.

É razoável afirmar que não existem técnicas inovadoras de gestão de risco para os mais recentes avanços tecnológicos (MARCHANT et al., 2008; MAYNARD, 2006; SCHULTE et al., 2008). Com a ajuda da pesquisa de Sudarenikov (2013), o Conselho Europeu sugere a adoção de normas nanotecnológicas e técnicas de gerenciamento de risco que: Deve ser relevante em uma base global e incluir todas as fontes concebíveis de nanomateriais (naturais, acidentais ou artificiais), bem como seu uso e disposição final.

Devemos nos esforçar para padronizar as estruturas reguladoras, tais como a forma como os riscos são avaliados e tratados e como os cientistas, os trabalhadores industriais e os consumidores são protegidos. Além dos fatores acima mencionados, educação, proteção, acesso à informação, rotulagem, etc., também devem ser padronizados.

Ela deve ser discutida e formulada em um processo aberto e transparente envolvendo uma ampla gama de fatores (incluindo governos nacionais, organizações internacionais, a Assembléia Parlamentar, a sociedade civil, especialistas e cientistas) em um discurso que pode se estender além da região do Conselho da Europa.

Eles têm a capacidade de servir de modelo para outras nações no desenvolvimento de suas próprias regras. Num futuro não muito distante, esperamos estabelecer um centro multidisciplinar global que servirá como base de conhecimento global sobre nanosseguurança e fornecerá apoio contínuo, incluindo assistência financeira, aos programas de pesquisa existentes que tentam determinar os perigos associados aos nanomateriais.

Ele deverá ser capaz de promover o desenvolvimento de uma estrutura para avaliar os efeitos da nanotecnologia nas pessoas e no meio ambiente no contexto de programas de pesquisa e produtos de consumo.

Estes objetivos são elevados e sua amplitude reflete não apenas a importância da questão em questão, mas também a necessidade de expandir o alcance destes diálogos para incluir pessoas de todo o mundo. Dentro do escopo desta tese, há três facetas significativas: Uso de abordagens qualitativas para análise do ambiente de trabalho; aceitação do princípio da precaução; comunicação aberta e acesso à informação que indica participação no processo de limitação da exposição a possíveis riscos de nanopartículas;

4.3 O Princípio da Precaução

Este conceito é conhecido como o princípio da precaução, e é o décimo sexto princípio da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ONU, 1992). (já que pode não ser viável no futuro). Em outras palavras, o fato de não podermos prever a quantidade total de qualquer dano em perspectiva não nos impedirá de

implementar medidas realistas e baratas. Parece plausível aplicar este conceito à gestão das ameaças colocadas pelas nanotecnologias.

O princípio da precaução foi definido de várias maneiras (STEBBING, 2009), e tampouco a quantidade de precaução necessária para preservar a idéia foi devidamente definida.

Stebbing (2009) descreve duas abordagens básicas para o princípio da precaução. A primeira versão é a mais restritiva e se baseia no conceito "primeiro, não causar dano". Para que isto seja eficaz, é preciso evitar tomar qualquer medida se isso aumentar seu risco de ferimentos. A segunda abordagem, "ativa", enfatiza "fazer mais e não menos" para diminuir a exposição ao perigo, por exemplo, selecionando alternativas menos arriscadas sempre que possível e abraçando a responsabilidade pessoal por perigos potenciais. De acordo com a mesma fonte, há seis componentes para a abordagem ativa.

Antes de determinar definitivamente que um evento causou outro, é necessário tomar medidas, determinar seus objetivos, fazer pesquisas e avaliar suas escolhas.

Os proponentes da nova tecnologia devem arcar com os encargos financeiros e apresentar provas de sua segurança.

A prontidão para aceitar o dever de observar, compreender, investigar, relatar e tomar as medidas necessárias; promovendo o desenvolvimento de procedimentos e padrões democráticos de tomada de decisão.

Já declarado, Sudarenikov (2013) propõe que o princípio de precaução seja implementado em sua forma ativa às nanotecnologias, levando em consideração os fatores acima mencionados, salvaguardando a liberdade acadêmica e incentivando a pesquisa.

Apesar da aceitação geral do princípio da precaução, Stebbing (2009) observa que há uma multidão de opiniões conflitantes. O autor levanta três preocupações: (1) o princípio da precaução pode aumentar a ansiedade sobre o futuro, aumentando nossa consciência dos perigos potenciais; (2) porque a tecnologia pode ser usada como um instrumento de controle social, uma abordagem preventiva pode exacerbar involuntariamente as desigualdades existentes; e (3) o princípio da precaução pode ser contraproducente se não considerar o contexto de riscos e benefícios relativos.

Em resposta às preocupações mencionadas, ela propõe iniciar um discurso e incluir o público desde cedo no processo de desenvolvimento de valores sociais relacionados à nanotecnologia.

4.3.1 O Control Banding (CB)

O *Control Banding* (CB) foi criado como consequência da iniciativa *Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials Model* (Modelo Essencial de Controle de Substâncias Perigosas à Saúde), estabelecida em 1999 pelo *Health and Safety Executive* (HSE) do Reino Unido. A abordagem CB foi desenvolvida como uma ferramenta realista de gerenciamento de risco para situações envolvendo substâncias químicas potencialmente perigosas para as quais não há essencialmente dados sobre a toxicidade dessas substâncias (BROUWER, 2012).

Nesta estratégia, um cenário é alocado a um grupo distinto (faixa ou faixas) com base em seu nível de exposição e perigo, e então são realizados procedimentos únicos de gerenciamento de risco, dependendo do nível de risco de cada faixa. Esta técnica é qualitativa, pois não inclui avaliações quantitativas de risco, mas sim uma avaliação do impacto potencial do risco sobre a saúde humana e o meio ambiente.

A abordagem CB é apropriada para uso em ambientes com menos pessoas, tais como laboratórios universitários e pequenas empresas, uma vez que não requer pesquisas quantitativas mais demoradas e caras. De acordo com *Brouwer* (2012), a abordagem CB começou no negócio farmacêutico antes de ser estendida a outros setores da indústria química e, mais recentemente, a novas tecnologias, como a nanotecnologia. Normalmente, esses dispositivos oferecem apenas uma faixa ou faixa de risco para uma determinada técnica e as atividades que podem ser feitas para mitigar esse risco. Consequentemente, é evidente que estes instrumentos fazem parte de um conjunto maior de processos que levam a uma gestão de risco eficaz.

Num sentido mais amplo, esta estratégia pode ser usada para classificar itens, procedimentos ou circunstâncias em dois grupos: aqueles com perigos mínimos e aqueles com alta exposição. A categoria de risco para este produto, processo ou evento é determinada pela interpolação entre as faixas de perigo e de exposição.

Entre as características do instrumento CB estão: - O número de categorias de risco e as faixas de perigos e exposições são irrestritas (ou categorias). No entanto, a proposta da União Européia (UE, 2012) fornece uma matriz de três categorias de perigo por três categorias de exposição, produzindo assim três grupos de risco, embora o método convencional forneça apenas duas faixas para cada um. Em contraste, a idéia do *Nanotool CB* (Paik et al., 2008) emprega uma matriz de quatro por quatro, com quatro categorias de ameaça discretas. Embora não haja um limite rígido para o número de faixas, muitas delas estabeleceriam demasiadas categorias de perigo e tornariam o instrumento menos compreensível.

Neste paradigma fundamental, o Grupo I representaria risco "baixo", o Grupo II representaria risco "médio", e o Grupo III representaria risco "alto". O instrumento deveria dar sugestões para minimizar ou limitar o risco de acordo com seu grau ou severidade para cada uma destas três categorias.

CAPÍTULO 5: METODOLOGIA

O estudo realizado teve como objetivo investigar como a nanotecnologia está sendo tratada no âmbito do trabalho no Brasil, com foco na gestão da saúde e segurança do trabalhador. O método de pesquisa adotado foi uma análise qualitativa, iniciada com um estudo bibliográfico que envolveu a consulta de artigos e livros publicados sobre o assunto, com a internet sendo a principal fonte de pesquisa.

Durante o estudo, foi observado que no Brasil não há uma regulamentação específica para a nanotecnologia, no sentido tradicional do termo, ou seja, não existe uma legislação específica que trate dos aspectos relacionados a essa tecnologia. A ausência de uma regulação específica expõe o trabalhador a riscos, uma vez que não há diretrizes claras e normas de segurança para lidar com os potenciais perigos associados à nanotecnologia no ambiente de trabalho (EBERT, 2020).

A falta de uma regulação adequada pode dificultar a avaliação e gestão dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia, o que pode resultar em exposição inadequada dos trabalhadores a materiais e substâncias nanométricas. Isso pode levar a possíveis efeitos adversos na saúde dos trabalhadores, uma vez que ainda há muitas incertezas sobre os impactos da nanotecnologia no corpo humano (LOURO, 2013).

A ausência de regulação específica para a nanotecnologia destaca a necessidade de uma revisão e atualização das normas e legislações existentes relacionadas à saúde e segurança do trabalho, a fim de incorporar diretrizes e requisitos específicos para a proteção dos trabalhadores expostos à nanotecnologia. Essas diretrizes podem incluir limites de exposição ocupacional, práticas seguras de trabalho, requisitos de monitoramento e controle de riscos, entre outros (MOREIRA, 2022).

CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

As Normas Regulamentadoras, do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil até o momento, são em número de 38, sendo duas já revogadas (NR-2 e 27). A NR-15, em seus 14 anexos, sendo um revogado (anexo 4) regulamenta os critérios de caracterização de atividades e operações insalubres. Assim, o subitem 15.1 da referida norma determina que são consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem:

- Acima dos limites de tolerância previstos nos anexos 1, 2, 3, 5, 11 e 12.
- Nas atividades mencionadas nos anexos 6, 13 e 14.
- Comprovadas por meio de laudo de inspeção do local de trabalho, constantes dos anexos 7, 8, 9 e 10.

Embora o art. 189 da CLT estabelece que a insalubridade ocorrer quando a exposição ao agente superar o limite de tolerância, observa-se que a norma do MTE estabeleceu três critérios para a caracterização da insalubridade: avaliação quantitativa, qualitativa e inerentes à atividade.

A) Avaliação Quantitativa

Nos anexos 1, 2, 3, 5, 8, 11 e 12 estão definidos os limites de tolerância para os agentes agressivos fixados em razão da natureza, da intensidade e do tempo de exposição. Nesse caso, o perito terá de medir a intensidade ou a concentração do agente e compará-lo com os respectivos limites de tolerância; a insalubridade será caracterizada somente quando o limite for ultrapassado. Para tanto, o perito deve utilizar todas as técnicas e os métodos estabelecidos pelas normas da Higiene Ocupacional juntamente com aquelas definidas nos mencionados anexos.

E importante salientar que praticamente todos os limites fixados foram baseados nos limites de tolerância estabelecidos, em 1977, pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), devidamente corrigidos para a jornada de trabalho no Brasil, e permanecem, na sua maioria, inalterados.

B) Avaliação Qualitativa

Nos anexos 7, 9, 10 e 13, a NR-15 estabelece que a insalubridade será comprovada pela inspeção realizada por perito no local de trabalho; ou seja, nesses anexos, o MTE não fixou limites de tolerância para os agentes agressivos, embora as normas internacionais — incluindo a ACGIH — os tenham estabelecido para praticamente todos os agentes. Assim, na caracterização da insalubridade pela avaliação qualitativa, o perito deverá analisar detalha em exposição abaixo do limite, quando for considerada a média ponderada, observando-se, é claro, as situações que possuem limites “valor-teto” fixados em normas internacionais.

C) Avaliação Qualitativa de Riscos Inerentes a Atividade

O subitem 15.1.3 da NR-15 estabelece que serão insalubres as atividades mencionadas nos anexos 6, 13 e 14.

O fato de não haver meios de se eliminar ou neutralizar a insalubridade significa que esta é inerente à atividade. Assim, por exemplo, no trabalho em contato com pacientes em hospitais (anexo 14 — agentes biológicos), o risco de contágio não pode ser totalmente eliminado com medidas no ambiente ou com o uso de EPI (Equipamento de Proteção individual).

O anexo 13 (incluído no subitem 15.1.3 da NR-15), no entanto, estabelece, no seu caput, que a caracterização da insalubridade será por inspeção realizada no local de trabalho.

Entretanto, os anexos 11, 12 e 13 que serão esmiuçados, por estarem correlacionados com a pesquisa.

- **Anexo 11** - O anexo 11 dispõe que a caracterização de insalubridade ocorrerá quando forem ultrapassados os limites de tolerância constantes em seu Quadro 1. E que todos os valores fixados no Quadro 1 são válidos para absorção apenas por via respiratória. Logo, a insalubridade só pode ser caracterizada para exposição respiratória. A indicação de absorção pela pele apenas deve ser utilizada como um indicativo preventivo para proteção dos trabalhadores.

Quadro 1 - Tabela de limites de tolerância

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m3**	
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	médio
Acetato de éter monoetílico de etileno glicol (vide acetado de cellosolve)			-	-	-
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etóxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Axfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Acido acético			8	20	médio
Acido cianídrico		+	8	9	máximo
Acido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Acido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Acido etanóico (vide ácido acético)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m3**	
Acido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Acido fórmico			4	7	médio
Acido metanóico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrilonitrila		+	16	35	máximo
Alcool isoamílico			78	280	mínimo
Alcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Alcool isobutílico			40	115	médio
Alcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Alcool terc-butílico			78	235	médio
Alcool etílico			780	1480	mínimo
Alcool furfurílico		+	4	15,5	médio
Alcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Alcool metílico		+	156	200	máximo
Alcool n-propílico		+	156	390	médio
Alcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Amônia			20	14	médio
Anidro sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-
Anilina		+	4	15	máximo
Argônio			Asfixante	simples	-
Arsina (arsenamina)			0,04	0,16	máximo
Brometo de etila			156	695	máximo
Brometo de metila		+	12	47	máximo
Bromo			0,08	0,6	máximo
Bromoetano (vide brometo de etila)			-	-	-
Bromofórmio		+	0,4	4	médio
Bromometano (vide brometo de metila)			-	-	-
1,3 Butadieno			780	1720	médio
n-Butano			470	1090	médio
n-Butano (vide álcool n-butílico)			-	-	-
sec-Butanol (vide álcool sec-butilico)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Butanona (vide metil etil cetona)			-	-	-
1-Butanotiol (vide butil mercaptana)			-	-	-
n-Butilamina	+	+	4	12	máximo
Butil cellosolve		+	39	190	médio
n-Butil mercaptana			0,4	1,2	médio
2-Butóxi etanol (vide butil cellosolve)			-	-	-
Cellosolve (vide 2-etóxi etanol)			-	-	-
Chumbo			-	0,1	máximo
Cianeto de metila (vide acetonitrila)			-	-	-
Cianeto de vinila (vide acrilonitrila)			-	-	-
Cianogênio			8	16	máximo
Ciclohexano			235	820	médio
Ciclohexanol			40	160	máximo
Ciclohexilamina		+	8	32	máximo
Cloreto de carbonila (vide fosgênio)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Cloreto de etila			780	2030	médio
Cloreto de fenila (vide cloro benzeno)			-	-	-
Cloreto de metila			78	165	máximo
Cloreto de metileno			156	560	máximo
Cloreto de vinila	+		156	398	máximo
Cloreto de vinilideno			8	31	máximo
Cloro			0,8	2,3	máximo
Clorobenzeno			59	275	médio
Clorobromometano			156	820	máximo
Cloroetano (vide cloreto de etila)			-	-	-
Cloroetilico (vide cloreto de vinila)			-	-	-
Clorodifluometano (freon 22)			780	2730	mínimo
Clorofórmio			20	94	máximo
1-Cloro 1-nitropropano			16	78	máximo
Cloroprene		+	20	70	máximo
Cumeno		+	39	190	máximo
Decaborano		+	0,04	0,25	máximo
Demeton		+	0,008	0,08	máximo

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Diamina (vide hidrazina)			-	-	-
Diborano			0,08	0,08	máximo
1,2-Dibromoetano		+	16	110	médio
o-Diclorobenzeno			39	235	máximo
Diclorodifluometano (freon 12)	+		780	3860	mínimo
1,1 Dicloroetano			156	640	médio
1,2 Dicloroetano			39	156	máximo
1,1 Dicloreotileno (vide cloreto de vinilideno)			-	-	-
1,2 Dicloroetileno			155	615	médio
Diclorometano (vide cloreto de metilino)			-	-	-
1,1 Dicloro-1-nitroetano	+		8	47	máximo
1,2 Dicloropropano			59	275	máximo
Diclorotetrafluoretano (freon 114)			780	5460	mínimo
Dietaíl amina			20	59	médio
Dietaíl éter (vide éter etílico)			-	-	-
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	+		0,016	0,11	máximo
Diisopropilamina		+	4	16	máximo

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm ⁺	mg/m ^{3**}	
Dimetilacetamida		+	8	28	máximo
Dimetilamina			8	14	médio
Dimetilformamida			8	24	médio
1,1 Dimetil hidrazina		+	0,4	0,8	máximo
Dióxido de carbono			3900	7020	mínimo
Dióxido de cloro			0,08	0,25	máximo
Dióxido de enxofre			4	10	máximo
Dióxido de nitrogênio	+		4	7	máximo
Dissulfeto de carbono		+	16	47	máximo
Estibina			0,08	0,4	máximo
Estireno			78	328	médio
Etanol (vide acetaldeído)			-	-	-
Etano			Asfixiante	simples	-
Etanol (vide etílico)			-	-	-
Etanotiol (vide etil mercaptana)			-	-	-
Eter decloroetilico		+	4	24	máximo
Eter etílico			310	940	médio
Eter monobutílico do etileno glicol (vide butil cellosolve)			-	-	-
Eter monoetilico do etileno glicol (vide cellosolve)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm ⁺	mg/m ^{3**}	
Eter monometilico do etileno glicol (vide metil cellosolve)			-	-	-
Etilamina			8	14	máximo
Etilbenzeno			78	340	médio
Etileno			Asfixiante	simples	-
Etilenoimina		+	0,4	0,8	máximo
Etil mercaptana			0,4	0,8	médio
n-Etil morfolina		+	16	74	médio
2-Etoxi-etanol		+	78	290	médio
Fenol		+	4	15	máximo
Fluortriclorometano (freon 11)			780	4370	médio
Formaldeído (fomol)	+		1,6	2,3	máximo
Fostina (fosfamina)			0,23	0,3	máximo
Fosgênio			0,08	0,3	máximo
Freon 11 (vide flortriclorometano)			-	-	-
Freon 12 (vide diclorodiflormetano)			-	-	-
Freon 22 (vide clorodifluormetano)			-	-	-
Freon 113 (vide 1,1,2, triclora-1,2,2-trifluoreto)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³	
Freon 114 (vide dechlorotetrafloretano)			-	-	-
Gás amoníaco (vide amônia)			-	-	-
Gás carbônico (vide dióxido de carbono)			-	-	-
Gás cianídrico (vide ácido cianídrico)			-	-	-
Gás clorídrico (vide ácido clorídrico)			-	-	-
Gás sulfídrico			8	12	máximo
Hélio			Asfixiante	simples	-
Hidrazina		+	0,08	0,08	máximo
Hidreto de antimônio (vide estibina)			-	-	-
Hidrogênio			Asfixiante	simples	-
Isobutanol (vide álcool isobutilico)			-	-	-
Isopropilamina			4	9,5	médio
Isopropil benzeno (vide cumeno)			-	-	-
Mercurio (todas as formas exceto orgânicas)			-	0,04	máximo
Metacrilato de metila			78	320	mínimo
Metano			Asfixiante	simples	-
Metanol (vide álcool metílico)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			Ppm*	mg/m ³ **	
Oxido nítrico (NO)			20	23	máximo
Oxido nítrico (N ₂ O)			Asfixiante	simples	-
Ozona			0,08	0,16	máximo
Pentaborano			0,004	0,008	máximo
n-Pentano		+	470	1400	mínimo
Percloroetileno			78	525	médio
Piridina			4	12	médio
n-propano			Asfixiante	simples	-
n-Propanol (vide álcool n-propílico)			-	-	-
iso-Propanol (vide álcool isopropílico)			-	-	-
Propanona (vide acetona)			-	-	-
Propileno			Asfixiante	simples	-
Propileno imina		+	1,6	4	máximo
Sulfato de dimetila	+	+	0,08	0,4	máximo
Sulfeto de hidrogênio (vide gás sulfídrico)			-	-	-
Systox (vide demeton)			-	-	-
1,1,2,2, Tetra bromoetano			0,8	11	médio
Tetracloroeto de carbono		+	8	50	máximo

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			Ppm*	mg/m3**	
Tetracloroetano		+	4	27	máximo
Tetracloroetileno (vide percloroetileno)			-	-	-
Tetrahidrofurano			156	460	máximo
Tolueno (toluol)		+	78	290	médio
Tolueno-2,4-diisocianato (TDI) (vide 2,4 diisocianato de tolueno)			-	-	-
Tribromometano (vide bromofórmio)			-	-	-
Tricloreto de vinila (vide 1,1,2 tricloroetano)			-	-	-
1,1,1 Tricloroetano (vide metil clorofórmio)			-	-	-
1,1,2 Tricloroetano		+	8	35	médio
Tricloroetileno			78	420	máximo
Triclorometano (vide clorofórmio)			-	-	-
1,2,3 Tricloropropano			40	235	máximo
1,1,2 Tricloro-1,2,2 trifluoretano (freon 113)			780	5930	médio
Trietilamina			20	78	máximo
Trifluoromonobromometano			780	4760	médio
Vinibenzeno (vide estireno)			-	-	-
Xileno (xilol)			78	340	médio

Tabela de limites de tolerância

Fonte: NR15 – Ministério do Trabalho e Emprego

- **Anexo 12** - O anexo 12 dispõe das poeiras minerais específicas, como: Amianto/asbesto; Manganês e seus compostos e Quartzo ou sílica livre cristalizada.

Os trabalhadores podem ter exposição ao amianto/asbesto ao lidarem com telhas de casas antigas, podendo causar até problemas como câncer. Já o manganês está relacionado a metalurgia e produção de pilhas e baterias. O quartzo ou sílica livre cristalizada está ligada ao ramo de construção civil, podendo causar danos aos pulmões.

- **Anexo 13** - O anexo 13 dispõe de algumas atividades que envolvem certos agentes químicos que são consideradas insalubres a partir da inspeção realizada no local de trabalho, sem seguir limites de tolerância previamente definidos. Alguns deles são: Arsênico; Carvão; Chumbo; Cromo; Fósforo;

Hidrocarbonetos e outros compostos de carbono; Silicatos e Substâncias cancerígenas.

D) Limites de Tolerância

O limite de tolerância é um indicativo da concentração ou intensidade máxima que um trabalhador pode ficar exposto a certos agentes. A NR-15 (2021) entende por limites de tolerância, de acordo com o item 15.1.5, “a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.”

Os parâmetros dispostos na NR-15, utilizados para comparação dos valores obtidos na avaliação quantitativa, correspondem aos limites de tolerância ou exposição. Ou seja, caso o valor obtido na avaliação quantitativa estiver acima do limite de tolerância, o responsável (empregador) deverá aplicar medidas corretivas no ambiente de trabalho, a fim de extinguir ou reduzir os riscos, tornando-os aceitáveis, ficando abaixo do valor limite (CAMISASSA, 2015).

As medidas corretivas devem ocorrer, por parte do empregador, de acordo com o item 15.4.1. A eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer:

- a) com a adoção de medidas de ordem geral que conservem o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância;
- b) com a utilização de equipamento de proteção individual (NR-15, 2021).

Se mesmo após as medidas de redução de insalubridade, a mesma persistir no ambiente, restará caracterizar a atividade como sendo insalubre, sendo obrigatório o pagamento de adicional de insalubridade. Uma vez eliminada o risco, descaracterizando a atividade como insalubre, o pagamento de adicional poderá ser suspenso (CAMISASSA, 2015).

A NR 15 estabelece, em seus Anexos 11, 12 e 13, os valores limites da concentração do agente químico para os quais a maioria dos trabalhadores poderia permanecer exposta 8 horas diárias e 48 horas semanais durante toda a vida laboral, sem apresentar nenhum sintoma de doenças. Os valores apresentados especificam valores calculados em função da exposição média no tempo (média ponderada com

um valor máximo especificado), valores teto, asfixiantes simples e indicação de absorção também pela pele (PEIXOTO, 2013).

LIMITE DE TOLERÂNCIA MÉDIA PONDERADA

Refere-se à concentração média ponderada presente durante a jornada de trabalho. Permite que a concentração ultrapasse o limite durante um determinado período, desde que seja compensado pela exposição a valores menores, determinando que, na média, o valor que abaixo do limite de tolerância (PEIXOTO, 2013).

$$LT = \frac{(C_1 \times t_1) + (C_2 \times t_2) + \dots + (C_n \times t_n)}{\text{(tempo total)}}$$

Onde: C1, C2, ..., Cn = concentração em cada exposição (ppm ou mg/m³) t1, t2, ..., tn = tempo de duração da exposição ao dado nível (min ou hora) tempo total = tempo de duração da jornada (min ou hora), ou seja, t1 + t2 + ...+ tn.

Entretanto, esses valores acima do limite de tolerância não deverão ultrapassar, em nenhum momento da jornada, um valor denominado de valor máximo (PEIXOTO, 2013). O valor máximo é calculado pela seguinte expressão (NR 15):

$$\text{Valor máximo} = LT \times FD$$

Onde: LT = limite de tolerância para o agente químico, segundo o Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 FD = fator de desvio, segundo definido no Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.

ANÁLISE SOBRE OS LIMITES DE TOLERÂNCIA MÉDIA PONDERADA

Nos gráficos 4, 5, 6, 7 e 8 apresentaremos uma série de exemplos que esclarecerão um pouco mais sobre os limites de exposição para substâncias cujo limite é avaliado por média ponderada, onde o eixo x descreve as 8 horas de trabalho e o eixo y a concentração da substância. Partiremos de uma exposição hipotética onde a substância possui um LT igual a 15 ppm e um valor máximo igual a 22,5 ppm ($15 \text{ ppm} \times 1,5$), (PEIXOTO, 2013).

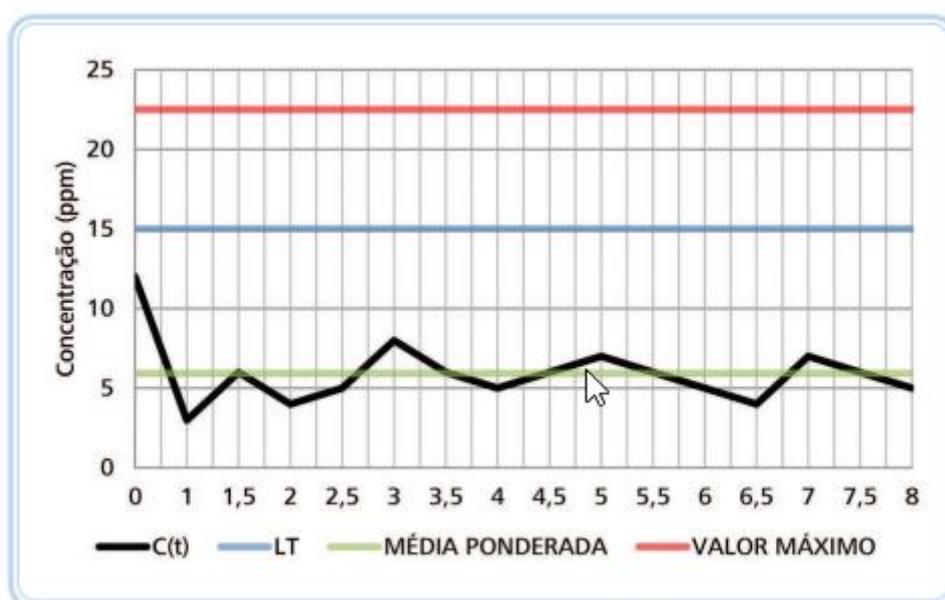


Figura 05: Exposição abaixo do limite de tolerância
Fonte: CTISM

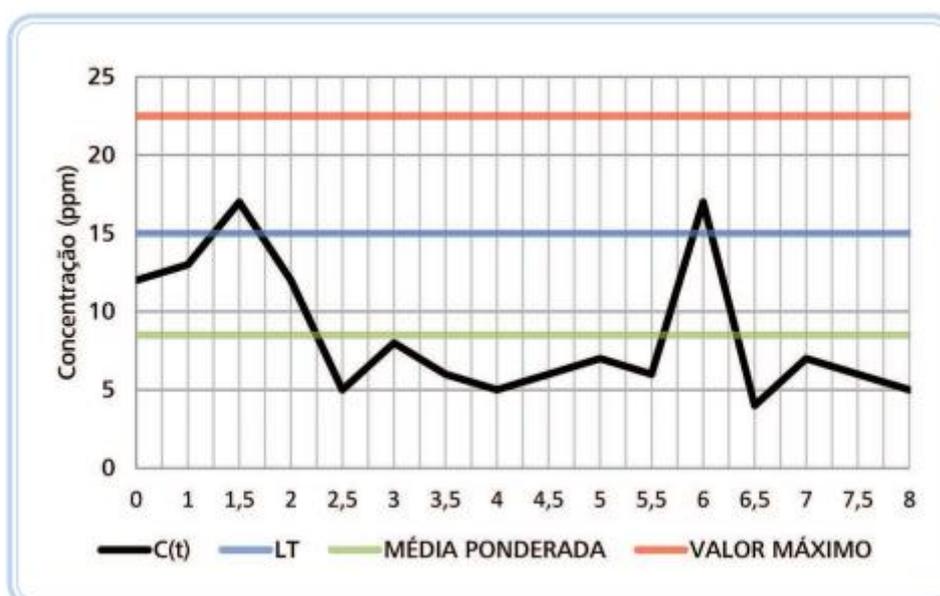


Figura 06: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois apesar de alguns valores ultrapassarem o LT, a média ponderada ficou abaixo do LT e nenhum valor atingiu o valor máximo.
Fonte: CTISM

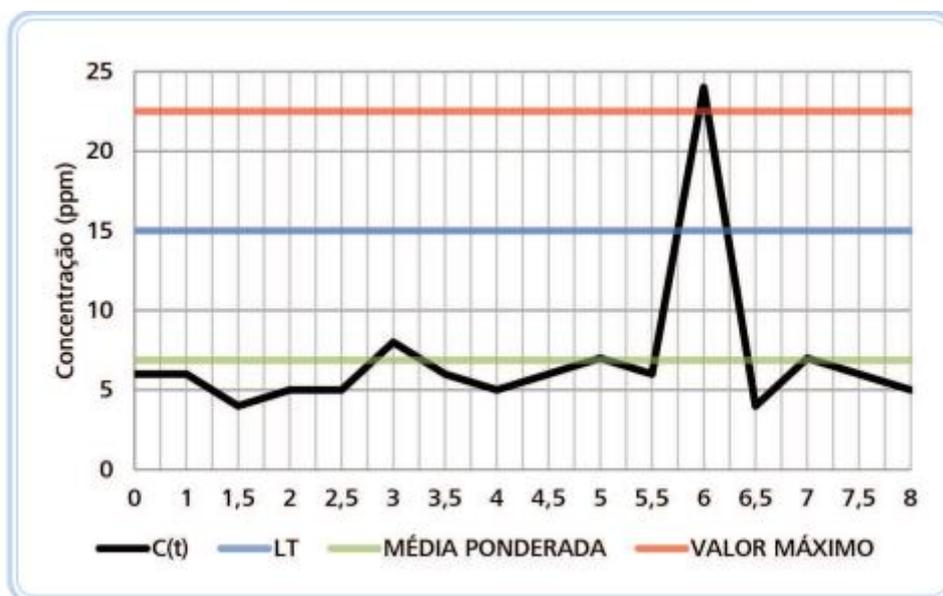


Figura 07: Exposição acima do limite de tolerância, pois apesar da média ponderada ficar abaixo do LT, alguns valores superaram o valor máximo.
Fonte: CTISM

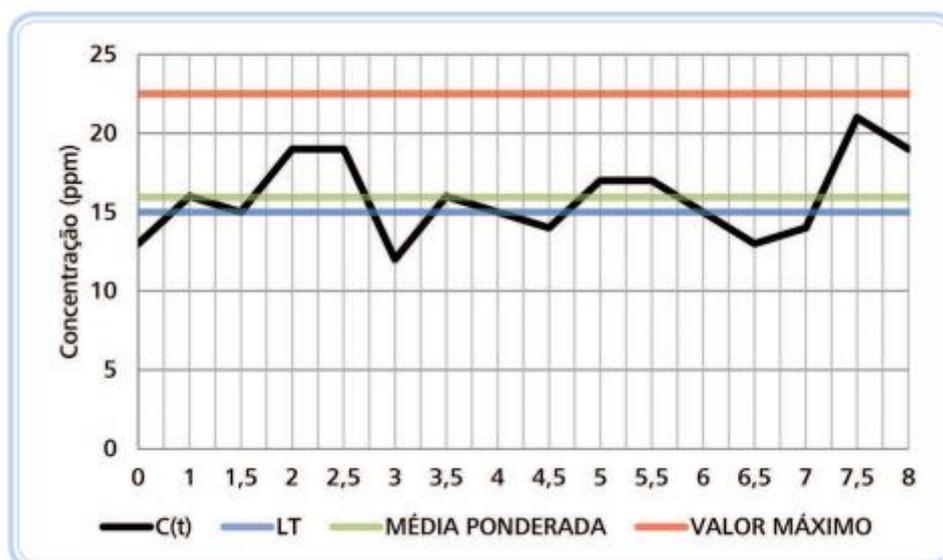


Figura 08: Exposição acima do limite de tolerância, pois a média ponderada ficou acima do LT.
Fonte: CTISM

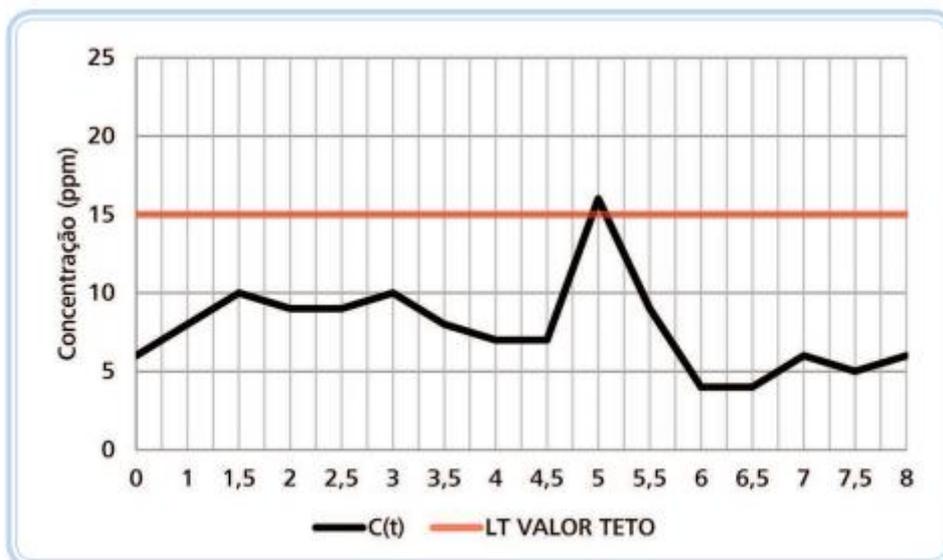


Figura 09: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.
Fonte: CTISM

LIMITE DE TOLERÂNCIA VALOR TETO

Quando no Quadro 1, do Anexo 11 da NR 15, na tabela dos limites de tolerância, a substância tem assinalada a coluna valor teto, esse valor indica a concentração máxima que não deve ser ultrapassada em momento nenhum da jornada. Para as substâncias com valor teto, esse valor será o limite de tolerância.

ANÁLISE SOBRE OS LIMITES DE TOLERÂNCIA VALOR TETO.

Nos gráficos 9, 10 e 11 a seguir, apresentaremos uma série de exemplos que esclarecerão um pouco mais sobre os limites de exposição para substâncias cujo limite é avaliado por valor teto.

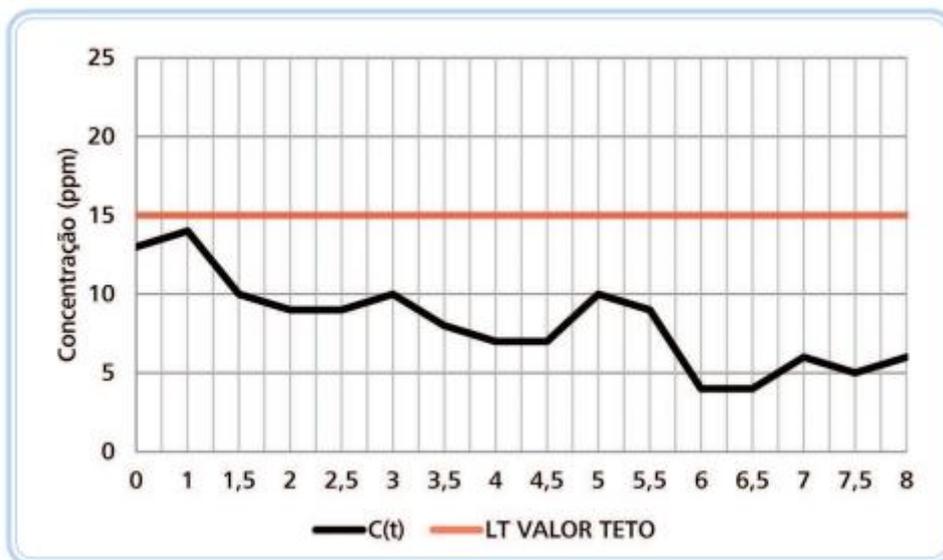


Figura 10: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.
Fonte: CTISM

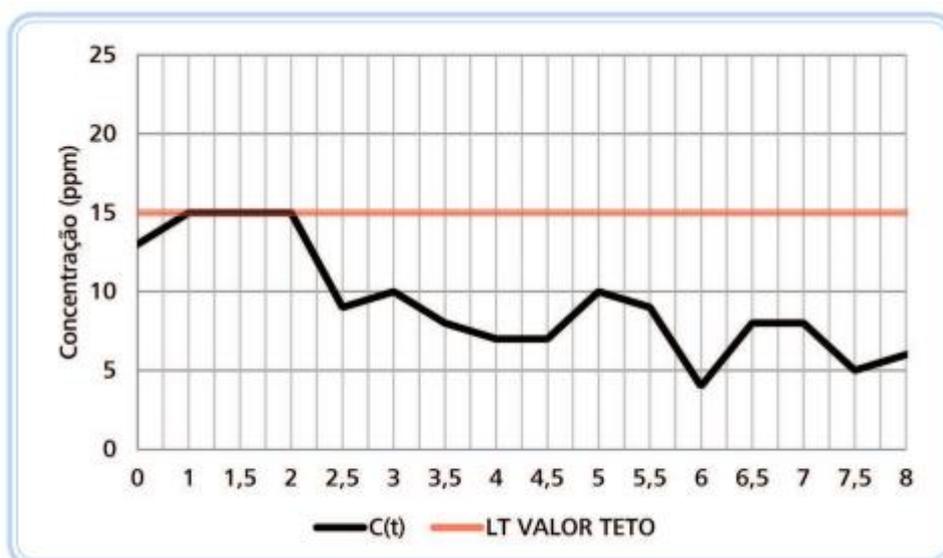


Figura 11: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.
Fonte: CTISM

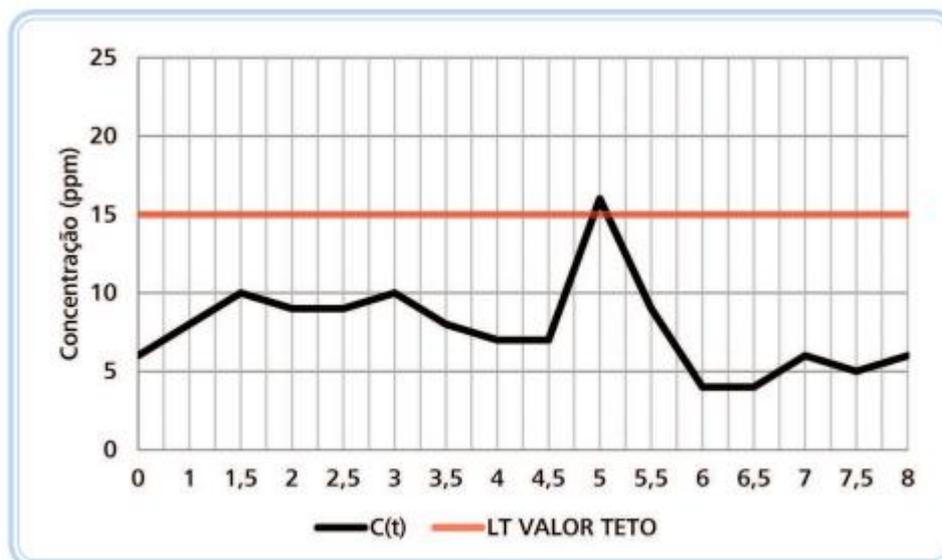


Figura 12: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.
Fonte: CTISM

6.2 ACGIH

ACGIH é a sigla da American Conference of Governmental Industrial Hygienists ou Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais. Trata-se de uma associação privada de profissionais de higiene ocupacional e outros relacionados, sediada nos Estados Unidos da América (Analytics Brasil, 2018).

Entre os seus principais objetivos está promover a proteção de trabalhadores expostos a fatores de riscos ambientais. Suas publicações são referências mundiais na análise de riscos físicos, químicos e biológicos.

A ACGIH, entre outros trabalhos, estuda e estabelece os limites de exposição ocupacional para substâncias químicas, agentes físicos e índices de exposição biológicos adotados internacionalmente. Esses limites, para cada tipo de fator de risco, são utilizados em vários países na elaboração de normas de segurança e de proteção à saúde (Analytics Brasil, 2018).

Em relação às referências internacionais, é muito importante que fique claro que, apesar de a NR15 ter sido baseada nas orientações da ACGIH, não há disposição expressa na norma determinando que, na sua omissão, tais referências ou quaisquer normas internacionais, sejam utilizadas para caracterização da insalubridade. Tal fato implica consequências negativas para o trabalhador, pois, caso

a exposição ocupacional a determinado agente nocivo não esteja prevista na norma, não haverá base legal para caracterizar a respectiva atividade como insalubre, ainda que os órgãos internacionais estabeleçam o contrário.

Não se deve confundir o exposto no parágrafo anterior com o item 9.6.1.1 da NR9. Esse item admite expressamente a adoção dos limites de exposição da ACGIH para adoção de medidas de controle, mas não para caracterização de insalubridade (MTP, 2021). Como exemplo, cito a exposição à poeira de Policloreto de Vinila (PVC). Não há, na NR15, limites de exposição a esse agente químico, não sendo, portanto, legalmente possível a caracterização da insalubridade nas atividades com tal exposição, o que desobriga o pagamento do adicional de insalubridade respectivo.

O Policloreto de Vinila (PVC), que não está listado no anexo 11, da NR15, durante execução da tarefa, que tem como título, alimentador de linha de produção, no qual o empregado, abastece as máquinas com os materiais da reciclagem e logo se inicia o processo de micronização, que promovem a pulverização do material reaproveitado, gerando uma concentração de poeiras consideráveis, e essa exposição é considerada prejudicial à saúde dos trabalhadores.

Apesar disso as máquinas como betoneiras, peneiras e micronizador estão adequadamente instaladas em um amplo galpão com pé direito de aproximadamente 4 metros, construído com paredes de alvenaria, cobertura em perfis metálicos e telhas metálicas sendo algumas translúcidas, aberturas frontais e laterais, piso em cimento aparente.

As medidas de controles existentes são através de Equipamento de Proteção Individual, como: respirador 3M com filtro, protetor auricular tipo concha, capuz térmico tipo ninja e óculos de segurança.

Diante dos estudos e levantamento de campo, foi realizado uma avaliação de exposição a poeiras respiráveis e inaláveis no local de trabalho e posterior comparação dos resultados com os limites de tolerância estabelecidos pela legislação Brasileira (Critério legal) e critérios internacionais entre eles, NIOSH e ACGIH.

Particulado Respirável			
Avaliado	Concentração encontrada Mg/M ³	Lim. Tolerância ACGIH Mg/M ³	Lim. Total NR15 Mg/M ³
Trabalhador 1	9,985	3	Não encontrado
Trabalhador 2	99,907	3	Não encontrado

Particulado Inalável			
Trabalhador 3	62,526	10	Não encontrado
Trabalhador 4	17,497	10	Não encontrado

Tabela 2: Particulado Respirável e Inalável
Fonte: Empresa de forro PVC

A tabela 2, demonstra que a concentração de Poeira Respirável representada no relatório de ensaio do trabalhador 2, ultrapassou em 33,3 vezes o Limite de Tolerância estabelecido para esse agente. Mesmo ao Levar-se em conta o fator de proteção dos protetores respiratórios que são utilizados, os quais oferecem proteção em até 10 vezes acima do limite de Tolerância, tal nível de proteção ainda é insuficiente (a concentração máxima permitida seria de 30 mg³).

Conforme especificado em Limites de Exposição (TLV) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & índices Biológicos de Exposição (BEIs), Anexo B, A ACGIH credita que as partículas insolúveis, ou de baixa solubilidade, mesmo que biologicamente inertes, podem causar efeitos adversos e recomenda que as concentrações ambientais sejam mantidas abaixo do limite estabelecido (PEIXOTO, 2013).

As concentrações de poeiras respiráveis e inaláveis coletadas para o cargo, excedeu as Limites de tolerância da ACGIH, porém, os diplomas legais brasileiros estabelecem que para as atividades serem consideradas insalubres e, portanto, gerem a direito ao adicional de insalubridade, aquelas que estão elencadas em um dos anexos da NR 15 para ser considerado insalubre (MTE, 2022).

Embora tenham sido feitos avanços significativos na regulamentação da nanotecnologia, porém, para proteção dos trabalhadores, ainda existem lacunas a

serem abordadas. A necessidade de métodos de monitoramento precisos, informações claras sobre os riscos, atualização das regulamentações, bem como avaliação abrangente de riscos, pois, são áreas que exigem mais atenção e investimento para garantir uma proteção eficaz dos trabalhadores envolvidos com nanomateriais.

A ausência de menção específica das nanopartículas na NR-15, indica uma lacuna ou limitação da norma em relação a esse agente químico específico. As nanopartículas de PVC, podem representar um risco potencial à saúde dos trabalhadores, principalmente quando inaladas em grandes concentrações ou de forma contínua (MTE, 2022).

Considerando uma lacuna existente na NR-15, que trata das atividades e operações insalubres, em relação às nanopartículas seria a inclusão de disposições específicas para lidar com os riscos ocupacionais associados à nanotecnologia. Essa inclusão poderia abordar aspectos como:

Classificação e avaliação de riscos: Estabelecer critérios e metodologias para a classificação e avaliação dos riscos ocupacionais relacionados às nanopartículas. Isso pode incluir a definição de limites de exposição ocupacional específicos para nanopartículas, considerando seus efeitos tóxicos e propriedades físico-químicas.

Medidas de controle: Estabelecer medidas de controle adequadas para reduzir a exposição dos trabalhadores a nanopartículas, como a implementação de sistemas de ventilação eficazes, uso de EPIs adequados e práticas de trabalho seguras. Essas medidas devem considerar as características únicas das nanopartículas e seus potenciais riscos à saúde.

Monitoramento e avaliação: Definir diretrizes para o monitoramento e avaliação da exposição dos trabalhadores a nanopartículas, incluindo métodos de amostragem e análise específicos para esses materiais. Isso permitiria a identificação precoce de exposições elevadas e a adoção de medidas corretivas adequadas.

Capacitação e informação: Exigir que os empregadores forneçam treinamento adequado aos trabalhadores que lidam com nanopartículas, abordando os riscos associados, as medidas de controle e o uso correto dos EPIs. Também seria

importante fornecer informações atualizadas sobre os avanços científicos e regulatórios relacionados à nanotecnologia.

Atualização constante: Estabelecer uma cláusula que promova a atualização periódica da NR15 em relação às nanopartículas, levando em consideração os avanços científicos e as melhores práticas em segurança ocupacional nesse campo em constante evolução. Isso garantiria que a regulamentação esteja alinhada com os conhecimentos mais recentes sobre os riscos da nanotecnologia.

Essas sugestões visam preencher a lacuna regulatória existente em relação às nanopartículas na NR15, proporcionando uma abordagem mais abrangente e específica para a gestão dos riscos ocupacionais associados à nanotecnologia. É fundamental considerar o diálogo entre diferentes partes interessadas, como órgãos reguladores, especialistas em saúde e segurança do trabalho, trabalhadores e empregadores, para desenvolver diretrizes eficazes e viáveis para a proteção dos trabalhadores nesse campo em crescimento.

Considerando a falta de atualização de vários limites de tolerância presentes na NR15, aliada à evolução técnico científica das últimas décadas, faz que diversas exposições consideradas atualmente toleráveis pela norma não sejam sequer admitidas por órgãos normativos e científicos internacionais (dentre eles a própria ACGIH), por serem, comprovadamente, danosas à saúde do trabalhador. Para exemplificar, cito ainda, que o limite de tolerância à exposição ao agente químico Tolueno determinado pela NR15, que é de 78 ppm (setenta e oito partes por milhão), enquanto a ACGIH estabelece que esse valor deva ser 20 ppm (vinte partes por milhão) (PEIXOTO, 2013).

Temos, portanto, há vários anos no Brasil, milhares ou milhões de trabalhadores expostos a condições insalubres que são inaceitáveis pela comunidade internacional.

CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante, da importância de abordar a falta de regulamentação específica e os desafios relacionados à nanotecnologia no contexto da saúde e segurança do trabalhador. A ausência de diretrizes claras expõe os trabalhadores a riscos desconhecidos e dificulta a implementação de medidas preventivas adequadas.

A pesquisa exploratória realizada evidenciou a lacuna regulatória existente no Brasil em relação à nanotecnologia no ambiente de trabalho. A falta de uma regulamentação específica deixa os trabalhadores vulneráveis aos potenciais riscos da exposição a nanomateriais, que ainda são pouco compreendidos em termos de seus efeitos na saúde humana. Os desafios enfrentados na gestão da saúde e segurança do trabalhador na nanotecnologia incluem a falta de dados toxicológicos suficientes, a complexidade da caracterização dos nanomateriais e as limitações das técnicas de monitoramento existentes. Esses desafios ressaltam a necessidade de um enfoque proativo e baseado em evidências científicas para a proteção dos trabalhadores.

A pesquisa também mostrou a importância de considerar as estratégias e abordagens adotadas por outros países e organizações internacionais. A análise de experiências e regulamentações de outros países pode fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de medidas de proteção e controle de riscos no contexto brasileiro.

Em conclusão, é crucial reconhecer a necessidade de preencher a lacuna regulatória e desenvolver uma regulamentação específica para a gestão da saúde e segurança do trabalhador na nanotecnologia. Essa regulamentação deve ser embasada em evidências científicas, abordar os desafios específicos associados à nanotecnologia e garantir a proteção adequada dos trabalhadores.

Além disso, é essencial promover a conscientização e capacitação dos trabalhadores, bem como a colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo governo, indústria, academia e trabalhadores, para criar um ambiente de trabalho seguro e saudável no campo da nanotecnologia.

A pesquisa exploratória realizada e as considerações levantadas nesse estudo contribuem para a conscientização sobre a necessidade de uma regulamentação adequada e eficaz, a fim de garantir a segurança dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSALES, Gabriella Monteiro Pessoa. **A regulamentação da nanotecnologia no meio ambiente do trabalho**. 2022. Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Direito pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

DIAS, José Robson da Silva et al. **Perigo oculto nos nanomateriais: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo**. 2022. Artigo para obtenção do grau de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, pelo Instituto Federal da Bahia.

EBERT, Paulo Roberto Lemgruber. **O princípio da precaução no meio ambiente do trabalho: como lidar com os novos riscos labor-ambientais**. FELICIANO, Guilherme Guimarães et al, p. 281-300, 2020. Direito Ambiental do Trabalho: Apontamentos para uma Teoria Geral.

FERREIRA, Versalhes Enos Nunes; TEIXEIRA, Eliana Maria de Souza Franco. **Nanotecnologia e a saúde do trabalhador: a aplicabilidade do princípio da precaução em face da inexistência de regulamentação normativa**. Conjecturas, v. 22, n. 6, p. 663-678, 2022.

LOURO, Henriqueta; BORGES, Teresa; SILVA, Maria João. **Nanomateriais manufacturados: novos desafios para a saúde pública**. Revista Portuguesa de Saúde Pública, v. 31, n. 2, p. 188-200, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 12 jan 2022.

PEIXOTO, Neverton Hofstadler; FERREIRA, Leandro Silveira. **Higiene Ocupacional III**. UFSM/CTISM: Santa Maria, Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.ufsm.br>. Acesso em: 10 jan 2022.

MOREIRA, Camila Gonçalves. **Os desafios regulatórios da avaliação de segurança biológica aplicada a materiais de uso em saúde de base nanotecnológica: uma proposição regulatória sob uma perspectiva de risco**. 2022. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nanociência e Nanobiotecnologia da Universidade de Brasília.

SOUSA, Cesar Romero Soares et al. **NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: CONSIDERAÇÕES HISTÓRICA E INTERDISCIPLINAR**. Hegemonia, n. 25, p. 28-28, 2018. Revista Eletrônica do Programa de Mestrado em Direitos Humanos, Cidadania e Violência/Ciência Política do Centro Universitário Unieuro.

SANTOS, Priscilla Crispiniano dos. **Nanopartículas: toxicidade biológica**. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/898>. Acesso em: 20 agosto. 2022.

VON HOHENDORFF, Raquel et al. As nanotecnologias no meio ambiente do trabalho: a precaução para equacionar os riscos do trabalhador. **Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário**, v. 2, n. 2, p. 668-683, 2013. Disponível em: <https://www.cadernos.prodisa.fiocruz.br>. Acesso em: 10 jan 2022.

NEVES, Zilah Cândida Pereira das et al. Legislações e recomendações brasileiras relacionadas à saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores da saúde. 2017. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, Goiânia, v. 19, e40427. Disponível em: <https://revistas.ufg.br>. Acesso em: 05 jan 2022.

PINTO, Cátia Marlene Leite. Desenvolvimento de linhas de orientação para um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional enfrentar com sucesso a Indústria 4.0. 2022. **Tese de Doutorado**.

GONZALEZ, Roberto Henrique Sieczkowski et al. Regulação das relações de trabalho no Brasil: o marco constitucional e a dinâmica pós-constituente. 2009. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**. Disponível em <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4333>. Acesso em: 20 agosto 2022.

JUNIOR, Cléber Nilson Amorim. **Segurança e saúde no trabalho: princípios norteadores**. LTr Editora, 2021.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Relatório de Nanotecnologia. Relatório de Acompanhamento Setorial. **Nanotecnologia na Área da Saúde, Mercado, Segurança e Regulamentação**. Brasília, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/SpaceNet>. Acesso em: 01 jan 2022.

MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. **Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação**. Ciência e Cultura, v. 65, n. 3, p. 32-36, 2013. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php>. Acesso em 15 agosto 2022.

VIEGAS, Maria de Fátima Torres Faria et al. **Avaliação da qualidade de revisões sistemáticas sobre toxicidade de nanopartículas de prata**. 2018. Tese de Doutorado.

ALVES, Oswaldo Luiz. **Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo**. Parcerias Estratégicas. Brasília, n.18, p. 23-40, ago. 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280683830>. Acesso em: 01 jan 2022.

BARBOSA, Tiago Claudino; BAGATTOLLI, Carolina; INVERNIZZI, Noela. Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil: A trajetória dos instrumentos financeiros não reembolsáveis. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 14, n. 31, p. 56-74, maio/agos. 2018.

BARROS OLIVEIRA, Maria Helena; FADEL DE VASCONCELLOS, Luiz Carlos. As políticas públicas brasileiras de saúde do trabalhador. **Tempos de avaliação**. 2000. disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistadireitosfundamentais>. Acesso em 05 jan 2023.

BERGER FILHO, Airton Guilherme. **Nanotecnologia e o princípio da precaução na sociedade de risco**. Revista Âmbito Jurídico, v. 14, n. 2359, p. 1-8, 2009. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/14019>. Acesso em: 10 fev 2023.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão de Direito Econômico, Indústria E Comércio. **Relatório do Projeto de Lei nº 5.076 de 2005**. Relator Deputado Léo Alcântara. Brasil, Distrito Federal, 2005. Disponível em: <https://www.camara.leg.br>. Acesso em 10 fev 2023.

DERK H BROUWER, Control Banding Approaches for Nanomaterials, The Annals of Occupational Hygiene, Volume 56, Edição 5, julho de 2012, páginas 506–514. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes039>. Acesso em 12 fev 2023.

BUSSINGER, Elda Coelho de Azevedo; TOSE, Laura Pimenta Krause. Bioética e nanotecnologia: a moralidade como princípio orientador na busca pela formulação de marcos regulatórios aos nanocosméticos. **Revista de Direito Constitucional e Internacional**. v. 101, p.181-198, maio/jun. 2017.

CASTRANOVA, Vincent. The Nanotoxicology Research Program in NIOSH. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 11, p. 5-13, 2009. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu>. Acesso em: 20 fev 2023.

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, 2018.

CHOI, J., RAMACHANDRAN, G. e KANDLIKAR, M., 2009. **The Impact of Toxicity Testing Costs on Nanomaterial Regulation**. Environmental Science & Technology. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi>. Acesso em: 10 jun 2022.

CONTI, Joseph A. et al. **Health and safety practices in the nanomaterials workplace: results from an international survey**. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication>. Acesso em: 10 jun 2022.

COSTA, Joana Daniela da Silva. **Síntese e Caracterização toxicológica de diferentes tipos de nanopartículas de Ouro. Estudos in vitro e in vivo**. 2015. 150f. Dissertação de Mestrado em Controle de Qualidade da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream>. Acesso em: 15 jun 2022.

DIMER, Frantiescoli A. et al. Impactos da nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1520-1526, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000007>. Acesso em: 16 jun 2022.

DREXLER, K. ERIC. Engines of creation: the coming era of nanotechnology. New York/USA: **Anchor Books**, 1986 pp. 298. disponível em: <https://web.mit.edu/cortiz>. Acesso em: 20 jun 2022.

DRUCK, G.; FRANCO, T. – A Degradação do Trabalho e os Riscos Industriais no Contexto da Globalização, Reestruturação Produtiva e das Políticas Neoliberais. In: FRANCO, T. (org.). **Trabalho, Riscos Ambientais e Meio Ambiente: Rumo ao**

Desenvolvimento Sustentável. Salvador, Ed. EDUFBA, 1997. p. 15-32. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81231998000200006>. Acesso em: 21 jun 2022.

HUPFFER, Haide Maria; LAZZARETTI, Luisa Lauermann. Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 16, n. 3, p. 153-177, 2019.

VAN DUUREN-STUURMAN, Birgit et al. Stoffenmanager nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. **Annals of occupational hygiene**, v. 56, n. 5, p. 525-541, 2012. disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper>. Acesso em 10 agost 2022.

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, 2018.

ENGELMANN, Wilson. Novos desafios para o Direito na Era das Nanotecnologias. **Revista Tomo**, n. 29, p. 37-54, 2016. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/ri/edicoes>. Acesso em: 13 agost 2022.

ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMÜLLER, André Rafael. Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental. **Curitiba: Honoris Causa**, 2010. disponível em: <https://www.redalyc.org>. Acesso em: 14 agost 2022.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FROHLICH, Afonso. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. **ENGELMANN, Wilson. Nanocosméticos e o Direito à Informação. Erechim: Devian**, p. 15-76, 2015. Disponível em: <https://www.editoradeviant.com.br>. Acesso em: 16 agost 2022.

ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, Suas Normas e Estruturação: Possíveis Interfaces Regulatórias. In ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (Org.). **As Normas ISO e as Nano- tecnologias: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico**. 1 ed. São Leopoldo: Karywa, 2017. Disponível em: <https://editorakarywa.files.wordpress.com>. Acesso em 16 de agosto 2022.

ENGELMANN, Wilson; PULZ, Ronei Leonardo. As nanotecnologias no panorama regulatório: entre a ausência de regulação estatal específica e a necessidade de harmonização regulatória não estatal. **Araucaria. Revista Iberoamericana de Filosofía, Política y Humanidades**, v. 17, n. 33, p. 151-181, 2015. Disponível em: <https://institucional.us.es/revistas/Araucaria>. Acesso em: 18 agosto 2022.

FANFAIR, Devon; DESAI, Salil; KELTY, Christopher. O início da história da nanotecnologia. **Conexões**, v. 6, p. 1-15, 2007. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br>. Acesso em: 20 agosto 2022.

FERNANDES, Ana Luiza Castro; WAISSMANN, William. Interações de nanotubos de carbono e fulerenos com o sistema imune da pele e as possíveis implicações relacionadas à nanotoxicidade cutânea. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 4, p. 92-103, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3395/vd.v1n4.107>. Acesso em 25 agosto de 2022.

FOLADORI, Guillermo et al. Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. **Sociologias**, v. 14, p. 330-363, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-45222012000200011>. Acesso em: 30 agosto 2022.

FONSECA, Paulo FC; PEREIRA, Tiago Santos. The governance of nanotechnology in the Brazilian context: Entangling approaches. **Technology in Society**, v. 37, p. 16-27, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259097875>. Acesso em: 01 set de 2022.

GATTI, Antonietta Morena. Nano-biointeraction and nanopathology. **Medical Science News**, Ouc, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>. Acesso em: 05 de set 2022.

GÓES, Mauricio de Carvalho. Direito das nanotecnologias e o meio ambiente de trabalho. **Porto Alegre: Livraria do Advogado**, 2015. p. 137. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rgd.v12i2.336>. Acesso em: 10 set 2022.

HULLA, J. E.; SAHU, S. C.; HAYES, A. W. Nanotechnology: History and future. **Human & experimental toxicology**, v. 34, n. 12, p. 1318-1321, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284785445>. Acesso em: 15 set 2022.

VON HOHENDORFF, Raquel; 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, 2016. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br>. Acesso em: 16 set 2022.

HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson. AS NANOTECNOLOGIAS: ENTRE AUTORREGULAÇÃO E GOVERNANÇA. **Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias**, p. 75. Disponível em: <https://www.academia.edu>. Acesso em: 10 out 2022.

LOOS, Marcio Rodrigo. **Nanociência e nanotecnologia: compósitos termofixos reforçados com nanotubos de carbono**. Interciência, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books>. Acesso em: 15 out de 2022.

LOURO, Henriqueta; BORGES, Teresa; SILVA, Maria João. Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. **Revista Portuguesa Saúde Pública**. Lisboa, v. 31, n. 2, p. 145-157, dez, 2013, p.147. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/105453>. Acesso em: 16 out 2022.

DE SOUZA MARCONE, Glauciene Paula. NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: ASPECTOS GERAIS, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS NO CONTEXTO DO BRASIL. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**-ISSN: 1984-5693, v. 7, n. 2, p. 1-1, 2015. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br>. Acesso em 18 out 2022.

MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, v. 65, n. 3, p. 32-36, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300012>. Acesso em: 20 out 2022.

MENDES, René; DIAS, Elizabeth Costa. Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador. **Revista de saúde pública**, v. 25, p. 341-349, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89101991000500003>. Acesso em: 25 out 2022.

MINAYO-GOMEZ, Carlos; THEDIM-COSTA, Sonia Maria da Fonseca. A construção do campo da saúde do trabalhador: percurso e dilemas. **Cadernos de saúde pública**, v. 13, p. S21-S32, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1997000600003>. Acesso em: 26 out 2022.

RESCH, Sibelly; FARINA, Milton Carlos. Mapa do conhecimento em nanotecnologia no setor agroalimentar. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, p. 51-75, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 27 out 2022.

ROCO, Mihail C. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, p. 427-445, 2011. Disponível em: <https://inis.iaea.org>. Acesso em: 29 out 2022.

ROCO, Mihail C. et al. Innovative and responsible governance of nanotechnology for societal development. **Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook**, p. 561-617, 2011.

SHAH, S. Ismat; POWERS, Thomas M. Nanotechnology–A path forward for developing nations. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2015. p. 012001. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu>. Acesso em: 30 out 2022.

SINGH, Namita Ashish. Nanotechnology innovations, industrial applications and patents. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 2, p. 185-191, 2017. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org>. Acesso em: 02 nov 2022.

SUFIAN, Mian Muhammad et al. Safety issues associated with the use of nanoparticles in human body. **Photodiagnosis and photodynamic therapy**, v. 19, p. 67-72, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28552731/>. Acesso em: 05 nov 2022.

VERDI, Roberta; HUPFFER, Haide Maria; JAHNO, VanuscaDalosco. Desvendando o universo da nano-tecnologia: dialogando sobre riscos, benefício e uma nova ética para a civilização tecnológica. **EN-GELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria. BioNanoÉtica: Perspectivas Jurídicas**, v. 1.

ZARBIN, Aldo JG. Química de (nano) materiais. **Química nova**, v. 30, p. 1469-1479, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 10 nov 2022.