



**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E  
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO**

**JOSÉ ROBSON DA SILVA DIAS**

**PERIGO OCULTO NOS NANOMATERIAIS:  
TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO NO AMBIENTE E DESINTOXICAÇÃO DO  
ORGANISMO**

**SALVADOR – BA  
2022**

**JOSÉ ROBSON DA SILVA DIAS**

**PERIGO OCULTO NOS NANOMATERIAIS:  
TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO NO AMBIENTE E DESINTOXICAÇÃO DO  
ORGANISMO**

Elaboração de Relatório Técnico Conclusivo e Artigo Original apresentados como produtos para Defesa, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, pelo Instituto Federal da Bahia.

Orientadora: Profa. Dra. Ângela Maria Ferreira Lima  
Coorientador: Prof. Dr. Jonei Marques da Costa

SALVADOR – BA  
2022

Biblioteca Raul V. Seixas – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA - Salvador/BA.

D541p Dias, José Robson da Silva.

Perigo oculto nos nanomateriais: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo / José Robson da Silva Dias. Salvador, 2022.

146 f. ; 30 cm.

Relatório técnico conclusivo e artigo original (Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ângela Maria Ferreira Lima.

Coorientador: Prof. Dr. Jonei Marques da Costa.

1. Nanotecnologia. 2. Nanoestruturas. 3. Toxicidade. 4. Saúde e segurança ocupacional. 5. Prospecção tecnológica. I. Lima, Ângela Maria Ferreira. II. Costa, Jonei Marques da. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. IV. Título.

CDU 2 ed. 620.3



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
Av. Araújo Pinho, 39 - Bairro Canela - CEP 40000-000 - Salvador - BA - www.portal.ifba.edu.br

**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**PROFNIT - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E  
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO**

**PERIGO OCULTO NOS NANOMATERIAIS: TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO NO  
AMBIENTE E DESINTOXICAÇÃO DO ORGANISMO**

**JOSÉ ROBSON DA SILVA DIAS**

Produto(s) Gerado(s): Relatório Técnico Conclusivo e Artigo Original - Qaulis B1

Orientadora: Profa Dra Ângela Maria Ferreira Lima

Coorientador: Prof. Dr. Jonei Marques da Costa

Banca Examinadora:

---

Profa Dra Ângela Maria Ferreira Lima

Orientadora– Instituto Federal da Bahia (IFBA)

---

Prof. Dr. Jonei Marques da Costa

Coorientador - Instituto Federal da Bahia (IFBA)

---

Profa. Dra Arline Sydneia Abel Arcuri

Membro Externo Mercado - FUNDACENTRO

---

Profa. Dra. Angela Machado Rocha

Membro Interno – Universidade Federal da Bahia. (UFBA)

---

Profa. Dr. Eduardo Marinho Barbosa

Membro Externo – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora em 16/12/2022

Em 14 de dezembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **ANGELA MARIA FERREIRA LIMA, Docente da Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação**, em 16/12/2022, às 12:11, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **JONEI MARQUES DA COSTA, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 16/12/2022, às 16:32, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO MARINHO BARBOSA, Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**, em 02/01/2023, às 16:16, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **Ângela Machado Rocha, Usuário Externo**, em 02/01/2023, às 16:26, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **NUBIA MOURA RIBEIRO, Docente da Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação**, em 03/01/2023, às 18:59, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **Arline Sydneia Abel Arcuri, Usuário Externo**, em 03/01/2023, às 19:10, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&acao\\_origem=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) informando o código verificador **2669859** e o código CRC **35CB9E81**.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por sua presença incondicional e por colocar pessoas importantes em toda a minha trajetória.

A minha família, pelo apoio e incentivo, em especial aos meus pais, Jair da Silva Dias (*in memoriam*) e Railda da Silva Dias, que, além de terem me dado a vida, construíram a pessoa que sou e vislumbraram que a educação é o caminho para a libertação.

Ao meu companheiro, Sandoval Souza – que me faz uma pessoa melhor a cada dia – pelo apoio e incentivo para o meu desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico.

A minha orientadora, Profa. Dra. Ângela Maria Ferreira Lima, por sua generosidade, competência e dedicação que tem dispensado aos seus orientandos. Agradeço também pelo acarinhamento durante o momento pandêmico (momento de aflição e perdas afetivas), por sua leveza, empatia e profissionalismo ao abraçar o meu projeto, orientando não apenas o TCC, mas também a minha vida acadêmica.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Jonei Marques da Costa, por ter aceitado este desafio, pelas palavras de incentivo e contribuições valiosas para o aprimoramento da minha pesquisa.

Aos membros da banca de defesa e qualificação, Profa. Dra. Núbia Moura Ribeiro, Dra. Arline Sydneia Abel Arcuri, Profa. Dra. Angela Machado Rocha, Prof. Dr. Eduardo Marinho Barbosa, Prof. Dr. Marcelo Santana Silva e Prof. Dr. William Waissmann, gratidão pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do IF Baiano, sobretudo, Sandra Souza – minha parceira em seleções para Mestrado – por incentivar e insistir, até os últimos minutos, para que eu me inscrevesse no programa PROFNIT.

A todos os meus professores e colegas do PROFNIT da turma 2020, em especial a Tatiane Barbosa – que o Mestrado transformou em amiga – pelo acolhimento, acarinhamento e por poder dividir não só os momentos tensos, mas também os momentos de alegria e descontração. Com certeza: “não consigo imaginar como teria sido sem vocês”.

À CAPES, ao FORTEC e ao Instituto Federal Baiano (IF Baiano) pelo incentivo e apoio à participação dos servidores Técnico-Administrativos em Educação (TAE) em programas de Pós-graduação.

*“O maior erro que um homem pode cometer  
é sacrificar a sua saúde a qualquer outra vantagem.”*  
Arthur Schopenhauer (*apud* BRAUDE, 1962, p.354)

DIAS, José Robson da Silva. **Perigo oculto nos nanomateriais**: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo. 2022. 147 f. (Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) – Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação. Instituto Federal da Bahia, Bahia, 2022.

## RESUMO

Agente propulsora para o avanço científico, tecnológico e social de muitos países, a nanotecnologia, tem se destacado pela capacidade de agregar valor e pela aplicabilidade em diversas áreas, como indústria, medicina e meio ambiente. No entanto, esse desenvolvimento exponencial contrasta com uma preocupação sobre a deposição dos nanomateriais no organismo e seus efeitos à saúde e ao meio ambiente, sendo alguns já reconhecidos como “possivelmente cancerígenos para humanos”, segundo a *International Agency for Research on Cancer*, e causadores de outras doenças, algumas possivelmente ainda desconhecidas. Sendo assim, este estudo visa analisar os principais perigos à saúde e ao meio ambiente gerados por alguns nanomateriais e, por meio de uma prospecção patentária, identificar as inovações tecnológicas existentes capazes de removê-los, desintoxicar o organismo ou minimizar o risco. Para alcançar esse objetivo, realizou-se uma pesquisa exploratória, com abordagem quali-quantitativa, utilizando a pesquisa bibliográfica, documental e patentária para a coleta de dados, análise e síntese de conteúdo, além da Matriz SWOT. Utilizaram-se a base de dados da plataforma de busca *Orbit Intelligence* e do Instituto Nacional de Propriedade Industrial para a realização da pesquisa patentária. Constatou-se que o sistema respiratório é a principal via de absorção e rota para a entrada dos contaminantes, além da pele, do sistema ocular e digestório. Outro caminho se dá pela introdução intencional de nanopartículas na corrente sanguínea para o transporte de fármacos. Verificou-se que a exposição a nanopartículas, por exemplo, as nanopartículas de prata, podem causar genotoxicidade e danos ao DNA, inflamação no fígado e rins, além de outras lesões nos pulmões, coração, intestino e baço. Quanto às inovações tecnológicas, por meio da estratégia de busca utilizada, identificaram-se 20 famílias de patentes que tratam da remoção de diversos nanomateriais, sendo 10 relacionadas ao tratamento de água, 8 de aplicação de controle do ar, 1 para odontologia e 1 voltada para avaliação, medição e controle ambiental. Dentre elas, destacam-se um dispositivo, método e

sistema para quantificar, em tempo real, a concentração e distribuição por tamanho de nanopartículas, podendo ser utilizado para estudos ambientais, clínicos, epidemiológicos e de exposição ocupacional; e uma tecnologia que pode ser utilizada em estação de tratamento de água e esgoto para a remoção de nanopartículas por magnetismo, utilizando uma nanopartícula magnética. Foram encontradas também 12 famílias de patentes para prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais no organismo, trazendo métodos e dispositivos como, por exemplo, um teste de toxicidade por inalação, que utiliza um modelo pulmonar para executar atividades semelhantes às que ocorrem nos pulmões humanos, além de um produto farmacêutico para fortalecer o organismo da ação tóxica e genotóxica das nanopartículas. Quanto à desintoxicação do organismo humano, nenhuma tecnologia foi encontrada para a estratégia de busca utilizada. Desse modo, no momento atual, onde se vivencia uma grande expansão nanotecnológica para as mais diversas áreas, é necessário ter conhecimento dos reais impactos que as nanopartículas podem causar aos seres vivos e ao meio ambiente, para que, desse modo, se encontrem soluções e métodos que eliminem ou ao menos minimizem os seus potenciais efeitos.

Palavras-chave: nanotecnologia; nanoestruturas; toxicidade; saúde e segurança ocupacional; prospecção tecnológica.

DIAS, José Robson da Silva. **Hidden danger in nanomaterials**: technologies for removal into the environment and detoxification of the organism. 2022. 147 f. (Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) – Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação. Instituto Federal da Bahia, Bahia, 2022.

## ABSTRACT

A driving agent for the scientific, technological and social advancement of many countries, nanotechnology, for its ability to add value, stands out for its applicability in several areas, such as industry, medicine and the environment. However, this exponential development contrasts with a concern about the deposition of nanomaterials in the body and its effects on health and the environment, some of which are already recognized as "possibly carcinogenic to humans," according to the International Agency for Research on Cancer and causes of other diseases, some possibly still unknown. Thus, this study aims to analyze the main health and environmental hazards generated by some nanomaterials and, through patent prospecting, identify existing technological innovations capable of removing them, detoxifying the organism or minimizing the risk. To achieve this goal, an exploratory research was carried out, with a qualitative-quantitative approach, using bibliographic, documentary and patent research for data collection, analysis and synthesis of content, as well as the SWOT Matrix. The database of the Orbit Intelligence search platform and the National Institute of Industrial Property were used to carry out the patent research. It was found that the respiratory system is the main route of absorption and route for the entry of contaminants, in addition to the skin, the ocular and digestive system. Another way is by the intentional introduction of nanoparticles into the bloodstream for the transport of drugs. It was found that exposure to nanoparticles, for example silver nanoparticles, can cause genotoxicity and DNA damage, inflammation of the liver and kidneys, and other lesions in the lungs, heart, intestine and spleen. Regarding technological innovations, through the search strategy used, 20 patent families were identified that deal with the removal of several nanomaterials, 10 related to water treatment, 8 for air control application, 1 for dentistry and 1 focused on environmental evaluation, measurement and control. Among them, we highlight a device, method and system to quantify, in real time, the concentration and distribution

by size of nanoparticles, and can be used for environmental, clinical, epidemiological and occupational exposure studies; and a technology that can be used in a water and sewage treatment plant for the removal of nanoparticles by magnetism, using a magnetic nanoparticle. We also found 12 patent families to prevent and evaluate the toxicity of nanomaterials in the body, bringing methods and devices such as an inhalation toxicity test, which uses a pulmonary model to perform activities similar to those that occur in human lungs, as well as a pharmaceutical product to strengthen the body from the toxic and genotoxic action of nanoparticles. As for the detoxification of the human organism, no technology was found for the search strategy used. Thus, at the present moment, where there is a great nanotechnological expansion to the most diverse areas, it is necessary to be aware of the real impacts that nanoparticles can cause to living beings and the environment, so that, in this way, solutions and methods that eliminate or at least minimize their potential effects are found.

Keyword: nanotechnology; nanostructures; toxicity; occupational health and safety; technological prospecting.

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1	Carcinogenicidade de alguns nanomateriais e material particulado, conforme classificação da IARC .....	36
QUADRO 2	Limites de tolerância estabelecidos pela NIOSH para alguns nanomateriais .....	38
QUADRO 3	Principais nanomateriais e suas aplicações.....	43
QUADRO 4	Estratégias de busca e quantidade de famílias de patentes identificadas, para recorte temporal de 2001 a 2021 .....	64
QUADRO 5	<i>Orbit Intelligence</i> – Pedidos de patentes relacionados à remoção dos nanomateriais .....	70
QUADRO 6	<i>Orbit Intelligence</i> – Registros das patentes relacionados a prevenção ou avaliação da toxicidade de nanomateriais .....	78
TABELA 1	Estratégias de busca e quantidade de trabalhos identificados na <i>Web of Science</i> – Coleção Principal e <i>Scopus</i> , com recorte temporal de 2001 a 2021 .....	59

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Faixa ocupada pelos nanomateriais na escala de medição e uma comparação com outros materiais em várias dimensões .....21
FIGURA 2	Estrutura esquemática da organização dos nanomateriais.....26
FIGURA 3	Quantidade de produtos ofertados no mercado mundial oriundos da nanotecnologia, dividido por setor industrial .....39
FIGURA 4	Mapa mental dos elementos fundamentais para a construção da pesquisa.....63
FIGURA 5	Famílias de Patentes distribuídas pelos 10 principais grupos IPC (Top 10).....65
FIGURA 6	<i>Orbit Intelligence</i> – Áreas tecnológicas de maior concentração das tecnologias relativas à remoção dos nanomateriais (Top 10) .....66
FIGURA 7	<i>Orbit Intelligence</i> – Depositantes de patentes por país de proteção .....67
FIGURA 8	<i>OrbitIntelligence</i> – Agrupamento dos principais conceitos relacionados à prevenção à contaminação do organismo pela nanotoxicidade dos nanomateriais.....77
FIGURA 9	Matriz SWOT .....82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANVISA</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>FUNDACENTRO</b>	Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho
<b>IARC</b>	<i>International Agency for Research on Cancer</i> (Agência Internacional de Investigação do Câncer)
<b>INPI</b>	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
<b>IPC</b>	<i>International Patent Classification</i> (Classificação Internacional de Patentes)
<b>ISO</b>	<i>International Organisation for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
<b>MWCNT</b>	<i>Multi-walled Carbon Nanotube</i> (Nanotubos de Carbono de Paredes Múltiplas)
<b>NIOSH</b>	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional)
<b>NNI</b>	<i>National Nanotechnology Initiative</i> (Iniciativa Nacional de Nanotecnologia)
<b>NPD</b>	<i>Nanotechnology Products Database</i> (Banco de Dados sobre Produtos de Nanotecnologia)
<b>NTRC</b>	<i>Nanotechnology Research Center</i> (Centro de Pesquisa de Nanotecnologia)
<b>OECD</b>	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
<b>OMPI</b>	Organização Mundial da Propriedade Intelectual.
<b>ORBIT</b>	<i>Online Retrieval of Bibliographic Information Timeshared</i> (Recuperação Online de Informações Bibliográficas Compartilhadas)
<b>PROFNIT</b>	Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
<b>ROS</b>	<i>Reactive Oxygen Species</i> (Espécies Reativas de Oxigênio)
<b>SCCS</b>	<i>Scientific Committee on Consumer Safety</i> (Comitê Científico para a Segurança dos Consumidores)

<b>STM</b>	<i>Scanning Tunneling Microscope</i> (Microscópio de Corrente por Tunelamento)
<b>SWCNT</b>	<i>Single Wall Carbon Nanotube</i> (Nanotubos de Carbono de Paredes Simples)
<b>SWOT</b>	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
<b>TC 229</b>	<i>Technical Committees 229</i> (Comitê Técnico 229)
<b>WTO</b>	<i>World Trade Organization</i> (Organização Mundial do Comércio)

## SUMÁRIO

	<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	17
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS PARA NANOTECNOLOGIA, NANOCIÊNCIA E NANOMATERIAIS.....	21
1.2	TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS .....	27
1.3	ESTRUTURA DO TCC .....	28
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	30
2.1	LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC .....	30
2.2	ADERÊNCIA AO PROFNIT .....	31
2.3	IMPACTO .....	31
2.4	APLICABILIDADE.....	32
2.5	INOVAÇÃO.....	32
2.6	COMPLEXIDADE .....	32
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	33
3.1	OBJETIVO GERAL.....	33
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	33
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO (ESTADO DA ARTE E DA TÉCNICA)</b> .....	34
4.1	APLICAÇÃO DOS NANOMATERIAIS NO MERCADO GLOBAL .....	38
4.2	PERIGOS E RISCOS DOS NANOMATERIAIS PARA A SAÚDE E AO MEIO AMBIENTE .....	44
4.3	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA .....	52
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	57
5.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	58
5.2	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM PATENTES .....	59
<b>5.2.1</b>	<b>Prospecção tecnológica em patentes no <i>Orbit Intelligence</i></b> .....	60
<b>5.2.2</b>	<b>Prospecção tecnológica em patentes na plataforma do INPI</b> .....	61
<b>5.2.3</b>	<b>Análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT)</b> ....	62
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	64
6.1	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM PATENTES .....	64
<b>6.1.1</b>	<b>Resultados encontrados no <i>Orbit Intelligence</i></b> .....	64

<b>6.1.2</b>	<b>Resultados encontrados no INPI.....</b>	<b>81</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT) ....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>ENTREGÁVEIS DE ACORDO COM OS PRODUTOS DO TCC.....</b>	<b>86</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE A – TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A REMOÇÃO DE NANOMATERIAIS .....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE B – TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS DESTINADAS A PREVENIR E AVALIAR A TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS NO ORGANISMO .....</b>	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE C – PUBLICAÇÕES GERADAS NO MESTRADO .....</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICE D – ARTIGO ORIGINAL SUBMETIDO À REVISTA QUALIS A2 .....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO/PUBLICAÇÃO DE ARTIGO .....</b>	<b>145</b>
	<b>ANEXO B – CERTIFICADO DE MENÇÃO HONROSA NO VII ENPI - ENCONTRO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL, 2021 .....</b>	<b>146</b>

## APRESENTAÇÃO

Cada vez mais a nanotecnologia e suas vertentes têm se destacado em muitos países como um agente propulsor para o desenvolvimento científico, tecnológico e social.

A nanotecnologia é compreendida como o controle da matéria, não somente na escala de 1 a 100 nm, mas também em outros tamanhos, desde que possuam as mesmas singularidades de uma estrutura em nanoescala, podendo ser utilizadas para a criação de materiais e dispositivos, além do aprimoramento de sistemas.

Os nanomateriais - cujas dimensões internas, externas ou de superfície variam entre 1 nm a 100 nm – estão presentes na Terra há milênios, sendo encontrados de forma natural na atmosfera terrestre ou como uma consequência da atividade humana.

Exemplos de uso de nanomateriais pela humanidade encontram-se na composição da Taça de Licurgo, fabricada durante o Império Romano no século IV d.C. e, mais recentemente, sendo aplicados nas telas das televisões, nos processadores, em medicamentos e até em suplementos alimentares. Porém, à medida que essa ciência aplicada amadurece e floresce, diversas preocupações têm surgido sobre os perigos à saúde humana e ao meio ambiente provocados pelos nanomateriais.

Desse modo, este estudo, que surgiu a partir de outras pesquisas, vem amparar a necessidade de um maior aprofundamento em questões relacionadas às consequências do uso dos nanomateriais, em especial as que concernem à saúde ocupacional e ao meio ambiente, identificando os perigos, as vias de contaminação e penetração no organismo, além de mostrar as inovações tecnológicas disponíveis capazes de promover a remoção desses materiais.

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais a nanotecnologia tem se destacado no que diz respeito ao desenvolvimento científico, tecnológico e social em muitos países, dado o seu potencial de agregar valor e, principalmente, pela sua transversalidade de aplicação em diversas áreas, seja ela industrial, biomédica, biorremediação, dentre outras, sendo considerada por muitos estudiosos como a tecnologia responsável pela Quarta Revolução Industrial<sup>1</sup>, assim como uma das precursoras da Quinta Revolução Tecnológica<sup>2</sup> (ALI; AL-SULTAN; RUBAIE, 2022; JORDAN; KAISER; MOORE, 2012; SCHWAB, 2018).

De acordo com o Comitê Técnico - 229 (ISO/TC-229)<sup>3</sup>, instituído pela Organização Internacional de Normalização<sup>4</sup> (ISO, do inglês: *International Organization for Standardization*), para que uma estrutura seja considerada uma nanotecnologia, é necessário que atenda a pelo menos um ou a ambos os critérios apresentados:

O conceito de nanotecnologias<sup>5</sup> inclui um ou ambos do que se segue:

1. Compreensão e controle da matéria e processos em nanoescala<sup>6</sup>, normalmente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos que dependem do tamanho geralmente permite novas aplicações,
2. Utilização das propriedades dos materiais em nanoescala, que diferem das propriedades de átomos individuais, moléculas e da matéria em escala maior, para criar materiais, dispositivos e sistemas aprimorados que exploram essas novas propriedades (ISO, 2005, n. p., tradução nossa).

---

<sup>1</sup> Também conhecida como Indústria 4.0, a Quarta Revolução Industrial – que teve início na virada do século XXI baseando-se na Revolução Digital – é um conceito que foi impulsionado em 2016 durante o Fórum Econômico Mundial em Davos, Suíça, para designar, além de sistemas e máquinas inteligentes conectadas, outras tecnologias que abarcam desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, perpassando pelas energias renováveis à computação quântica (SCHWAB, 2018).

<sup>2</sup> A Quinta Revolução Tecnológica é considerada como uma evolução da Indústria 4.0, tendo como característica principal o alinhamento entre a tecnologia robótica e a inteligência humana, aumentando a colaboração entre os seres humanos e os sistemas inteligentes, além de promover a ascensão da computação quântica (ALI; AL-SULTAN; RUBAIE, 2022).

<sup>3</sup> A ISO/TC 229 é um grupo de trabalho formado com o intuito de uniformizar as definições sobre nanotecnologia e afins, estabelecendo métodos precisos para a medição das propriedades dos nanomateriais, bem como determinando protocolos que atentem à preservação da saúde, segurança e meio ambiente. Mais detalhes em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>.

<sup>4</sup> A ISO é uma organização internacional não governamental independente, formada por 167 membros de organismos nacionais de normalização de diversos países, que compartilham conhecimento e desenvolvem normas internacionais voluntárias. Mais detalhes em: <https://www.iso.org/about-us.html>.

<sup>5</sup> Expressão escrita no plural por entender que para o domínio da partícula na escala nanométrica são aplicadas várias técnicas interdisciplinares (ENGELMANN; MARTINS, 2017, p. 21).

<sup>6</sup> Conforme ISO/DIS 80004-1, nanoescala é a faixa de comprimento compreendida entre 1 nm a 100 nm, aproximadamente.

A ISO, nessa definição, não restringe as nanotecnologias apenas a sua aplicação ou criação de estruturas, ela também percebe à sua existência ao se conseguir controlar a matéria, não somente na escala de 1 a 100 nm, mas também em outros tamanhos, desde que os mesmos fenômenos que são característicos de uma estrutura em nanoescala sejam observados.

Os nanomateriais, que a ISO (2021) define como um elemento que possui qualquer dimensão externa entre 1 nm e 100 nm ou que possua uma estrutura interna ou de superfície nesta mesma escala, sempre estiveram presentes na história da humanidade, como no Império Romano, onde se utilizava as nanopartículas<sup>7</sup> de ouro e prata para dar características especiais aos vidros que fabricavam. Eles também são encontrados naturalmente no meio ambiente, a partir das emissões vulcânicas, nos fios das teias de algumas espécies de aranhas, além de oriundos da atividade humana (antropogênicas) como, por exemplo, os gases de escape dos motores diesel ou fumo de tabaco (CERAVOLO, 2015).

Os nanomateriais surgem de várias formas no meio ambiente e são nomeados de acordo com o processo para sua obtenção. Os nanomateriais naturais são aqueles gerados naturalmente na crosta terrestre por meio de diferentes processos biogeoquímicos, como, por exemplo, os processos naturais de intemperismo químico, erupções vulcânicas e raios ou formados por interações bióticas ou abióticas, como os nanomateriais de óxidos metálicos, minerais de enxofre, selênio e urânio (GRIFFIN *et al.*, 2018; MALAKAR *et al.*, 2021).

Já os nanomateriais sintéticos, são aqueles decorrentes das atividades antrópicas (intencionais e não intencionais), produzidos por meio de moagem mecânica, exaustão de motores e fumaça ou sintetizados por métodos físicos, químicos, biológicos ou híbridos (HOHELLA *et al.*, 2019; JEEVANANDAM *et al.*, 2018).

Um nanomaterial é considerado incidental<sup>8</sup> quando é gerado de modo não intencional a partir de uma atividade antrópica (HOHELLA *et al.*, 2019). Já os nanomateriais produzidos para uso comercial são conhecidos como nanomateriais

---

<sup>7</sup> Conforme ISO/DIS 80004-1, nanopartículas são os materiais cujas dimensões externas estão compreendidas entre 1 nm a 100 nm, aproximadamente.

<sup>8</sup> Conforme ISO/DIS 80004-1, nanomaterial incidental é aquele gerado como um subproduto não intencional de um processo.

engenheirados<sup>9</sup> (fabricados) e projetados<sup>10</sup>, sendo bastante utilizados desde a agricultura até a computação quântica (AHAMED *et al.*, 2021; MALAKAR; SNOW, 2020).

Mas a possibilidade da manipulação de matéria em escala nanométrica, com o propósito de construção de novos materiais, já havia sido vislumbrada desde 1959 pelo pesquisador estadunidense Richard Feynman, em uma palestra intitulada “Há mais espaços lá embaixo – Um convite para entrar em uma nova área da física” (em inglês: *There's plenty of room at the bottom – An invitation to enter a new field in physics*) (FEYNMAN, 1960).

Nessa palestra, Feynman discorreu sobre a viabilidade da manipulação de matéria a nível atômico, com o propósito de construir novos materiais, instigando a curiosidade dos espectadores ao afirmar ser possível escrever os 24 volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete (MORISSO; JAHNO, 2017).

No entanto, o termo nanotecnologia, para designar a aplicação da ciência em escala nanométrica, surgiu em 1974 com o pesquisador da Universidade de Tóquio, Norio Taniguchi (1974), que publicou um artigo intitulado: “O conceito básico de Nanotecnologia” (em inglês: *On the Basic Concept of Nanotechnology*).

Nesse artigo, Taniguchi definiu a nanotecnologia como um processo capaz de separar, consolidar e deformar materiais por meio da manipulação da matéria ao nível atômico, demonstrando, assim, a existência de um novo campo da engenharia que começava a surgir em escala submicrométrica (BAYDA *et al.*, 2020; TONET; LEONEL, 2019).

Mas somente a partir do Microscópio de Corrente por Tunelamento (STM, do inglês: *Scanning Tunneling Microscope*), criado em 1981 pelos cientistas Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, foi possível, pelo método de varredura por sonda, criar uma imagem digital detalhada do material a ser estudado, propiciando a visualização da natureza e da distribuição espacial dos seus átomos, possibilitando o desenvolvimento de nanoestruturas<sup>11</sup> por meio da manipulação de átomo por átomo (PIMENTA; MELO, 2007; TONET; LEONEL, 2019).

---

<sup>9</sup> De acordo ISO/DIS 80004-1, nanomaterial engenheirados ou fabricados são aqueles que são produzidos intencionalmente para terem propriedades ou composição desejada.

<sup>10</sup> Segundo ISO/DIS 80004-1, nanomaterial projetado é aquele construído com finalidade ou função específica.

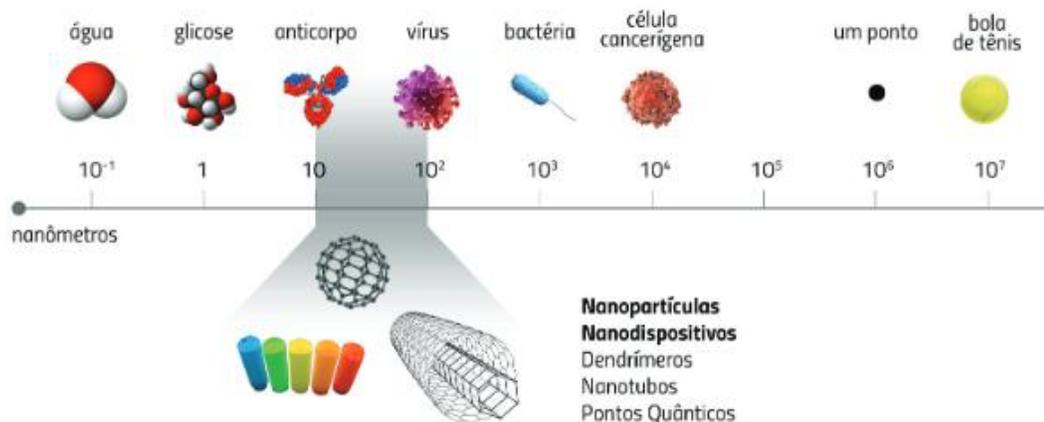
<sup>11</sup> Conforme ISO/DIS 80004-1, entende-se por nanoestrutura uma superfície ou aspecto interno com uma ou mais dimensões em nanoescala.

Compreendendo a escala nanométrica, na etimologia o termo nanômetro (unidade de medida de comprimento do sistema métrico) pode ser encontrado como uma derivação de dois prefixos gregos: “*nánnos*”, que significa algo excessivamente pequeno, ou de “*ânos*”, que significa anão, sendo sucedido pelo sufixo grego “*metron*”, que significa medida.

Em termos numéricos, um nanômetro corresponde à bilionésima parte de um metro ( $10^{-9}$  m). Para ter uma noção desta dimensão, um cabelo humano tem um diâmetro entre 80.000 e 100.000 nm, uma célula vermelha do sangue tem em torno de 7.000 nm, uma fita de DNA humano tem cerca de 2,5 nm de diâmetro, uma bola de tênis tem cerca de 70 milhões de nanômetros e um ponto de lápis cerca de um milhão de nanômetros (NNI, 2022a).

A Figura 1 traz a representação de uma escala de medição, onde se mostra a faixa em que os nanomateriais se localizam, comparando-os com outros elementos.

FIGURA 1 - Faixa ocupada pelos nanomateriais na escala de medição e uma comparação com outros materiais em várias dimensões



Fonte: Adaptado de Amin *et al.* (2014, p. 4)

## 1.1 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS PARA NANOTECNOLOGIA, NANOCIÊNCIA E NANOMATERIAIS

A nanotecnologia, por ser uma tecnologia profusa e em constante evolução, também é conceituado de modo diferente por outras agências e organizações que tratam sobre o tema, além da ISO.

A *Royal Society*<sup>12</sup> dissociou, em sua definição, a fase dos estudos científicos, que permeiam uma tecnologia, da fase onde são aplicadas em estruturas ou dispositivos, atribuindo os termos nanotecnologia e nanociência para essas duas fases, respectivamente.

Desse modo, a *Royal Society* compreende a nanociência e a nanotecnologia do seguinte modo:

A nanociência é o estudo de fenômenos e manipulação de materiais em escalas atômicas, moleculares e macromoleculares, onde as propriedades diferem significativamente daqueles em escala maior. As nanotecnologias são a concepção, caracterização, produção e aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas, controlando a forma e o tamanho em escala nanométrica (ROYAL SOCIETY, 2004, p. 5, tradução nossa).

Já a Iniciativa Nacional de Nanotecnologia<sup>13</sup> (NNI, do inglês: *National Nanotechnology Initiative*) inclui a fase de estudo científico na definição de nanotecnologia:

A nanotecnologia é a compreensão e o controle da matéria em nanoescala, em dimensões entre aproximadamente 1 e 100 nanômetros, onde fenômenos únicos permitem novas aplicações. [...] A nanotecnologia engloba ciência, engenharia e tecnologia em nanoescala em áreas como química, biologia, física, ciência dos materiais e engenharia. A pesquisa e o desenvolvimento de nanotecnologia envolvem imagens, medidas, modelagem e manipulação de matéria entre aproximadamente 1-100 nanômetros (NNI, 2022b, n. p., tradução nossa).

Ou seja, para a NNI três aspectos são fundamentais para que um produto seja considerado uma nanotecnologia. Um deles é quando a pesquisa e o desenvolvimento envolvem estruturas com dimensões na faixa aproximada de 1 a 100 nm. Outro aspecto é que sejam produzidas estruturas, dispositivos e sistemas com novas propriedades e funções devido às suas dimensões em nanoescala; e, por fim, o

---

<sup>12</sup> Academia Nacional de Ciências do Reino Unido, também conhecida por "*The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*", surgiu em 1660 e que, ao longo da história, reuniu diversos pesquisadores, dentre os quais: Robert Hook, Isaac Newton, Charles Darwin, Albert Einstein, Stephen Hawking, dentre outros. Mais detalhes em: <https://royalsociety.org/about-us/history/>

<sup>13</sup> A Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (NNI) é uma iniciativa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em nanotecnologia desenvolvida pelo governo dos Estados Unidos (EUA). Tem a participação de mais de trinta departamentos federais, agências independentes e comissões dos EUA. Mais detalhes em: <https://www.nano.gov/about-nni>.

terceiro aspecto é a capacidade em manter o controle ou a manipulação da matéria em escala atômica.

Já a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico<sup>14</sup> (OECD, do inglês: *Organisation for Economic Co-operation and Development*), fundamentada nas definições da ISO, conceitua nanotecnologia como:

A compreensão de processos e fenômenos e a aplicação da ciência e tecnologia a organismos, materiais orgânicos e inorgânicos, bem como suas partes, produtos e modelos, em escala nanométrica (mas não exclusivamente abaixo de 100 nanômetros) em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos, dependentes do tamanho, geralmente permite novas aplicações. Essas aplicações utilizam as propriedades de materiais em nanoescala que diferem das propriedades de átomos, moléculas e matéria a granel individuais para a produção de conhecimento, bens e serviços, como materiais, dispositivos e sistemas aprimorados que exploram essas novas propriedades (FRIEDRICH; BEUZEKOM, 2018, p. 15, tradução nossa).

E essa relação entre o tamanho das partículas e os fenômenos que surgem quando estão na escala nanométrica são consequências do aumento da área superficial e dos efeitos quânticos que governam o comportamento da matéria nesta escala, proporcionando novas propriedades, como as magnéticas, óticas e elétricas (ADEKOYA *et al.*, 2018; NNI, 2022c)

Os materiais em escala nanométrica, por possuírem uma área superficial grande quando comparado ao mesmo material em tamanho normal<sup>15</sup>, têm uma razão entre a área de superfície por volume muito grande e, à medida que seu tamanho diminui, a razão entre a área de superfície por volume aumenta (ADEKOYA *et al.*, 2018).

Essa característica é muito importante, uma vez que é justamente na superfície dos sólidos, onde uma grande parte dos átomos estão concentrados com as ligações químicas ainda incompletas (ISSA *et al.*, 2013), que ocorrem as reações químicas, provocando, por exemplo, um aumento na atividade catalítica de alguns nanomateriais (ADEKOYA *et al.*, 2018; ARCURI; PONTES, 2021).

---

<sup>14</sup> Organização fundada em 1961 e composta por 38 países-membros da Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia, além de parceiros-chave, como o Brasil. Tem como objetivo desenvolver diretrizes e padrões de políticas públicas globais e questões de interesse mútuo. Mais detalhes em: <https://www.oecd.org/about/>.

<sup>15</sup> Ao longo do texto será utilizada a expressão “tamanho normal” para designar a partícula cuja dimensão é aquela usualmente encontrada na natureza, conforme tabela periódica.

Quanto ao efeito quântico, a sua existência é explicada pela teoria da mecânica quântica que trata do confinamento de elétrons dentro de partículas. À proporção que as dimensões nas quais os elétrons estão confinados são reduzidas, a área de superfície específica aumenta, e quando um limite crítico é atingido, as separações de nível de energia, normalmente experimentadas por estes elétrons, se espalham ainda mais (DANIELS-RACE, 2014).

Este novo estado provoca um comportamento específico para átomos ou moléculas individuais, gerando um efeito quântico que leva a mudanças significativas nas propriedades dos materiais (DANIEL; ASTRUC, 2004; DANIELS-RACE, 2014).

Do mesmo modo que não se encontra um conceito único para nanotecnologia, definir os nanomateriais ainda é causa para embate no meio científico e político, existindo vários conceitos, porém sem que ocorra um consenso internacional sobre a sua definição (BOVERHOF *et al.*, 2015). E o uso de várias definições por diferentes países torna-se mais um obstáculo aos esforços regulatórios para o controle do seu uso, uma vez que pode gerar uma insegurança jurídica na aplicação de abordagens regulatórias para nanomateriais que são idênticos (JEEVANANDAM *et al.*, 2018).

Para Hochella *et al.* (2019), o que é um senso comum e universalmente aceito por todos envolvidos com a temática é que o tamanho pequeno, a alta área de superfície e a maior reatividade são condições características de um nanomaterial. Ainda conforme os pesquisadores, os nanomateriais podem ser definidos como qualquer material orgânico, inorgânico ou organometálico, onde as suas propriedades químicas, físicas e/ou elétricas se alteram de acordo com o tamanho e a forma do material, sendo esse comportamento observado com mais frequência na escala de tamanho de 1 nm até algumas dezenas de nanômetros, em pelo menos uma dimensão (HOHELLA *et al.*, 2019).

Algumas agências e organismos internacionais, além da ISO, também fazem referências específicas para os nanomateriais. Recentemente, a Comissão Europeia, por causa dos avanços tecnológicos e científicos, atualizou a Recomendação 2011/696/UE (EUROPEAN COMMISSION, 2011) sobre a definição de nanomaterial. Essa atualização também visa garantir a consistência e coerência para fins regulatórios, evitando que um material específico seja considerado um nanomaterial sob um marco regulatório, e não sob outro (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

Sob essa perspectiva, nanomaterial é definido como:

Um material natural, incidental ou manufaturado constituído por partículas sólidas que estão presentes, isoladas ou como partículas constituintes identificáveis em agregados ou aglomerados, e onde 50% ou mais dessas partículas no tamanho baseado em número distribuição, preenchem pelo menos uma das seguintes condições:

(a) uma ou mais dimensões externas da partícula estão na faixa de tamanho de 1 nm a 100 nm;

(b) a partícula tem uma forma alongada, como uma haste, fibra ou tubo, onde duas dimensões externas são menores que 1 nm e a outra dimensão é maior que 100 nm;

(c) a partícula tem uma forma de placa, onde uma dimensão externa é menor que 1 nm e as outras dimensões são maiores que 100 nm (EUROPEAN COMMISSION, 2022, p. C 229/4, tradução nossa).

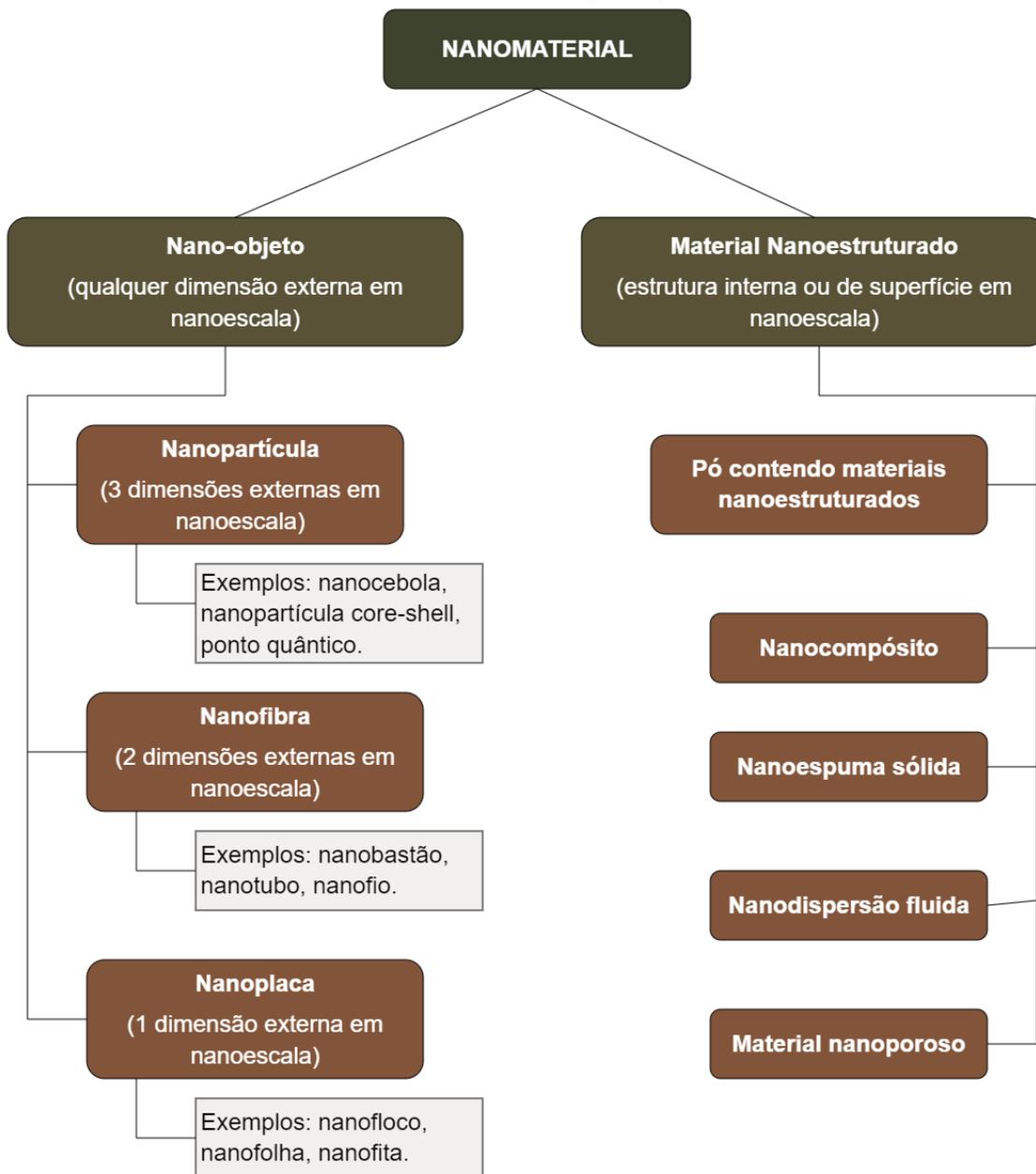
Compreende-se desta nova definição que, ao contrário da recomendação anterior, em que a Comissão Europeia limitava nanomateriais para aquelas partículas que possuíam pelo menos uma ou mais dimensões externas na faixa de 1 a 100 nm, desta vez, com o objetivo de abranger outros materiais, foram adicionadas outras partículas com tamanho inferior a 1 nm e superior a 100 nm, que correspondem as dimensões das nanofibras e nanoplacas<sup>16</sup>.

A Figura 2 traz uma relação hierárquica entre nanomaterial, nano-objeto e material nanoestruturado baseada na norma ISO/DIS 80004-1 (ISO, 2021), sendo que essa relação deve ser considerada como esquemática ou idealizada, pois não impede que, por exemplo, um nano-objeto tenha uma nanoestrutura interna ou superficial (ISO, 2021).

---

<sup>16</sup> Antes desta nova definição, somente os fulerenos, flocos de grafeno e nanotubos de carbono de parede simples com uma ou mais dimensões externas abaixo de 1 nm, eram considerados nanomateriais.

FIGURA 2 - Estrutura esquemática da organização dos nanomateriais



Fonte: Elaborado pelo autor com base na norma ISO/DIS 80004-1(ISO, 2021) (2022)

Os nano-objetos caracterizam-se por possuírem uma ou mais dimensões externas em nanoescala, ocorrendo frequentemente em grupos ao invés de isolados, enquanto o material nanoestruturado possui uma estrutura interna ou estrutura de superfície em nanoescala, tendo uma parcela significativa de grãos em nanoescala (nanocristalino), vazios e poros em nanoescala, ou precipitações em nanoescala (ISO, 2021).

## 1.2 TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS

É notório que os nanomateriais possuem muitas propriedades benéficas, estando presentes em um amplo leque de produtos e aplicações, porém, esse desenvolvimento exponencial contrasta com uma preocupação sobre a deposição desses materiais no organismo e seus efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, em virtude, principalmente, da possibilidade que alguns têm em provocar câncer (IARC, 2010, 2014, 2016, 2017), além da possibilidade de causarem outros tipos de doenças, sendo algumas delas ainda desconhecidas.

É sob essa perspectiva que surge a toxicologia como o segmento da ciência que pesquisa os efeitos adversos dos agentes da natureza (físico, químico ou biológico) sobre os biosistemas, com o intuito de diagnosticar, tratar e, especialmente, prevenir a intoxicação (MARTINEZ; ALVES, 2013). A nanotoxicologia é uma divisão da toxicologia dedicada ao estudo dos efeitos toxicológicos dos nanomateriais nos mais diversos sistemas biológicos, ou seja, busca mostrar os possíveis danos, efeitos nocivos e patogênicos à saúde e ao meio ambiente (SELVARAJ *et al.*, 2018; ZIELIŃSKA *et al.*, 2020).

Na toxicologia, os efeitos adversos ou a toxicidade de uma substância depende de modo geral da quantidade da dose, que é definida pela massa da substância por unidade de peso corporal do indivíduo. Porém, essa relação pode não ser apropriada para as nanopartículas, principalmente para as menores que 100 nm. Desse modo, outras métricas, tais como o tamanho, a forma, a dose em função do diâmetro, reatividade e massa, funcionalização de superfície, agregação e coroa protéica, tornam-se mais relevantes na determinação de suas propriedades físico-químicas e toxicidade (SINGH, 2016).

Para a determinação do potencial tóxico dos nanomateriais, é importante avaliar alguns parâmetros específicos das nanopartículas que influenciam a interação biológica, tais como dissolução, composição química, tamanho, forma, estado de aglomeração, estrutura cristalina, área de superfície específica, energia de superfície, carga superficial, morfologia e revestimento da superfície (NAJAH-MISSAOUI; ARNOLD; CUMMINGS, 2021; SHARIFI *et al.*, 2012; SAVAGE; HILT; DZIUBLA, 2019).

Além dessas propriedades intrínsecas do material, outro fator relevante a se considerar para a avaliação da toxicidade dos nanomateriais são as propriedades extrínsecas que, além de sofrerem influência do próprio material, também são

influenciados pelo meio no qual estão inseridos (ARCURI, 2021).

Sendo assim, tentar compreender a influência que as propriedades intrínsecas e extrínsecas dos nanomateriais têm sobre os mais variados modelos biológicos por meio de abordagens *in vitro*, *in vivo* e *in silico*, é um grande desafio para a nanotoxicologia (BRITO *et al.*, 2021; GERLOFF *et al.*, 2017; GOSWAMI *et al.*, 2017; MARTINEZ *et al.*, 2014).

Então, diante deste cenário de avanço massivo das nanotecnologias contrapondo com a necessidade de mais pesquisas científicas sobre os potenciais perigos e riscos à saúde humana e ao meio ambiente, advindos do uso dos nanomateriais antes da sua entrada no mercado, questiona-se: Quais inovações tecnológicas têm sido desenvolvidas para eliminar ou minimizar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente causado pela exposição aos nanomateriais?

Desse modo, a presente pesquisa mostra os possíveis perigos à saúde humana e ambientais associados a alguns nanomateriais, em especial aos nano-objetos, investigando a existência de tecnologias capazes de remover, desintoxicar ou mitigar a contaminação por esse material para que, ao final da pesquisa, entidades, pesquisadores e sociedade em geral as utilizem.

### 1.3 ESTRUTURA DO TCC

A partir dos resultados desse estudo, foi elaborado como produto final de TCC um Artigo Científico para publicação em revista técnica, além deste relatório técnico conclusivo.

Sendo assim, este texto está dividido em oito capítulos. *A priori*, a apresentação explica ao leitor os aspectos que motivaram o desenvolvimento do estudo e o que se espera alcançar com este trabalho.

O primeiro capítulo, a introdução, apresenta a temática do trabalho, contextualizando-a e problematizando-a, trazendo aspectos gerais sobre a nanotecnologia e sua relevância como agente propulsor para o desenvolvimento econômico e social em muitos países, bem como conceituações sobre nanomateriais e nanotoxicologia, além de alguns estudos tratando dos perigos à saúde e ao meio ambiente decorrentes dos nanomateriais.

No segundo capítulo apresenta-se a justificativa para a realização deste estudo, destacando a singularidade do tema, a lacuna que este estudo visa preencher,

a aderência ao PROFNIT, o seu impacto, a aplicabilidade, a inovação e a complexidade da pesquisa.

No terceiro capítulo são descritos os objetivos, geral e específicos, informando o que o estudo pretende e quais resultados se buscam alcançar com o desenvolvimento desta pesquisa.

Em seguida, no quarto capítulo, tem-se o referencial teórico, que fundamenta este trabalho. A partir de artigos e pesquisas científicas, é realizada uma revisão da literatura e do estado da arte sobre o tema, mostrando as diversas aplicações dos nanomateriais na indústria eletrônica, farmacêutica, dentre outras, além dos perigos gerados pelos nanomateriais à saúde e ao meio ambiente, assim como os principais conceitos e concepções sobre prospecção tecnológica.

No quinto capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos, que foram realizados para elaboração deste estudo, assim como as estratégias e as técnicas adotadas que possibilitaram uma maior compreensão das etapas que foram seguidas para a realização da prospecção.

No sexto capítulo são apresentados os resultados finais e discussões com a descrição e análise do estudo; a seguir, o sétimo capítulo informa o que será disponibilizado à comunidade como produto decorrente desse estudo; e, por fim, no oitavo capítulo, têm-se as conclusões.

Nos Apêndices A, B, C e D são apresentados, respectivamente: as tecnologias disponíveis para a remoção de nanomateriais; tecnologias disponíveis destinadas a prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais no organismo; as produções geradas no decorrer do Mestrado (PROFNIT); e o artigo como o produto gerado pelo TCC.

Já os Anexos A e B trazem, respectivamente, o comprovante de submissão do artigo à revista científica e o certificado de menção honrosa, recebido no VII ENPI – Encontro Nacional de Propriedade Intelectual, em 2021.

## 2 JUSTIFICATIVA

Com o rápido desenvolvimento pelo qual a ciência atravessa buscando atender a demanda mundial por praticidade, economicidade e conforto, a nanotecnologia surge, juntamente com a nanociência, para atender esta carência. Porém, se esse desenvolvimento é realizado de modo precipitado, sem muitos estudos e discussões sobre o seu uso, poderá acarretar sérias consequências à saúde e ao meio ambiente, que só serão percebidas futuramente.

Ao longo deste trabalho, foi observado que as publicações tratando dos perigos e dos riscos ocupacionais dos nanomateriais carecem de aprofundamento, principalmente aqueles que necessitam de mais tempo de pesquisa para serem concluídos, deixando implícito que esses estudos não conseguem acompanhar, na mesma proporção, o avanço de novas nanotecnologias.

A partir desta percepção, este projeto destaca-se por tratar-se de um tema novo, já que não foi encontrado nenhum outro estudo mostrando as inovações tecnológicas capazes de remover, desintoxicar, mitigar ou remediar a contaminação causados por alguns nanomateriais, além dos perigos que acarretam à saúde e ao meio ambiente.

Então, diante deste contexto, este projeto justifica-se ao possibilitar que entidades, pesquisadores e sociedade em geral o utilizem no intuito de identificar os perigos dos nanomateriais, além de ajudar a prevenir os riscos ocupacionais e ao meio ambiente, oriundos da sua utilização sem um estudo prévio do seu impacto, replicando aos demais setores e à população.

### 2.1 LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC

Foram encontrados, no início deste projeto, algumas publicações tratando dos perigos à saúde e ao meio ambiente causados por alguns nanomateriais, além de tecnologias para removê-los do meio ambiente, porém não foram encontrados estudos trazendo inovações tecnológicas capazes de desintoxicar o organismo, evidenciando, assim, um campo a ser explorado.

No Brasil, a preocupação com o tema se consolidou a partir do ano de 2004, com a realização do *workshop* “Nanotecnologia, Meio Ambiente e Sociedade para um Possível Novo Mundo”, realizado no 5º Fórum Social Mundial em Porto Alegre-RS

(ARCURI *et al.*, 2009).

A Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro) – órgão federal que tem por objetivo elaborar estudos e pesquisas sobre as questões de segurança, higiene, meio ambiente e medicina do trabalho – iniciou estudos e ações nessa área a partir de 2006 com o projeto: “Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores”, visando capacitar os trabalhadores e ampliar a sua participação nas discussões sobre nanotecnologias, sendo concluído em 2019 (ARCURI *et al.*, 2022; FUNDACENTRO, 2020).

A primeira publicação deste órgão ocorreu em 2008 com um capítulo de livro escrito pela pesquisadora Arcuri (2008), cujo título é: “Alguns Impactos da Nanotecnologia no Mundo do Trabalho”.

## 2.2 ADERÊNCIA AO PROFNIT

A nanotecnologia é um campo da ciência e tecnologia entendido como disruptivo, pervasivo, e, devido a sua transversalidade de aplicações e capacidade de agregar valor, é considerado como estratégica para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, entre eles o Brasil, que tem iniciativas específicas para o desenvolvimento da tecnologia em escala nanométrica (BRASIL, 2021).

Desse modo, este estudo atende ao critério de aderência à linha de pesquisa do PROFNIT, pois propõe a realização de um estudo prospectivo, tendo como tema os perigos que alguns nanomateriais oferecem à saúde e ao meio ambiente, e os métodos disponíveis relativos à sua remoção, desintoxicação e à minimização dos riscos, evidenciando, assim, a sua origem em atividades tecnológicas, que é a área de concentração deste programa.

## 2.3 IMPACTO

Este estudo surge a partir de outras pesquisas, onde se percebeu uma necessidade de um maior aprofundamento em questões relacionadas à saúde ocupacional e ao meio ambiente, e às consequências do uso dos nanomateriais.

Mesmo sem um foco de aplicação inicialmente definido, se verificou a necessidade de maior aprofundamento sobre a temática em pauta, na tentativa de que os resultados obtidos possam contribuir para uma maior valorização das áreas de

saúde, segurança e meio ambiente, frente aos perigos gerados pelo uso dos nanomateriais sem um estudo prévio, trazendo para o setor industrial tecnológico uma nova percepção das suas consequências.

## 2.4 APLICABILIDADE

Quanto à aplicação, esse estudo possui uma média capacidade de aplicabilidade, já que trará informações sobre as tecnologias existentes capazes de promover a desintoxicação ou remoção do nanomaterial do organismo e do meio ambiente, podendo ser replicado entre os setores governamentais e não governamentais, e a sociedade em geral.

## 2.5 INOVAÇÃO

No que diz respeito aos critérios de inovação, esse estudo decorre de uma combinação de conhecimentos pré-estabelecidos, tendo um médio teor inovativo.

## 2.6 COMPLEXIDADE

Para a elaboração da pesquisa com a respectiva entrega do Artigo Científico, foi necessária uma combinação de conhecimentos pré-estabelecidos e estáveis em diversos segmentos, sendo classificado como um produto de média complexidade.

Diante o exposto, apresentam-se, no próximo capítulo, os objetivos – geral e específicos – deste estudo.

### 3 OBJETIVOS

Neste capítulo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos que orientam o desenvolvimento desta pesquisa.

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os principais perigos à saúde e ao meio ambiente gerados por alguns nanomateriais e identificar as inovações tecnológicas criadas para eliminar ou minimizar o risco.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar as vias de contaminação e penetração dos nanomateriais no organismo, durante a fabricação e manuseio pelo trabalhador;
- b) Avaliar os perigos à saúde humana e ao meio ambiente gerados por alguns nanomateriais, durante o seu ciclo de vida;
- c) Pesquisar, em base de dados de patentes, tecnologias disponíveis capazes de remover, desintoxicar ou minimizar os riscos associados aos nanomateriais na saúde humana e no meio ambiente.

#### 4 REFERENCIAL TEÓRICO (ESTADO DA ARTE E DA TÉCNICA)

Desde o final do século XX, já se percebiam os riscos oferecidos pelos nanomateriais com à saúde e ao meio ambiente (KITTELSON, 1998; VOBORSKY, 1980). Em um artigo publicado por Shvedova *et al.* (2003), com o objetivo de verificar se a exposição ocupacional à grafite natural e artificial poderia causar pneumoconiose, investigou-se os efeitos adversos de nanotubos de carbono de parede simples (SWCNT, do inglês: *Single Wall Carbon Nanotube*), usando uma cultura de células epiteliais brônquicas humanas.

Os pesquisadores concluíram que a exposição ao SWCNT pode levar à toxicidade pulmonar, devido ao estresse oxidativo acelerado no pulmão de trabalhadores expostos (SHVEDOVA *et al.*, 2003).

Em estudos, complementares entre si, desenvolvidos pelos grupos de pesquisadores Ferin *et al.* (1990) e Oberdörster *et al.* (1990), foi identificado o aumento da toxicidade pulmonar ao se inalar partículas ultrafinas<sup>17</sup>, levando-os a concluir que as partículas com dimensão inferior a 100 nm, quando inaladas, provocavam uma reação descontrolada nas células pulmonares.

Essa inflamação, segundo Singh *et al.* (2009), faz com que as células de defesas do organismo venham a atuar no local, levando ao estresse oxidativo ao nível celular (produção de ROS, do inglês: *Reactive Oxygen Species*), causando alterações no genoma das células próximas e gerando efeitos genotóxicos secundários. Ainda conforme os pesquisadores, nessas situações de inflamações crônicas, o estresse genotóxico será permanente produzindo alterações das células e conduzindo-as a um fenótipo maligno.

Tomando como exemplo alguns nanotubos de carbono – alguns possivelmente cancerígenos para os seres humanos, segundo a *International Agency for Research on Cancer* (IARC)<sup>18</sup> (2017) – existem estudos informando os efeitos tóxicos dos metais que são utilizados no processo de síntese dos nanotubos de carbono comercial.

---

<sup>17</sup> Conforme definição ISO/TR 27628:2007, partículas ultrafinas são aquelas que possuem um diâmetro nominal (geométrico, aerodinâmico, mobilidade, área projetada ou outro) de 100 nm ou menos. Produzido de forma não intencional, como, por exemplo, na combustão de material orgânico (combustível fóssil, madeira ou papel) ou na fumaça do processo de soldagem.

<sup>18</sup> A IARC é uma organização de pesquisa que, embora avalie evidências sobre as causas do câncer, não faz recomendações de saúde, porém, diversas agências reguladoras e de saúde incluem as avaliações da IARC em suas considerações sobre ações para prevenir a exposição a agentes cancerígenos potenciais.

Em um desses estudos, observou-se ao nível celular, um aumento de ROS em função do tempo e da dose, e uma diminuição do potencial da membrana celular mitocondrial devido a traços metálicos associados aos nanotubos comerciais que são responsáveis pelos efeitos biológicos (PULSKAMP; DIABATÉ; KRUG, 2007).

Esta disfunção que a mitocôndria apresenta, combinado com o estresse oxidativo, é a causa para a fisiopatologia de muitas doenças. Desse modo, ao se determinar o potencial da membrana celular e o ROS, tem-se um indicador importante para compreender o estado fisiológico da célula e a função das mitocôndrias (JOSHI; BAKOWSKA, 2011; SUSKI *et al.*, 2018).

No que diz respeito à carcinogenicidade, em 2010 a IARC classificou<sup>19</sup> o negro de fumo, que possui em sua composição partículas ultrafinas, e o dióxido de titânio como possivelmente carcinogênicos para humanos – Grupo 2B<sup>20</sup> (IARC, 2010).

Em um artigo publicado pela IARC, Turpin (2013) associou os agentes presentes no ar, dentre eles as partículas ultrafinas (partículas na escala nanométrica), como um fator de risco ao desenvolvimento do câncer.

Mais adiante, em 2016, a IARC classificou tanto a exposição a poluentes do ar externo quanto o material particulado que a compõe como carcinogênicos para humanos – Grupo 1<sup>21</sup>, relacionando-a ao desenvolvimento de câncer de pulmão com evidências de que esteja também relacionada ao câncer de bexiga (IARC, 2016).

Quanto aos produtos derivados do processo de exaustão de motores a diesel, a IARC, em 2014, fundamentada em estudos científicos sobre a carcinogenicidade para humanos, os classificou como cancerígenos para humanos (Grupo 1) (IARC, 2014).

Em outra decisão tomada em 2017, a IARC, após analisar algumas pesquisas sobre as partículas biopersistentes e fibras, concluiu que inalá-las é muito perigoso para a saúde por possuírem uma morfologia semelhante ao amianto (IARC, 2017). Em sua decisão, a IARC afirmou que: “Os eventos mecanicistas relevantes para a genotoxicidade, inflamação pulmonar e fibrose, bem como a translocação para a

---

<sup>19</sup> A classificação realizada pela IARC indica a força da evidência de que uma substância ou agente pode causar câncer. São organizadas em grupos: 1, 2A, 2B e 3.

<sup>20</sup> Grupo 2B – possivelmente carcinogênico para humanos: quando há evidências limitadas de carcinogenicidade em humanos e evidências insuficientes de que ele é carcinogênico para animais. Também pode ser usado quando não existem evidências suficientes para ambos os casos, mas há dados relevantes de que ele possa ser carcinogênico.

<sup>21</sup> Grupo 1 – carcinogênico para humanos: quando existem evidências suficientes de que o agente é carcinogênico para humanos.

pleura, podem ocorrer em humanos expostos a nanotubos de carbono, por inalação” (IARC, 2017, p. 191, tradução nossa).

Ao final da análise, a IARC, fundamentada em estudos que utilizou um MWCNT (*Multi-Walled Carbon Nanotube*) de dimensões específicas (POLAND *et al.*, 2008; TAKAGI *et al.*, 2008), reconheceu somente os nanotubos de carbono de paredes múltiplas MWCNT-7 – diâmetro de 40 a 170 nm e comprimento de 1 a 19 µm – como possivelmente carcinogênicos para humanos (Grupo 2B).

Há de se ressaltar que, em função da variedade de nanotubos de carbono e pelos estudos limitados de longo prazo, ainda existem lacunas significativas a serem preenchidas principalmente no que tange à compreensão dos mecanismos de carcinogenicidade, admitindo, assim, a possibilidade de que novos estudos possam trazer outros tipos de nanotubos que podem ser considerados cancerígenos (IARC, 2017).

Para uma melhor compreensão, o Quadro 1 reúne essas decisões da IARC sobre a carcinogenicidade para alguns nanomateriais.

QUADRO 1 - Carcinogenicidade de alguns nanomateriais e material particulado, conforme classificação da IARC

Ano	Nanomaterial/Particulado	Classificação
2010	Negro de fumo Dióxido de titânio	Grupo 2B Possivelmente carcinogênico para humanos
2014	Produtos derivados do processo de exaustão de motores a diesel	Grupo 1 Carcinogênico para humanos
2016	Poluentes do ar externo e material particulado (partículas ultrafinas)	Grupo 1 Carcinogênico para humanos
2017	Nanotubos de carbono de paredes múltiplas – MWCNT-7	Grupo 2B Possivelmente carcinogênico para humanos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em IARC (2010, 2014, 2016, 2017) (2022)

Em estudo recente, desta vez investigando a influência de outros MWCNT, Scala *et al.* (2021) concluíram que os MWCNT fabricados (não purificados) – diâmetro externo de 8 a 15 nm, diâmetro interno de 4 a 8 nm e comprimento de 2 a 15 µm – desencadeiam um efeito epigenético nos pulmões dos animais expostos, acarretando alterações subsequentes da expressão genética, além de mostrar o comprometimento das vias de contração muscular, sistema imunológico e inflamatório e, por fim, da

matriz extracelular.

No que diz respeito à saúde do trabalhador, destaca-se o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH, do inglês: *National Institute for Occupational Safety and Health*)<sup>22</sup> que coordena a iniciativa de saúde e segurança do governo federal dos Estados Unidos para a nanotecnologia e, desde 2004, coordena pesquisas e atividades por meio do Centro de Pesquisa de Nanotecnologia (NTRC, do inglês: *Nanotechnology Research Center*) (HOWARD; MURASHOV, 2017; LANDREE; MIYAKE; GREENFIELD, 2015).

Tratando da exposição ocupacional, esta agência, em 2011, baseada em pesquisas científicas a respeito da toxicidade do dióxido de titânio (material particulado fino e ultrafino), que é muito utilizado em produtos comerciais, incluindo tintas, cosméticos, plásticos, papel, alimentos, dentre outros, recomendou um limite de exposição até 0,3 miligramas por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para fração respirável de ultrafino (que possuem três dimensões menores que 100 nm) e de 2,4  $\text{mg}/\text{m}^3$  para fração de fino (dimensões maiores que 100 nm), tendo uma concentração média ponderada no tempo de 10 horas diária durante uma semana de trabalho de 40 horas (NIOSH, 2011).

Já em 2013, por meio de diretrizes e recomendações para nanotubos e nanofibras de carbono, esta agência concluiu sobre a necessidade de controle da exposição, medidas preventivas e monitoramento ocupacional, dentre outros meios de proteção à saúde do trabalhador com o objetivo de reduzir o risco de inflamação pulmonar e fibrose (NIOSH, 2013).

Uma dessas recomendações foi estabelecer um limite para fração respirável até 1 micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para nanotubos e nanofibras de carbono (duas dimensões menores que 100 nm), durante 8 horas de trabalho, porém, sem mencionar parâmetros para a exposição a negro de fumo, que, assim como o dióxido de titânio, foi considerado possivelmente carcinogênico para humanos pela IARC, conforme mencionado.

Em estudos envolvendo nanopartículas de prata (nanoprata), o NIOSH, em 2021, avaliou o risco potencial à saúde da exposição ocupacional a nanomateriais de

---

<sup>22</sup> NIOSH é a principal agência federal dos Estados Unidos que trata da segurança e saúde do trabalhador e onde se realiza pesquisas e fornece orientação sobre as implicações de segurança e saúde ocupacional e aplicações da nanotecnologia. Mais detalhes em: <https://www.cdc.gov/niosh/about/default.html>.

prata, analisando mais de 100 estudos sobre nanomateriais de prata em animais ou células humanas (NIOSH, 2021). Da análise desses estudos, percebeu-se a influência que o tamanho da partícula tem sobre a absorção e a toxicidade, porém não foi possível concluir os efeitos à saúde em trabalhadores expostos a nanomateriais de prata.

Mesmo assim, procurando recomendar limites de exposição ocupacional para os nanomateriais de prata, o NIOSH, ainda fundamentado nos resultados desses estudos, avaliou duas pesquisas sobre de inalação subcrônica (duração intermediária) em ratos, e sugeriu um limite de exposição para fração respirável de nanomateriais de prata (três dimensões menores que 100 nm) de  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para uma concentração média ponderada no tempo de 8 horas de exposição (NIOSH, 2021).

Essas informações sobre os limites de tolerância recomendados pelo NIOSH estão resumidas no Quadro 2.

QUADRO 2 - Limites de tolerância estabelecidos pela NIOSH para alguns nanomateriais

Nanomaterial	Limite de Exposição Recomendado
Dióxido de titânio	$0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ (ultrafino) $2,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ (fino)
Nanotubos e nanofibras de carbono	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Nanopartículas de prata	$0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Fonte: Elaborado pelo autor com base em NIOSH (2011, 2013, 2021) (2022)

Portanto, não há como negar a importância que a nanotecnologia e a comercialização de seus produtos têm no contexto atual, trazendo eficiência e economia para questões importantes, tais como: energia, transporte, poluição, saúde e alimentação, porém são necessárias mais pesquisas, principalmente em longo prazo, trazendo informações mais assertivas sobre a utilização, fornecendo orientações para o manuseio correto de nanomateriais e definindo, com mais precisão, o perigo, a exposição e os riscos envolvidos antes de chegarem ao mercado.

#### 4.1 APLICAÇÃO DOS NANOMATERIAIS NO MERCADO GLOBAL

Nos últimos 20 anos diversos tipos de nanomateriais têm sido descobertos com o intuito de levarem eficiência para diversos produtos e, principalmente, proporcionar

um custo menor do produto final voltado ao mercado.

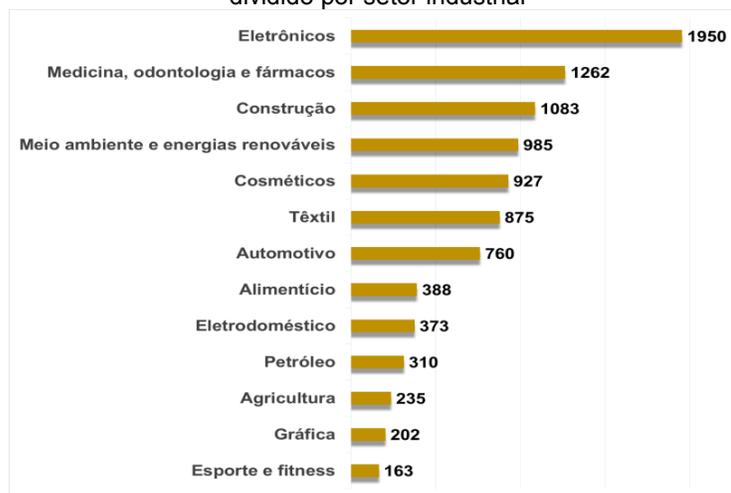
Segundo relatório elaborado pela *Grand View Research* (2021), o tamanho do mercado global de produtos que utilizaram nanomateriais no ano de 2020 foi estimado em US\$ 8,0 bilhões e projeta-se, para os anos de 2021 a 2028, uma taxa de crescimento anual composta (CAGR, do inglês: *Compound Annual Growth Rate*) de 14,1%, já considerando o impacto causado pela pandemia da covid-19 em 2020, no mercado global de nanomateriais.

Os números gerais sobre a confecção de produtos nanofabricados podem ser encontrados no banco de dados gratuitos da *Nanotechnology Products Database* (NPD), disponibilizado na plataforma *StatNano*, que catalogam e registram o volume de produção de nanotecnologia pelo mundo.

Na pesquisa realizada no dia 30/12/2022, a NPD registrava, em sua base de dados, o volume de 10 437 produtos desenvolvidos por 3430 indústrias em 65 países (STATNANO, 2022).

De acordo com a NPD, as nanopartículas de prata, o dióxido de titânio e o dióxido de silício foram os nanomateriais mais utilizados em produtos de nanotecnologia e os setores industriais que mais os utilizaram foram as áreas de eletrônicos; medicina, odontologia e fármacos; construção; meio ambiente e energia renováveis; cosméticos; têxtil; automotivo; alimentício; eletrodomésticos; petróleo; agricultura; gráfica; além de esporte e *fitness*, como se observa na Figura 3.

FIGURA 3 - Quantidade de produtos ofertados no mercado mundial oriundos da nanotecnologia, dividido por setor industrial



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da *Nanotechnology Products Database* – NPD (STATNANO, 2022)

Conforme a Figura 3, percebe-se que a maioria dos setores industriais já disponibilizam produtos oriundos da nanotecnologia. O setor de eletrônicos é o ramo da indústria que mais se destaca com 1950 nanoprodutos fabricados, sendo 849 deles distribuídos entre nove tipos de linhas de produtos, tais como: sensores, pontas AFM e biossensores.

Ainda analisando os nanoprodutos fabricados pelo setor de eletrônicos, têm-se 273 produtos distribuídos entre *lasers*, máquinas de solda e de corte a *laser*; 255 distribuídos entre nanomateriais para computação, *scanners* de código de barras, controle de processo entre outros; e 230 produtos em processadores com aplicações em computadores, telefones celulares, microservidores e consoles de jogos (STATNANO, 2022).

No ramo da indústria de eletrônicos, o nanomaterial que mais está presente é o alumínio, sendo utilizado em revestimentos ou na composição do produto eletrônico (STATNANO, 2022). Esse aumento da utilização dos nanomateriais na indústria de eletrônicas ocorre devido à crescente demanda do mercado por produtos de alta tecnologia e, principalmente, pela facilidade de aplicações como nanofios, spintrônica e pontos quânticos (GRAND VIEW RESEARCH, 2021).

Essas várias aplicabilidades, que as nanopartículas metálicas possuem, decorrem da característica de, ao serem induzidas a se unirem em um sólido a baixas temperaturas, geralmente sem fundir, geram um revestimento aprimorado e com possibilidade de várias aplicações eletrônicas como, por exemplo, em capacitores (JIANG *et al.*, 2020; THAKKAR; MHATRE; PARIKH, 2010).

Ainda de acordo com a Figura 3, as áreas de medicina, odontologia e fármacos, que lideraram em 2020 o mercado global de aplicações dos nanomateriais, conforme o relatório elaborado pela *Grand View Research* (2021), têm registrado na NPD 1262 nanoprodutos distribuídos entre 231 tipos diferentes de segmentos de produtos.

Dentro dessa área, o segmento de suprimentos médicos (curativo, máscara respiratória, *kit* de detecção, dentre outros) é o que detém a maior quantidade de nanoprodutos oferecidos, com 487 itens, seguido por produtos farmacêuticos (medicamentos), com 429 nanoprodutos e odontologia (material restaurador, creme dental, enxaguante bucal, dentre outros), com 186 nanoprodutos (STATNANO, 2022).

Nessa área, o nanomaterial mais comumente relatado nos produtos é a nanopartícula de prata, estando presente em 251 nanoprodutos, seguida pelo ouro, presente em 28 nanoprodutos que são utilizados para o aprimoramento das

propriedades antibacteriana, antimicrobiana, desodorização, impermeabilização, anti-inflamatório, dentre outras (MIHAI *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

A prata, que em seu tamanho normal ao ser utilizada na forma de prata metálica, nitrato de prata ou sulfadiazina de prata, serve para o tratamento de feridas, queimaduras e diversas infecções por bactérias; quando em escala nanométrica tem se destacado como agente antimicrobiano contra bactérias patogênicas que apresentam resistência a múltiplos antibióticos (MIHAI *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

A nanopartícula de prata também é utilizada em diversas matrizes, dentre as quais compósitos ou conjugados, fibras, coloides, gel, revestimentos, embalagens de alimentos, filmes finos, em dispositivos médicos, na agricultura, na indústria, além de serem aplicados em produtos de consumo e de uso doméstico (MAILLARD; HARTEMANN, 2013; SIM *et al.*, 2018).

As nanopartículas são classificadas em: inorgânicas, orgânicas e híbridas. As nanopartículas inorgânicas têm seu grupo formado pelos óxidos metálicos, onde se destaca o dióxido de titânio e o óxido de ferro; os metais de transição, como o ouro e a prata; além dos compostos quânticos, formados principalmente pelo cádmio e o selênio, que são utilizados em vários segmentos da indústria para a fabricação de sensores eletroquímicos e biossensores, para a administração de fármacos que são ativados a partir da aplicação de um campo magnético externo oscilante, dentre outras utilidades (LAZZARETTI; HUPFFER, 2018; YOO *et al.*, 2011).

O dióxido de titânio é outro nanomaterial que permite aplicações variadas devido à sua versatilidade, sendo aplicado em várias áreas, dentre as quais a indústria biomédica, alimentos, construção, cosméticos, higiene, beleza e na produção de baterias. Dadas as suas propriedades físico-químicas, é também utilizado como antibactericida, em produtos de proteção contra radiações ultravioletas e fotocatalíticas (LAZZARETTI; HUPFFER, 2018).

No grupo das nanopartículas orgânicas, se destacam aquelas que têm, em sua formação, átomos de carbono, tais como o fulereno, os grafenos e as nanofibras de carbono, além dos lipossomas, as nanoemulsões (LAZZARETTI; HUPFFER, 2018).

Na área dos fármacos, entre os materiais classificados como orgânicos, tem-se o exemplo das nanopartículas poliméricas, tais como as micelas, os dendrímeros e a quitosana, que, devido à capacidade da sua estrutura ser alterada quimicamente, destacam-se como transportadores de agentes terapêuticos para tratamentos de câncer, tendo como vantagem o aumento da eficiência da droga ministrada e a

diminuição da sua toxicidade, além de serem utilizadas como agentes de contraste na formação de imagens por ressonância magnética (FARAJI; WIPF, 2009).

Têm-se, também, as nanopartículas lipídicas sólidas (lipoesferas ou nanoesferas lipídicas sólidas) que, com a rigidez do seu núcleo e a camada externa formada por fosfolipídios, apresentam grande estabilidade quando estão no meio biológico sob a temperatura corpórea (FARAJI; WIPF, 2009; LAZZARETTI; HUPFFER, 2018; STATNANO, 2022; YOO *et al.*, 2011).

Já as nanoestruturas híbridas se caracterizam por serem constituídas por dois tipos de componentes com o intuito de manter uma coesão entre si ou complementares. A conjugação entre biomoléculas e nanopartículas metálicas, e a combinação de nanomoléculas orgânicas e matrizes nanopoliméricas, são dois exemplos dessa nanoestrutura que tem como objetivo introduzir novas funcionalidades e melhorar as suas propriedades mecânicas, térmicas e óticas (GAO *et al.*, 2021; LAZZARETTI; HUPFFER, 2018).

Estudos recentes trazem exemplos de aplicações de nanoestruturas híbridas, dentre eles, para o enfrentamento ao vírus *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2* (SARS-COV-2), responsável pela doença do coronavírus 2019 (covid-19, do inglês: *Coronavirus Disease – 2019*), que é uma doença infecciosa associada a problemas respiratórios graves.

Em um desses estudos, pesquisadores à procura de novas tecnologias que evitassem o dispêndio laboratorial e a demora no diagnóstico da covid-19, criaram um teste rápido utilizando o conjugado de nanopartículas de ouro-anticorpo para detectar a presença do vírus na amostra de sangue do indivíduo (HUANG *et al.*, 2020).

Esse teste rápido (imunocromatografia ou imunoensaio de fluxo lateral) consiste na detecção dos biomarcadores da covid-19, IgG e IgM (que são liberados na interação com anticorpos incorporados na tira), que, caso estejam presentes, são capturados pelo conjugado nanopartícula de ouro-anticorpo, provocando uma mudança de cor visualizada na linha de teste e de controle do imunocromatográfico (RUIZ-HITZKY *et al.*, 2020; STATNANO, 2020; UDUGAMA *et al.*, 2020).

O grafeno também é utilizado para a detecção do vírus SARS-COV-2 por meio do biomarcador heptanal (biomarcador-chave, exalado durante a respiração em pacientes com SARS-CoV-2) quando adsorvido em grafeno dopado com paládio, platina e prata (ZHU; LUO, 2022).

O grafeno, por ser um excelente condutor térmico, elétrico e por sua

capacidade de se ligar a outros elementos como, por exemplo, gases e metais (EDWARDS; COLEMAN, 2012; KULKARNI, 2015), pode ser utilizado em dispositivo de biossensor baseado em transistor de efeito de campo de grafeno (g-TEC) para a detecção do vírus SARS-COV-2 em concentrações muito baixas, variando da ordem de femtomolar ( $10^{-15}$  Molar) (SEO *et al.*, 2020) a attomolar ( $10^{-18}$  Molar) (KANG *et al.*, 2021).

Outro nanomaterial também bastante utilizado é o nanotubo de carbono que, devido à sua resistência elétrica e térmica, grande área superficial e capacidade de absorver e conjugar agentes diagnósticos e terapêuticos, proporciona diversas possibilidades de aplicações farmacêuticas e médicas (GRAND VIEW RESEARCH, 2021; RAPHEY *et al.*, 2019).

O nanotubo de carbono é composto por uma ou várias lâminas de grafeno aneladas, tomando um formato cilíndrico a partir do enrolamento de uma ou mais folhas em seu próprio eixo, tendo uma cavidade oca em torno de 1,0 nm de diâmetro e com comprimento de alguns micrômetros até vários centímetros (LAZZARETTI; HUPFFER, 2018; ZARBIN; OLIVEIRA, 2013).

Como exemplo de aplicação de nanotubo de carbono, têm-se os nanotubos de parede simples – formados por apenas uma lâmina de grafeno – que podem ser empregados no armazenamento de gases oriundos da condensação destes em seu interior, por exemplo, a condensação e armazenamento do gás hidrogênio em nanotubos que ocorre em carros elétricos, além de sua aplicabilidade em transistores e outras classes de dispositivos (HERBST; MACÊDO; ROCCO, 2004; ZARBIN; OLIVEIRA, 2013).

O Quadro 3 resume as principais aplicações dos nanomateriais, conforme as suas propriedades mecânicas, elétricas, térmicas, ópticas, dentre outras.

QUADRO 3 - Principais nanomateriais e suas aplicações

Nanomaterial	Aplicações	Referência
Prata	Antibacteriana, antimicrobiana, antiodor.	Mihai <i>et al.</i> (2018) Choi, Lee e Yoo (2017)
Dióxido de titânio	Autolimpeza, antirreflexiva, proteção UV, antibacteriana, superhidrofobicidade.	Lu <i>et al.</i> (2015) Mohajerani <i>et al.</i> (2019)
Dióxido de silício	Superhidrofobicidade, resistência a manchas e abrasão, proteção UV, repelência à sujeira.	Saleem e Zaidi (2020) Mohajerani <i>et al.</i> (2019)

Nanomaterial	Aplicações	Referência
Nanotubo de carbono	Eletrodo condutor, reforço mecânico, sensor de umidade e tensão, antiestático, supercapacitor, retardante de chama.	Jain, Gupta e Kanu (2022) Saliev (2019)
Grafeno	Antibacteriano, resistência ao fogo, anti-UV e condutividade elétrica e térmica, flexível.	Kang <i>et al.</i> (2021) Cao, Yin e Zhang (2014)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em: Cao Yin e Zhang (2014); Choi, Lee e Yoo (2017); Jain, Gupta e Kanu (2022); Lu *et al.* (2015); Mihai *et al.* (2018); Mohajerani *et al.* (2019); Saliev (2019); Saleem e Zaidi (2020); Kang *et al.* (2021)

Desse modo, percebe-se que as diversas possibilidades de uso dos nanomateriais, até mesmo em produtos de uso doméstico – mesmo tendo poucos estudos a respeito da sua utilização – podem favorecer a entrada das nanopartículas no meio ambiente, podendo representar uma grande ameaça aos seres vivos.

#### 4.2 PERIGOS E RISCOS DOS NANOMATERIAIS PARA A SAÚDE E AO MEIO AMBIENTE

A exposição aos nanomateriais pode acontecer durante o ciclo de vida do material, desde a síntese, a produção e a sua inclusão nos produtos pelo trabalhador até a sua utilização pelo consumidor e o seu descarte (LOURO; BORGES; SILVA, 2013; SALIERI *et al.*, 2018).

Os riscos para a saúde, causados por essa exposição, variam conforme a composição do nanomaterial, podendo, ao penetrar no organismo, ser absorvidos, distribuídos e metabolizados, sendo encontrados nos pulmões, no fígado, nos rins, no coração, nos órgãos reprodutores, no cérebro, no baço, no esqueleto e nos tecidos moles, bem como em fetos e no leite materno (CAI *et al.*, 2019; EU-OSHA, 2019).

No contexto ocupacional, os nanomateriais engenheirados e os incidentais são os que mais preocupam quando se fala em saúde do trabalhador, pois a exposição a esse agente pode ocorrer ao longo da sua jornada laboral, seja durante a fase de pesquisa, desenvolvimento e/ou fabricação do produto (ARCURI; PONTES, 2018; SILVA, G.; SILVA, L., 2013).

A via respiratória é a principal via de absorção e rota para a entrada das nanopartículas no organismo, visto as características dos pulmões humanos, que possuem uma área superficial extensa, finas barreiras alvéolos-capilares e uma grande vascularização, não descartando também os outros meios de contaminação,

por exemplo, através da pele, sistema ocular, digestório ou pela injeção intravenosa de fármacos transportados por nanopartículas (ARCURI; PONTES, 2018; LOURO; BORGES; SILVA, 2013; MALAKAR *et al.*, 2021; WAISSMANN, 2016).

A deposição da nanopartícula ao longo do sistema respiratório não ocorre de maneira uniforme, mas de acordo com o seu diâmetro, o grau de agregação e aglomeração do nanomaterial, além do seu comportamento no ar (OBERDÖRSTER *et al.*, 2004).

Aproximadamente 90% das nanopartículas com diâmetro em torno a 1,0 nm ficam retidas na região nasofaríngea (por exemplo, algumas nanopartículas de ouro), e 10% ficam retidas na árvore traqueobrônquica, não atingindo a região alveolar (OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J., 2005; WAISSMANN, 2016).

Cerca de 20 a 30% das nanopartículas que possuem um diâmetro entre 5,0 e 10,0 nm (por exemplo, nanopartículas de ouro, sílica e prata, dentre outras), se depositam de modo uniforme em todo o sistema respiratório (trato respiratório superior e inferior), 50% das nanopartículas com 20 nm de diâmetro se depositam na região alveolar e 10% no trato respiratório superior (OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J., 2005; SCHRAUFNAGEL, 2020; WAISSMANN, 2016).

Os nano-objetos, quando no meio pulmonar, podem encontrar-se na forma de novelo (nanofibras), estarem presos ao surfactante, ligar-se aos receptores e complexos proteicos, além de poderem ser absorvidos por macrófagos e células dendríticas pelo processo de fagocitose, onde as nanopartículas são destruídas, podendo também ser removidas pelo epitélio traqueal mucociliar (AMARARATHNA *et al.*, 2019; RUGE *et al.*, 2012).

As nanopartículas podem se depositar nos alvéolos pulmonares e alcançar a corrente sanguínea ou alojar-se na cavidade pleural, e serem drenadas pelos vasos linfáticos da pleural parietal e serem lançadas no sistema circulatório, gerando riscos consideráveis a diversos órgãos (AMARARATHNA *et al.*, 2019; BOYES; VAN THRIEL, 2020).

Tratando-se da contaminação pelo trato respiratório superior, o nariz é uma via importante para entrada de nanopartículas. Diversos estudos com animais de laboratório, que receberam nanopartículas por instilação intranasal e inaladas, demonstraram a translocação (deslocamento entre as células do corpo humano) para o cérebro por meio do bulbo olfativo e do nervo olfativo, podendo afetar o sistema

nervoso central sem necessariamente utilizar o sistema circulatório para alcançá-lo (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2013; BOURGANIS; KAMMONA; COSTAS, 2018; MANIGRASSO *et al.*, 2019; OBERDÖRSTER *et al.*, 2004; OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J., 2005; YU *et al.*, 2007).

Em um estudo para avaliar a translocação de partículas de ouro pelo organismo de um voluntário saudável, Miller *et al.* (2017) detectaram, no período entre 15 minutos e 24 horas após à sua inalação, a presença dessas nanopartículas nas amostras de sangue e urina que foram coletadas, continuando a serem encontradas mesmo após três meses da exposição. Esse estudo mostrou que após a inalação, as partículas de 5 nm (diâmetro primário) foram as mais encontradas quando comparadas com as de 30 nm.

Nesse mesmo estudo, porém utilizando camundongos como cobaias, após a exposição pulmonar com nanopartículas de ouro de diâmetro primário entre 2 e 200 nm, percebeu-se um acúmulo das nanopartículas no sangue e no fígado, além de uma translocação maior das partículas menores de 10 nm de diâmetro (MILLER *et al.*, 2017).

Dentre os nano-objetos que geram riscos, destacam-se os nanotubos de carbono que, mesmo não tendo um consenso entre os pesquisadores sobre a sua toxicidade (FADEEL; KOSTARELOS, 2020; KUEMPEL *et al.*, 2017; SZENDI; VARGA, 2008), a depender do tipo e comprimento, podem ter o mesmo efeito do amianto, podendo atravessar a placenta e penetrar no feto (IARC, 2017; PIETROIUSTI *et al.*, 2018; SCHINWALD *et al.*, 2012).

Os nanotubos de carbono, que são nanofibras, podem ser encontrados como emaranhados compactos de nanotubos ou como fibras longas e rígidas. Eles possuem uma relação entre o comprimento e o diâmetro muito grande, tendendo a torná-los essencialmente fibrilares e causadores de lesões pulmonares, inflamação, fibrose, respostas alérgicas, genotoxicidade e carcinogenicidade (POLAND *et al.*, 2008; SARGENT *et al.*, 2014; TAKAGI *et al.*, 200;). Porém, existem alguns outros nanotubos de carbono que, devido às suas propriedades superficiais, não causam lesões, fibroses nem granulomas, podendo ser metabolizados e excretados (AUFFAN *et al.*, 2006; SAGER; CASTRANOVA, 2009; YEHIA *et al.*, 2007).

Ao nível celular, as nanopartículas podem atravessar a membrana, penetrar no núcleo e, por meio dos seus receptores, interagir com o DNA e as mitocôndrias da célula, gerando espécies reativas de oxigênio, estresse oxidativo, peroxidação lipídica

e aumento do cálcio citosólico (BRANDELLI, 2020; RADAIC *et al.*, 2016).

No que diz respeito a nanopartícula de prata, alguns estudos mostram que a exposição à esse elemento pode causar genotoxicidade e danos ao DNA, inflamação no fígado e rins e outras lesões nos pulmões, coração, intestino e baço (LI; CUMMINS, 2020; PATLOLLA; HACKETT; TCHOUNWOU, 2015; RODRIGUEZ-GARRAUS *et al.*, 2020).

Outras pesquisas demonstram que as nanopartículas de prata e as de ouro causam o aumento das enzimas hepáticas, indicando lesão hepática (AL-BISHRI, 2018); podendo ser agravado de esteatose para esteato-hepatite, de acordo com outro estudo com cobaia com sobrepeso, quando exposta à nanopartícula de prata (JIA *et al.*, 2017); além de mostrar que a contaminação pela pele por nanopartículas de prata com tamanho de 40 nm, de forma dose-dependente, pode provocar hepatotoxicidade induzida e nefrotoxicidade (SAMANI *et al.*, 2018).

E essa contaminação de nanopartículas pela pele demonstra que mesmo atuando como uma barreira natural de proteção contra substâncias externas, ela não é intransponível (SCHNEIDER *et al.*, 2009). Alguns compostos podem penetrá-la e permeá-la, causando irritações, sensibilização local ou translocar-se até os vasos sanguíneos, atingindo o sistema circulatório (LARESE FILON *et al.*, 2015; SCHNEIDER *et al.*, 2009).

Isso se torna mais evidente com nanopartículas metálicas, quando comparadas com as não metálicas, uma vez que as nanopartículas à base de metal, tais como a prata, níquel e cobalto, podem facilmente liberar íons, resultando em uma maior permeação do metal na pele, devido muito mais à forma solúvel do que à sua capacidade de translocar-se, gerando, conseqüentemente, efeitos locais e sistêmicos, e a tendência de formar agregados (MORTEZAEI *et al.*, 2019).

Esta forma da interação entre as nanopartículas e a pele (íntegra ou danificada) ainda é motivo de estudos para diversos pesquisadores, sendo o tamanho da nanopartícula um dos parâmetros determinantes para a sua penetração (KHABIR *et al.*, 2019; LARESE FILON *et al.*, 2015; POLAND *et al.*, 2013; RANCAN *et al.*, 2012).

As nanopartículas menores que 4 nm possuem a capacidade de penetrar e permear a pele intacta; as que têm entre 4 e 20 nm podem, eventualmente, permear a pele íntegra e danificada; as que possuem entre 21 e 45 nm podem apenas penetrar e permear a pele danificada; já as maiores que 45 nm não conseguem penetrar e nem permear à pele (BAROLI, 2010; LARESE FILON *et al.*, 2015).

Os nanomateriais estão cada vez mais presentes em cosméticos e produtos de higiene pessoal e isso requer um elevado nível de proteção para a saúde humana. Recentemente, após estudo e assessoramento do Comitê Científico para a Segurança dos Consumidores (SCCS, do inglês: *Scientific Committee on Consumer Safety*)<sup>23</sup>, a Comissão Europeia proibiu a aplicação de 12 nanomateriais em produtos de cosméticos no mercado europeu (EUROPEAN UNION, 2022).

Por meio de uma notificação enviada pela Comissão Europeia, a Organização Mundial do Comércio (WTO, do inglês: *World Trade Organization*) foi informada sobre um projeto (EUROPEAN UNION, 2022) para alterar o Anexo II<sup>24</sup> (lista de substâncias proibidas nos produtos cosméticos) do Regulamento (CE) n.º 1223/2009 e suas alterações, relativo aos produtos cosméticos (EUROPEAN UNION, 2009).

Na lista do anexo II serão incluídos os Copolímeros de estireno/acrilato, Copolímero de estireno/acrilato de sódio (SCCS, 2018); Cobre; Cobre coloidal (SCCS, 2021a); Hidroxiapatita (SCCS, 2021b); Ouro, Ouro coloidal, Ácido tioetilamino-hialurônico com ouro coloidal; Acetil-heptapeptídeo-9 com ouro coloidal (SCCS, 2022a); e Platina, Platina coloidal e Acetil-tetrapeptídeo-17 com platina coloidal (SCCS, 2022b).

No Brasil, o órgão que regula, controla e fiscaliza as substâncias aplicadas em cosméticos, produtos de higiene pessoal e perfumes é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (BRASIL, 1999), que dispõe, por meio da Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n.º 529/2021 (ANVISA, 2021), de uma lista de substâncias que não podem ser utilizadas em produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes.

A RDC n.º 529/2021 não menciona explicitamente, em seu texto, substâncias em escalas nanométricas, mas, em seu artigo 4º, inciso I e II, possibilita a regulação por normas internacionais:

Art. 4º - Além das substâncias presentes no Anexo, fica proibida a utilização, nos produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes, de substâncias com propriedades perigosas nas seguintes condições:  
I - classificadas como categoria 1, segundo a classificação

---

<sup>23</sup> Comitê científico independente, responsável por assessorar a Comissão Europeia, emitindo pareceres sobre os riscos para a saúde e a segurança de produtos de consumo não alimentares e serviços. Mais detalhes: [https://health.ec.europa.eu/scientific-committees\\_en](https://health.ec.europa.eu/scientific-committees_en).

<sup>24</sup> As alterações no Anexo II do Regulamento (CE) n.º 1223/2009 estavam previstas para acontecer no terceiro trimestre de 2022, entrando em vigor 20 dias após a sua publicação no Jornal Oficial da União Europeia, porém até 31/12/2022 não haviam sido publicados.

internacional do *International Agency for Research on Cancer* (IARC);  
e  
II - classificadas nas categorias 1A, 1B e 2, com relação a propriedades cancerígenas, mutagênicas ou tóxicas para a reprodução (denominadas “substâncias CMR”), de acordo com a referência da Comissão Europeia (ANVISA, 2021).

Como se observa no artigo 4º, incisos I e II, também pode ser utilizada regulamentos internacionais, tais como, a lista de substâncias classificadas como categoria 1 pela IARC, além das substâncias classificadas nas categorias 1A, 1B e 2 do Regulamento (CE) n.º 1272/2008 da Comissão Europeia (EUROPEAN UNION, 2008) para as propriedades Cancerígenas, Mutagênicas ou Tóxicas para a Reprodução (CMR, do inglês: *Carcinogenic, Mutagenic or Toxic to Reproduction*).

Porém, observa-se que embora seja possível a utilização de um regulamento internacional, conforme citado pela RDC n.º 529/2021, não se faz menção, em seu texto, o Regulamento (CE) n.º 1223/2009, que detém a lista de substâncias proibidas de uso nos produtos cosméticos, os quais os 12 nanomateriais serão incluídos.

No meio ambiente, com o aumento da produção, variedade e consumo dos nanomateriais, a sua dispersão ambiental e o impacto que isso causa tem se tornado um desafio a enfrentar (GUPTA; KUMAR, S.; KUMAR, V., 2019; HOHELLA *et al.*, 2019; PENG *et al.*, 2020).

Um desses desafios são as alterações físico-químicas que ocorrem em sua estrutura, provocando efeitos ecotoxicológicos ainda desconhecidos (FREIXA *et al.*, 2018), além de haver poucas informações sobre os efeitos biológicos que os nanomateriais geram na maioria das espécies, já que existem uma grande variedade de microorganismos, plantas e animais no meio ambiente que respondem de modo diferente para um mesmo nanomaterial (BOYES *et al.*, 2017; HOU *et al.*, 2019).

E para avaliar essas interações dinâmicas que ocorrem entre nanomateriais e matrizes de ambientes complexos é necessário aplicar uma nova abordagem investigativa sobre a ecotoxicidade, dessa vez baseado em bioensaios eficientes, precisos e de alto rendimento (DO AMARAL *et al.*, 2019; FADEEL *et al.*, 2018; TOROPOVA; TOROPOV, 2022).

Tratando da poluição do ar, além dos nanomateriais naturais (originários de poeira mineral, emissões vulcânicas, raios ou formados no espaço sideral), que estão presentes no ar atmosférico, alguns estudos trazem outros contaminantes.

Como exemplo desses contaminantes, têm-se os nanotubos de carbono de

paredes múltiplas, que são gerados a partir de fuligem e foram encontrados no ar com tamanhos entre 15 e 70 nm (GRIFFIN *et al.*, 2018).

Outro exemplo é o dióxido de silício, gerado a partir de erupções vulcânicas e que quando alcançam o ar podem causar irritação nos olhos (LUNGU *et al.*, 2015; ERMOLIN *et al.*, 2018), além das nanopartículas de mercúrio, gerados por processos naturais e antropogênicos, que podem facilmente chegar a outros recursos naturais, como o solo e água (GHOSHDASTIDAR; ARIYA, 2019).

Em um estudo, identificou-se a possibilidade dos nanomateriais, tanto os naturais quanto os sintéticos, serem transportados pelo ar, ligando-se a esporos de fungos (WESTMEIER *et al.*, 2018).

Em estudos recentes, observou-se que o fluxo anual de nanomateriais naturais lançados no meio ambiente é cerca de 97% maior do que ocorre com os nanomateriais sintéticos, porém são esses últimos que causam mais preocupação (HOHELLA *et al.*, 2019; MALAKAR *et al.*, 2021). Estima-se que cerca de 10,3 milhões de toneladas de nanomateriais sintéticos são lançados anualmente para a atmosfera terrestre, podendo alcançar fontes naturais de água (HOHELLA *et al.*, 2019; NEIL *et al.*, 2016).

Esse fluxo de nanomateriais naturais e antropogênicos (incidentais e engenheirados) podem gerar um impacto imprevisível nos ecossistemas microbianos complexos, tais como o solo, o sistema gastrointestinal e em estações de tratamento de águas residuais que, juntamente às descargas industriais, são as duas principais vias de liberação de nanopartículas engenheiradas para o meio ambiente (HOHELLA *et al.*, 2019; HOU *et al.*, 2019).

As águas residuais que entram nessas estações de tratamento possuem uma carga elevada de nanomateriais naturais engenheiradas e até de nanomateriais incidentais (por exemplo, metais reduzidos), oriundos de produtos de consumo e de processos industriais (VRIENS *et al.*, 2017).

Estando nesse meio, esses nanomateriais, ao interagir com os compostos biogênicos das estações de tratamento, podem afetar as comunidades microbianas interdependentes responsáveis por atividades vitais de transformação ou remoção de poluentes (HOHELLA *et al.*, 2019; VRIENS *et al.*, 2017).

Em ambientes aquáticos, alguns nanomateriais podem ter efeitos tóxicos sobre os organismos, principalmente quando estão em grandes concentrações (FREIXA *et al.*, 2018). Esses nanomateriais podem reduzir a taxa de crescimento e reprodução

das plantas, afetar a pigmentação vegetal e a eficiência fotossintética das células vegetais (ZHU *et al.*, 2019).

Em alguns estudos, foram observados que a nanotoxicidade das nanopartículas de dióxido de titânio e de óxido de zinco, em ambientes aquáticos, depende da dose e do tamanho das partículas. No experimento com o peixe-zebra (*Danio rerio*), percebeu-se que o dióxido de titânio, quando em escala nanométrica, a partir de uma concentração de 100 miligramas por litro (mg/L), pode causar danos oxidativos no fígado, intestino e tecido branquial do peixe (TANG; ZHANG; ZHU, 2019) e, quando em concentração de 300 mg/L, causa 100% de mortalidade, ao contrário do mesmo elemento em sua escala normal, que não apresentou toxicidade para o peixe, demonstrando que a toxicidade depende do tamanho das partículas de dióxido de titânio (FARIA *et al.*, 2014; XIONG *et al.*, 2011).

Já o óxido de zinco, tanto em escala nanométrica quanto na escala normal, causou 100% de mortalidade para uma concentração de 30 mg/L, sugerindo que, para esse elemento, a toxicidade depende da composição química (XIONG *et al.*, 2011).

As nanopartículas de prata, no ambiente aquático, têm a capacidade de se transformar, podendo se agregar, aglomerar, e as mais notáveis incluem a dissolução, conseqüentemente, a possibilidade da formação de variados compostos químicos, principalmente sulfetos e cloretos (REZVANI *et al.*, 2019; ZHANG; XIAO; FANG, 2018).

As nanopartículas de prata podem ser absorvidas e bioacumuladas pelos organismos que vivem nos sedimentos subaquáticos – local onde se acredita ser o depósito final das nanopratas (JIA *et al.*, 2017; ZHAO *et al.*, 2021) – tornando-se uma ameaça à saúde humana por meio da cadeia alimentar aquática e da ciclagem de nutrientes (ROSENDAL TANGAA *et al.*, 2016; XIAO *et al.*, 2019; YAN; CHEN, 2019).

Ao se acumularem no sedimento, as nanopartículas de prata podem sofrer diversos tipos de transformações químicas, tais como cloração, sulfetação, dissolução oxidativa, redução, dentre outras (ZHANG; XIAO; FANG, 2018).

A toxicidade das nanopartículas de prata nos sedimentos inclui alteração da estrutura da comunidade microbiana e sua função, absorção, acumulação por plantas, efeitos subletais em animais, transferência trófica em cadeias alimentares aquáticas; já para os organismos aquáticos e bentônicos tem-se estresse oxidativo, toxicidade induzida por íons ou lesão da membrana celular induzida por partículas (MCGILLICUDDY *et al.*, 2017; ZHAO *et al.*, 2021).

Nanopartículas de sulfeto de prata – que é um composto estável no meio ambiente aquático devido à sua insolubilidade e que pode ser encontrado em estações de tratamento de águas residuais e, às vezes, em água doce (LI *et al.*, 2017) – têm a capacidade de reduzir o crescimento de plantas, por exemplo, pepinos e trigo, que podem absorver a nanop prata disponível no solo (WANG *et al.*, 2017).

Já as nanopartículas de óxido de zinco e de dióxido de titânio, além de afetarem o crescimento das plantas, também causam a redução da expressão gênica (dependente da concentração), baixo nível de fotossíntese, tamanho da folha, teor de pigmento fotossintético e outros parâmetros de crescimento (MOVAFEGHI *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2017).

#### 4.3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Diante das frequentes mudanças que acontecem no mundo industrializado e globalizado, onde constantemente novas empresas entram no mercado, tornando-o competitivo e dinâmico, para manterem-se em destaque, essas empresas utilizam cada vez mais inovações, além de métodos que ajudam a prever os sinais de mudanças e tendências (ANTUNES; CANONGIA, 2006).

Buscando prever esses sinais, as empresas mais competitivas utilizam a estratégia de avaliar as ameaças e oportunidades externas, analisando a predisposição interna da empresa em respondê-las e controlá-las, assim também os seus pontos fortes e suas potencialidades em recursos, capital humano, infraestrutura e parcerias (TIGRE, 2014). E o planejamento estratégico surge como garantia da eficiência da aplicação do tempo e de recursos, além do emprego de ações assertivas durante a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico (JANNUZZI; AMORIM; SOUZA, 2007; OLIVEIRA; QUENTAL, 2012).

A prospecção tecnológica é um dos estágios do processo para a gestão da inovação, sendo entendida como um procedimento sistemático para mapear os avanços científicos e tecnológicos, utilizando diversas atividades e/ou técnicas de captação, tratamento e análise das informações (KUPFER; TIGRE, 2014).

A prospecção tecnológica fomenta a indústria, a economia e a sociedade de modo geral com informações para a tomada de decisão, gerando uma redução das incertezas e na melhoria da gestão estratégica (AMPARO; RIBEIRO; GUARIEIRO, 2012).

Quintella *et al.* (2011) também têm esse entendimento de que a prospecção tecnológica deve ser compreendida como uma ferramenta que tem a capacidade de desenvolver o senso crítico, além de ampliar o horizonte do saber, devendo fazer parte do cotidiano da empresa ou organização para auxiliá-la em suas decisões, resultando no aprimoramento da gestão da inovação e na apropriação da tecnologia com competência.

A prospecção não é apenas um estudo do futuro ou uma ferramenta de previsão, e sim um ato contínuo de conhecimento e aprimoramento que busca entender as forças que orientam o futuro.

Fundamentada nessa premissa, a prospecção utiliza-se de (1) inferências, onde se tenta projetar o futuro, reproduzindo o passado, respeitando certos limites e ignorando as descontinuidades ou interrupções; (2) por meio da criação sistemática de percursos alternativos, com a elaboração de cenários plausíveis; (3) ou de forma consensual, por meio da contribuição subjetiva de especialistas (AMPARO; RIBEIRO; GUARIEIRO, 2012; MAYERHOFF, 2008; PARANHOS; RIBEIRO, 2018).

O estudo prospectivo surge como um processo sistemático de análise e síntese de conteúdo, abrangendo características das tecnologias emergentes, as rotas de desenvolvimento e os potenciais impactos futuros (PARANHOS; RIBEIRO, 2018).

Conforme Paranhos e Ribeiro (2018), o estudo prospectivo pode ser realizado a partir da combinação de vários métodos de prospecção, qualitativo e quantitativo, de modo que se complementem, buscando compensar possíveis falhas pelo uso de apenas uma das técnicas ou métodos de prospecção.

Para Borschiver e Silva (2016), as empresas, ao realizarem os estudos prospectivos, buscam investigar o grau de influência dos fatores externos nos seus produtos e no seu nicho de mercado, sendo um apoio importante no processo de planejamento corporativo empresarial.

Para a escolha dos métodos e das técnicas que serão empregados na prospecção tecnológica, é necessário considerar as variáveis existentes, que são distintas tanto para o tipo de abordagens quanto para as habilidades exigidas.

Os métodos e as técnicas podem ser classificados utilizando os aspectos de monitoramento e sistema de inteligência, construção de cenários, análises de tendências, sistemas de avaliação e decisão, opiniões de especialistas, métodos estatísticos, métodos descritivos e matrizes, simulação, modelagem e criatividade (TEIXEIRA, 2013).

Sob a perspectiva de Kupfer e Tigre (2014), os métodos de prospecção podem ser classificados em grupos de: (1) monitoramento (*Assessment*), consistindo no acompanhamento sistemático e contínuo do desenvolvimento dos fatos e na identificação de aspectos que possam causar uma mudança; (2) previsão (*Forecasting*), onde são realizadas projeções com base em informações históricas e em modelagem de tendências; e (3) visão (*Foresight*), consistindo na antecipação de possibilidades baseadas na interação não idealizadas entre especialistas.

A fase de Monitoramento (*Assessment*) – que não é uma técnica de prospecção, mas serve de lastro para ela – é o estágio que se caracteriza pela antecipação dos impactos de tecnologias futuras na sociedade, onde as bases de dados são identificadas e as informações coletadas, analisadas e estruturadas para serem utilizadas (AMPARO; RIBEIRO; GUARIEIRO, 2012).

A Previsão (*Forecasting*) fornece informações sobre a previsão probabilística de desenvolvimentos tecnológicos, identificando futuros prováveis ou esperados, a partir da evolução da informação sobre o passado ou o presente (ANTUNES *et al.*, 2018; MAYERHOFF, 2008).

A Visão (*Foresight*) abrange um conjunto de abordagens relacionadas a considerações em longo prazo para a tomada de decisão como, por exemplo, os estudos participativos e interativos envolvendo os *stakeholders* e os especialistas, com análise e diálogos para a criação de produtos formais que possam ser codificados e propagados (ANTUNES *et al.*, 2018).

Outro método utilizado de prospecção é a bibliométrica, onde as informações sobre determinada tecnologia são pesquisadas em fontes bibliográficas como, por exemplo, artigos ou estudos de conclusão de cursos e projetos.

Desse modo, a bibliometria surge como um método de análise quantitativa para pesquisa científica, que consiste na observância do estado da ciência e da tecnologia por meio de informações extraídas de produção científica depositadas em bibliotecas físicas ou registradas em um repositório de dados virtual (SOARES *et al.*, 2016).

A bibliometria auxilia na avaliação da produtividade dos autores, na análise da maturidade da tecnologia, identificação de padrões de desenvolvimento, identificação de tecnologias emergentes, nos estudos das citações, além de avaliar a qualidade dos periódicos (COSTAS; BORDONS, 2007).

Na análise bibliométrica, duas ferramentas podem ser utilizadas para tratamento das informações: (1) a *datamining*, onde, a partir de grandes conjuntos de

dados, são identificados novas correlações, padrões ou tendências; e (2) *textmining*, que é uma extensão da *datamining*, definido como um processo semiautomatizado voltado à análise e geração da informação por meio do tratamento automático da linguagem natural dos documentos de texto, possibilitando a classificação automática e a representação gráfica dos dados bibliográficos (SALLOUM *et al.*, 2018).

A prospecção tecnológica em bases de dados de patentes tem o intuito de verificar se o que se pretende apropriar já foi divulgado ou apropriado por terceiros, ou seja, se aquela tecnologia já existe no estado da técnica, cuja resposta é encontrada pela busca de anterioridade (QUINTELLA *et al.*, 2011).

Uma técnica utilizada em prospecção tecnológica é o Mapeamento de Patentes, que visa obter informações sobre desenvolvimento e tendências tecnológicas, sendo possível a identificação de inventores, titulares, tipos de tecnologia, referências patentária e artigos anteriores, possibilitando a compreensão sobre a tecnologia e seus provedores, gerando conteúdo importante para os estudos de inteligência competitiva e de *foresight* (PARANHOS; RIBEIRO, 2018).

Durante a prospecção tecnológica, a análise do ambiente externo pode ser realizada utilizando o método de inteligência competitiva e de *technology foresight*. Com o uso desses métodos, é possível identificar as tendências tecnológicas que possam impactar a empresa; desenvolver uma visão de longo prazo, construir e monitorar cenários; mapear potenciais parceiros, concorrentes e outros tipos de organizações (ANTUNES *et al.*, 2018).

Para Antunes *et al.* (2018), a inteligência competitiva – que é um método de prospecção de curto prazo – consiste em avaliar a evolução do segmento econômico da empresa e verificar como se comportam os concorrentes.

Ainda segundo esses autores, a utilização desse método pode ajudar na manutenção ou no desenvolvimento de algo que traga uma vantagem competitiva para a empresa, mas antes é necessário ter o conhecimento sobre o ambiente no qual a empresa se insere, transformando, desse modo, dados em conhecimento estratégico.

Kupfer e Tigre (2014) entendem que a inteligência competitiva tecnológica – que, ao contrário da inteligência competitiva, possui um horizonte de longo prazo – inclui a coleta, análise e compartilhamento de informações disponíveis sobre as tendências, além dos avanços em Ciência e Tecnologia (C&T) que existem fora da empresa.

Já a *technology foresight* é um processo que consiste em analisar o futuro em longo prazo da C&T, economia e sociedade, com objetivo de identificar possíveis áreas estratégicas de pesquisa e tecnologias emergentes, possibilitando o entendimento das forças que delineiam o futuro e que fazem parte da formulação das políticas de planejamento e de tomada de decisões (SARITAS; BURMAOGLU, 2015).

Desse modo, percebe-se o quanto o estudo prospectivo tem se tornado um diferencial para que as organizações possam se preparar para o futuro e se destacarem no mercado que está em constante renovação e mudanças de cenários.

Em síntese, neste capítulo, foram apresentados os principais estudos e aspectos que fundamentam este trabalho, onde foi observado a importância dos nanomateriais para o mundo, assim como estudos sobre a toxicidade de alguns nanomateriais, dentre eles as partículas ultrafinas que estão presentes no ar devido à poluição atmosférica, e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT-7), classificados como possivelmente carcinogênicos para humanos, de acordo com a IARC, além da compreensão sobre a importância da prospecção tecnológica para a inovação nas organizações.

Além disso, abordou-se o mercado global de consumo de produtos contendo nanomateriais, onde projeta-se, conforme *Grand View Research* (2021), uma taxa de crescimento anual de 14,1% (CAGR) até 2028, além das suas principais aplicações em diversos ramos da indústria eletrônica, farmacêutica, meio ambiente e energias renováveis, dentre outros.

Também foram tratados os riscos que os nanomateriais geram para a saúde e para o meio ambiente, trazendo discussões e estudos sobre as principais vias de contaminação, a sua deposição e translocação pelo organismo de acordo com o tamanho da partícula.

Por fim, discorreu-se sobre a inclusão de 12 nanomateriais no Anexo II do Regulamento (CE) n.º 1223/2009 da União Europeia, proibidos de serem utilizados na composição de cosméticos, além dos impactos dos nanomateriais no meio ambiente e, em conclusão, foram apresentados os principais conceitos e concepções sobre prospecção tecnológica, uma ferramenta importante de inovação tanto para o meio empresarial quanto o acadêmico.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos metodológicos, as estratégias e as técnicas adotadas para o desenvolvimento desta pesquisa, visando se obter uma maior compreensão das etapas que foram seguidas para a realização da prospecção.

O estudo foi realizado a partir de uma pesquisa exploratória com abordagem quali-quantitativa, utilizando a pesquisa bibliográfica, documental e patentária para a coleta de dados, além da análise e síntese de conteúdo.

As pesquisas exploratórias, conforme Andrade (2010), possibilita ao pesquisador obter mais informações sobre o assunto a ser tratado, favorecendo a delimitação do tema, estabelecendo os objetivos ou ajudando na elaboração das hipóteses de uma pesquisa, podendo, até mesmo, dar um novo enfoque ao estudo.

Quanto a abordagem quali-quantitativa, Malhotra (2019) descreve que tanto a abordagem qualitativa quanto a quantitativa são complementares, já que a primeira pode ser usada também para explicar os resultados obtidos pela pesquisa quantitativa.

No que concerne à coleta de dados, a pesquisa bibliográfica, segundo Lakatos e Marconi (2017, p. 216), coloca o “pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto [...]”.

Gil (2019) ainda complementa, afirmando que a principal vantagem desse tipo de pesquisa reside no fato de permitir, ao investigador, a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que ele poderia pesquisar diretamente.

Já a pesquisa documental se assemelha bastante à pesquisa bibliográfica quanto ao desenvolvimento da pesquisa, só diferindo da natureza da fonte pesquisada. De acordo com Gil (2019), enquanto a pesquisa bibliográfica busca contribuições sobre um determinado assunto por meio de vários autores, a pesquisa documental se fundamenta em materiais que não receberam um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados conforme objeto do estudo.

Ainda segundo o autor, a pesquisa documental apresenta diversas vantagens, dentre as quais o baixo custo, quando comparada a outros tipos de pesquisas, não exigir contato com o sujeito da pesquisa, além de ser uma fonte rica e consistente de informações, sendo considerada a mais importante fonte de dados em pesquisas de natureza histórica.

## 5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A coleta de dados ocorreu a partir de consultas em artigos científicos nacionais e internacionais, normas técnicas, teses e dissertações em busca de registros que abordassem, em seu contexto, o tema de estudo.

Essa fundamentação teórica foi importante para o desenvolvimento e sustentação dessa pesquisa. A prospecção foi realizada na base de dados da plataforma *Web of Science* – Coleção Principal e da *Scopus*, utilizando-se, para tal fim, estratégia de busca por palavras-chave, operadores booleanos e truncamento, dentre outras.

Essas duas plataformas caracterizam-se por possuírem um banco de dados amplo, com material de literatura acadêmica (artigos, teses, publicações de anais, dentre outros) publicada em todo o mundo.

A coleta nessas bases de dados foi realizada no período de janeiro a setembro de 2022, com o recorte temporal dos registros para o período entre 2001 e 2021, quando se iniciaram as discussões e pesquisas sobre os riscos gerados pelos nanomateriais à saúde e ao meio ambiente.

Assim, iniciaram-se as pesquisas bibliográficas nas duas bases de dados, em seus campos título e resumo, com o intuito de definir qual delas traria os maiores resultados quantitativos para as estratégias de buscas estabelecidas na Tabela 1.

Desse modo, foi utilizada a estratégia de busca n.º 1, apresentado na Tabela 1, com truncamento à direita para as palavras-chave escritas em língua inglesa: “*risk\**” AND “*occupat\**” AND “*nano\**”, a procura de registros tratando do risco ocupacional ao trabalhador gerado pelos nanomateriais.

Na estratégia de busca n.º 2 (Tabela 1), desta vez buscando recuperar documentos acerca da remoção e remediação dos nanomateriais no meio ambiente, foram usadas as palavras-chave escrita na língua inglesa: “*nano\**” AND “*remediat\**” AND “*enviro\**”.

Por fim, com o intuito de trazer outros documentos referentes à remoção dos nanomateriais em diversas situações, como, por exemplo, em organismos humanos, foi realizada uma pesquisa exata do termo escrito em língua inglesa: “*remov\* of nano\**”, conforme está detalhada na estratégia de busca n.º 3 (Tabela 1).

TABELA 1 - Estratégias de busca e quantidades de trabalhos identificados na *Web of Science* – Coleção Principal e *Scopus*, com recorte temporal de 2001 a 2021

ESTRATÉGIAS DE BUSCA		WEB OF SCIENCE		SCOPUS	
Nº	Palavras-chave	Título	Resumo	Título	Resumo
1	<i>risk* AND occupat* AND nano*</i>	44	489	55	668
2	<i>remediat* AND nano* AND enviro*</i>	364	4496	405	5268
3	<i>"remov* of nano**"</i>	56	147	68	179

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da *Web of Science* – Coleção Principal e *Scopus* (2022)

Após a realização da triagem, procedeu-se uma análise comparativa do quantitativo de documentos recuperados pelas duas bases de dados. Observou-se que a *Scopus*, além de apresentar os mesmos documentos que foram recuperados pela *Web of Science*, trouxe outros documentos pertinentes ao tema, para todas as estratégias de buscas apresentadas na Tabela 1.

Isso também ficou evidenciado em um estudo realizado por Singh *et al.* (2021), onde constataram que a *Scopus* indexa 66,07% mais periódicos exclusivos quando comparados com a *Web of Science*, abrangendo em sua maior parte a área de Ciências da Vida, Ciências Físicas e Tecnologia. Nessa base de dados estão presentes as principais editoras, dentre as quais a *Emerald*, *Elsevier*, *Taylor & Francis*, *Interscience*, *Informa* e *Springer* (FAHIMNIA; SARKIS; DAVARZANI, 2015).

Portanto, baseado nos dados coletados nas três estratégias de buscas, a prospecção bibliográfica foi realizada na plataforma de base de dados *Scopus* e os seus resultados fundamentaram o referencial teórico deste trabalho.

## 5.2 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM PATENTES

Para a prospecção patentária, realizaram-se buscas, avaliações e triagem de patentes na base de dados de patentes da plataforma do *Orbit Intelligence*<sup>25</sup> e do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

As buscas foram iniciadas na base de dados de patentes do *Orbit Intelligence*

<sup>25</sup> Plataforma privada para a realização de buscas e análises em escala global sobre patentes, com informações bibliográficas a partir de 1827. Comercializada pela empresa Questel Co.

por apresentar, em seu banco de dados, uma qualidade e quantidade significativa de patentes de escritórios de diversas nações e regiões, além da sua plataforma aceitar buscas utilizando diversos conectores e operadores de truncamento, bem como vários recursos importantes que facilitam o desenvolvimento da pesquisa e análise de patentes (PIRES; RIBEIRO; QUINTELLA, 2020).

Optou-se, também, pela pesquisa na base de dados de patentes do INPI por ser tratar de um escritório nacional para depósitos de patentes no Brasil e uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Economia, responsável pelo aperfeiçoamento, disseminação e gestão do sistema brasileiro de concessão e garantia de direitos de propriedade intelectual para a indústria (INPI, 2021).

Ao contrário do *Orbit Intelligence*, a plataforma de busca de dados do INPI é gratuita, porém apresenta limitações para o processo de pesquisa, como a disponibilidade de poucos operadores booleanos a serem utilizados no campo de busca, pesquisa restrita à língua portuguesa, sem recursos para exportação e manuseio de dados.

As pesquisas exploratórias, nessas duas bases de dados de patentes (*Orbit* e INPI), foram realizadas com um foco analítico sobre o tema proposto com o propósito de se obter uma avaliação mais profunda das informações coletadas sobre o estudo, observacional ou experimental, tentando compreender o contexto onde o fenômeno está inserido (FONTELLES *et al.*, 2009).

Então, entre os meses de março e setembro de 2022 foi realizada a coleta dos dados sobre famílias de patentes<sup>26</sup> para uma temporalidade de pesquisa fixada entre os anos de 2001 e 2021.

### **5.2.1 Prospecção tecnológica em patentes no *Orbit Intelligence***

No *Orbit*, com o intuito de recuperar tecnologias inovadoras que tratassem da remoção de diversos nanomateriais, dentre eles as nanopartículas e os nanotubos, foi realizada uma consulta por pesquisa avançada (*advanced search*), tendo como

---

<sup>26</sup> Família de patente é um conjunto de pedidos de patentes depositadas e de patentes concedidas em mais de um país, referentes a uma mesma invenção, solicitado pelo mesmo depositante. Caso o mesmo invento seja depositado no Brasil e em outros países, este grupo de pedidos/patentes irá compor uma “família de patentes”.

estratégia o uso do conector de proximidade “W”<sup>27</sup> e do operador booleano “OR” entre as palavras-chave.

Inicialmente, foi construída a sintaxe com os termos: “(*remov\* OR separat\**) 1W (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanoplate\* OR nanofib\* OR nanotube\* OR nanowire\* OR nanofoil\**)”, porém mostraram-se inadequados, pois muitos documentos recuperados não estavam relacionados ao objeto da busca.

Desse modo, após algumas experimentações e aprimoramentos dessas palavras-chave, definiram-se como sintaxe os termos escritos em língua inglesa: “*remov\* 1W (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*)*”, com truncamento à direita para buscas nos campos de título e resumo dos documentos de patente, agrupando-os por famílias.

Em outra busca por dados, a procura de famílias de patentes que trouxesse no seu título e resumo a possibilidade da desintoxicação ou remoção dos nanomateriais ao nível celular e orgânica do corpo humano, definiu-se como estratégia a utilização da sintaxe: (*remov\* OR detox\**) 1W (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**) AND (*cell\* OR body\**), em inglês, com truncamento à direita.

Em busca de métodos inovadores capazes de prevenir a contaminação pela toxicidade de alguns nanomateriais, definiram-se as palavras-chave: “(*risk\* OR hazard\**) AND (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**)”, em inglês, com truncamento à direita para os campos título e resumo, e “(*prevent\* OR toxic\**)”, também em inglês, com truncamento à direita, apenas no campo título.

Os dados relativos às tecnologias inventivas (patentes), oriundas destas buscas, encontram-se listados nos Apêndices A – Tecnologias disponíveis para a remoção de nanomateriais (20 patentes) e B – Tecnologias disponíveis destinadas prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais no organismo (12 patentes).

## **5.2.2 Prospecção tecnológica em patentes na plataforma do INPI**

Para as buscas realizadas na plataforma do INPI, utilizou-se a consulta por pesquisa avançada, tendo como estratégia de busca as palavras-chave, nos campos título e resumo, com termos em português: “*remov\* AND nano\**”, com truncamento à direita, no intuito de recuperar inovações tecnológicas concernente à remoção de

---

<sup>27</sup> Conector de proximidade “W” é utilizado para pesquisar os termos de busca na ordem em que foram digitados, de zero a “n” palavras de distância (“n” variando de 1 a 99).

nanomateriais.

Em outra busca, mas desta vez à procura de patentes que tratassem em seu título o tema remoção dos nanomateriais ao nível celular do organismo, mantiveram-se as mesmas palavras-chave da estratégia da busca anterior, acrescentando apenas o termo: “celul\*”, juntamente com o operador booleano AND, passando a sintaxe de busca a ser escrita da seguinte forma: “remov\* AND nano\* AND celul\*”.

### **5.2.3 Análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT)**

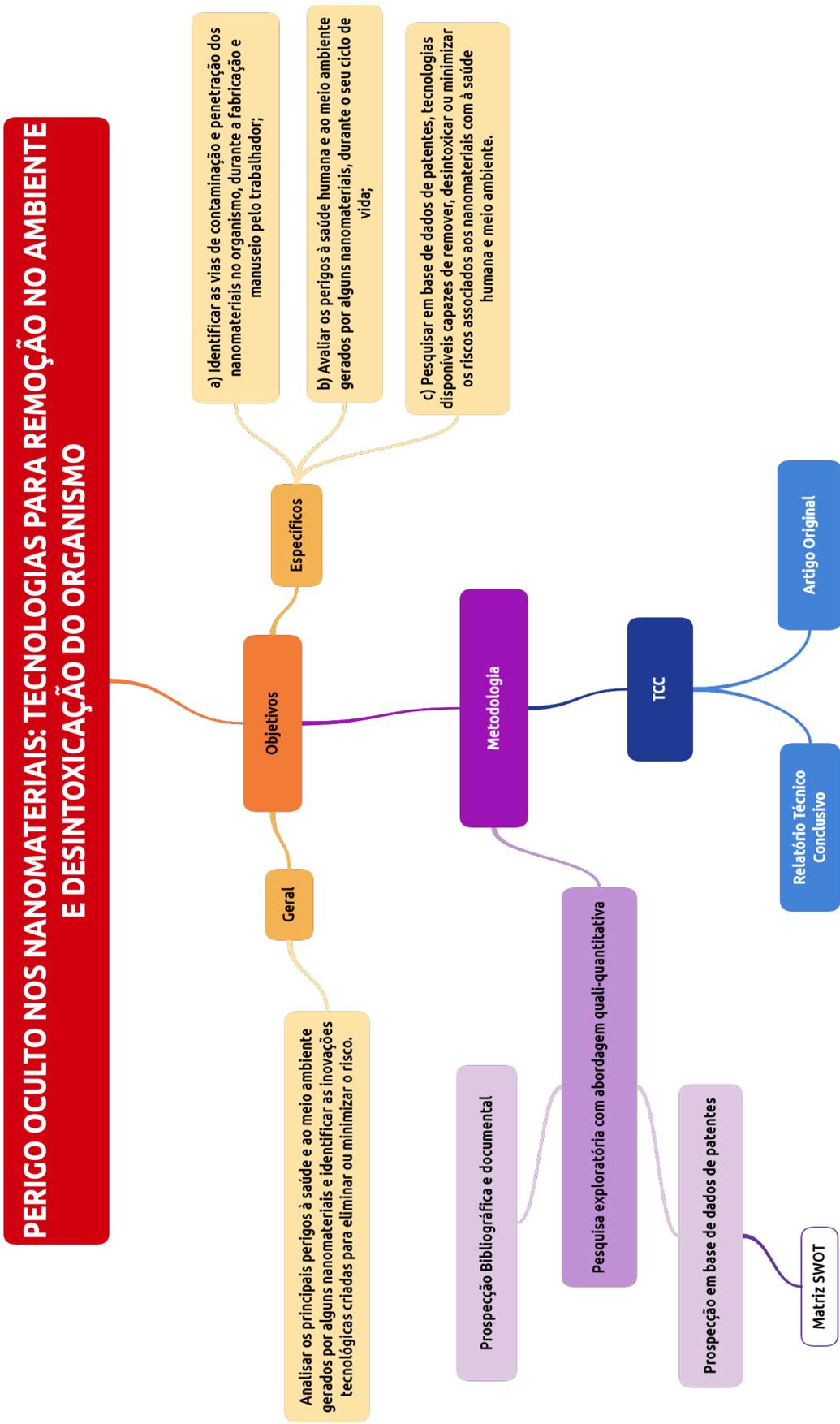
A análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT, do inglês: *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threat*) é uma ferramenta estratégica desenvolvida, na década de 70, por Kenneth Andrews e Roland Christensen que objetivavam estudar a competitividade de uma organização (BROWN EPSTEIN, 2022). Atualmente pode ser utilizada para análise estratégica tanto no meio empresarial quanto em estudo de viabilidade para algum negócio, ou empregadas em outras áreas do cotidiano (LOBATO *et al.*, 2014).

A análise SWOT tem a função de cruzar as oportunidades e ameaças externas à organização com seus pontos fortes e fracos, dando aos gestores uma percepção maior da organização, cujo diagnóstico direcione para futuras tomadas de ações e decisões (CHIAVENATO; SAPIRO, 2020).

A partir desse entendimento, foi utilizada a análise SWOT para identificar quais fatores, internos e externos, podem influenciar no desenvolvimento das tecnologias para remoção de nanomateriais ou a sua desintoxicação do organismo, cujas conclusões estão no sexto capítulo – Resultados e Discussões.

A fim de ilustrar visualmente a organização dos elementos que fundamentam esta pesquisa, juntamente com as inter-relações (requisitos para a construção da Metodologia), foi elaborado o diagrama (mapa mental) que consta na Figura 4.

FIGURA 4 - Mapa mental com os elementos fundamentais para a construção da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, têm-se os resultados para as estratégias de busca, detalhadas na Metodologia, seguidas da apresentação dos registros encontrados.

### 6.1 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM PATENTES

Nesta seção, apresentam-se os resultados das pesquisas realizadas na base de dados de patentes do *Orbit Intelligence* e do INPI, a partir das estratégias de buscas detalhadas na Metodologia, com o quantitativo de famílias de patentes encontradas e associadas às palavras-chave (Quadro 4).

QUADRO 4 - Estratégias de busca e quantidade de famílias de patentes identificadas, para recorte temporal de 2001 a 2021

ESTRATÉGIAS DE BUSCA		
ORBIT		
Palavras-chave no título e resumo ou apenas no título	Linha de comando/Sintaxe	Número de registros
a) <i>remov* 1W (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*)</i>	<i>((remov+ 1W (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+))/TI/AB AND EAPD=2001-01-01:2021-12-31</i>	136
b) <i>(remov* OR detox*) 1W (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*) AND (cell* OR body*)</i>	<i>((remov+ OR detox+) 1W (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+)) AND (cell+ OR body+)/TI/AB AND EAPD=2001-01-01:2021-12-31</i>	23
c) <i>(risk* OR hazard*) AND (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*) AND (prevent* or toxic*)</i>	<i>((risk+ OR hazard+) AND (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+)/TI/AB AND (prevent+ OR toxic+)/TI) AND (EAPD = 2001-01-01:2021-12-31)</i>	57
INPI		
Palavras-chave no título e resumo ou apenas no título	Objetivo	Número de registros
d) "remov* AND nano*"	Recuperar inovações tecnológicas que tratem da remoção de nanomateriais.	21
e) <i>remov* AND nano* AND celul*</i>	Remoção dos nanomateriais ao nível celular do organismo.	03

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* e INPI (2022)

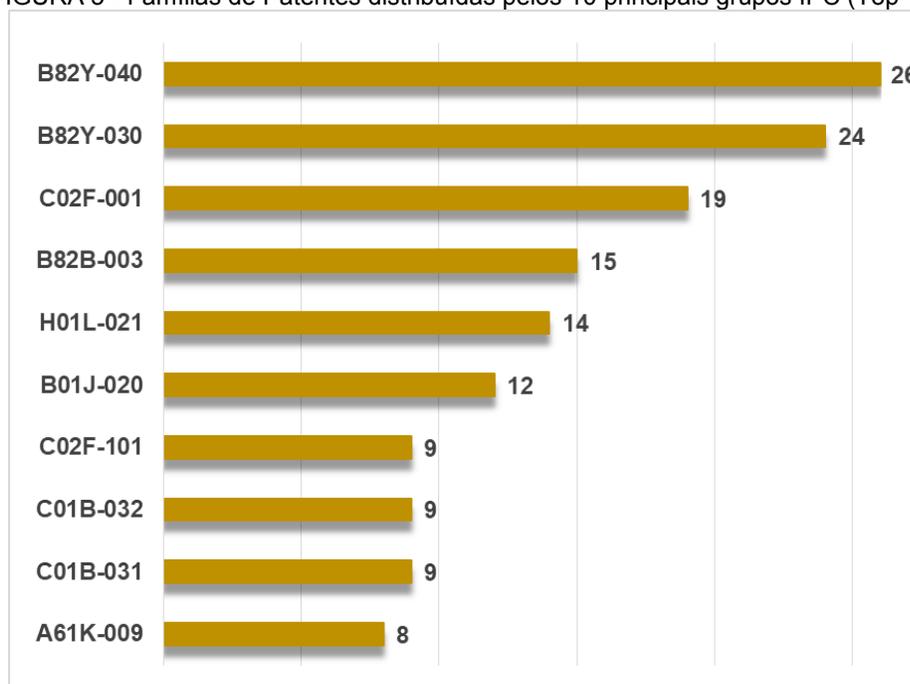
#### 6.1.1 Resultados encontrados no *Orbit Intelligence*

Realizando as buscas no *Orbit Intelligence*, utilizando simultaneamente as

palavras-chave “*remov\* 1W (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*)*” (estratégia “a” do Quadro 4) nos campos título e resumo, e delimitando os dados para o período entre 2001 e 2021, foram encontradas 136 famílias de patentes.

A Figura 5 mostra essas famílias de patentes reunidas em grupos de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC, do inglês: *International Patent Classification*).

FIGURA 5 - Famílias de Patentes distribuídas pelos 10 principais grupos IPC (Top 10)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* (2022)

Analisando a Figura 5, que mostra a quantidade de famílias de patentes distribuídas de acordo com o campo de aplicação determinado pelo grupo IPC, destacaram-se nas duas primeiras posições os códigos correspondentes à subclasse B82Y, devido à própria sintaxe de busca empregada nesta prospecção.

Dessa subclasse, que trata de inventos destinados a “usos específicos ou aplicações de nanoestruturas<sup>28</sup>; medidas ou análises de nanoestruturas; fabricação ou tratamento de nanoestruturas”, foram recuperadas 26 famílias de patentes relacionadas à “fabricação ou tratamento de nanoestruturas” (B82Y-040) e 24 famílias

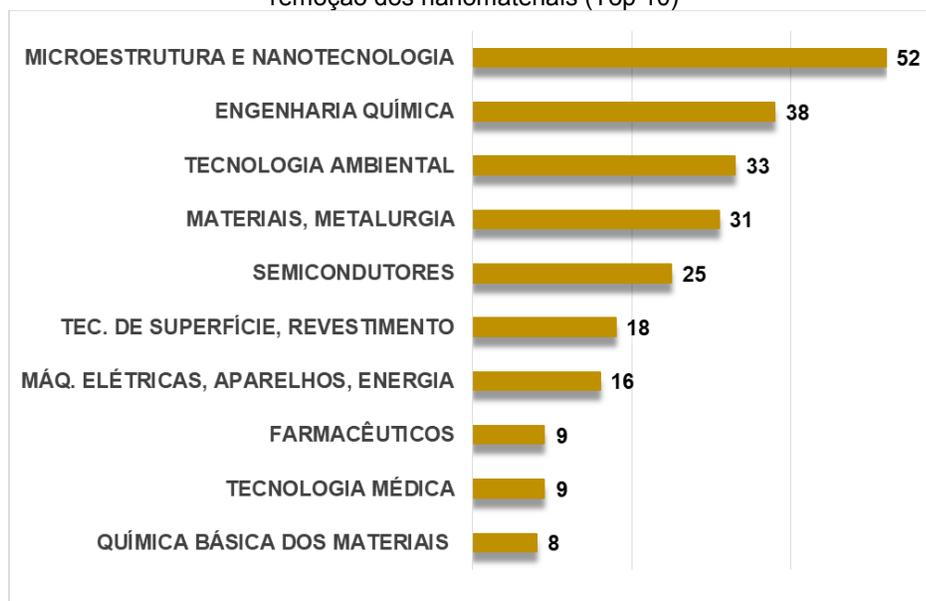
<sup>28</sup> A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) entende nanoestruturas como uma entidade com pelo menos um componente funcional em tamanho nanométrico capaz de produzir propriedades físicas, químicas ou biológicas e, até mesmo, efeitos disponíveis, que são unicamente atribuídos à escala nanométrica.

de patentes associadas a aplicações em “nanotecnologia para ciência de materiais ou de superfícies, por exemplo: nanocompósitos” (B82Y-030).

Na terceira posição, tem-se o grupo C02F-001 que, de modo geral, traz os inventos que tratam da remoção dos nanomateriais do ambiente (relacionados ao tema proposto), com 19 famílias de patentes associadas ao “tratamento de água, águas residuais ou esgoto”. Essas famílias de patentes integram as tecnologias que pertencem ao domínio tecnológico: Tecnologia Ambiental<sup>29</sup>, ou seja, inventos relacionados a questões ambientais.

A Figura 6 ilustra os dez principais domínios tecnológicos onde mais se concentraram as 136 famílias de patentes.

FIGURA 6 - *Orbit Intelligence* – Áreas tecnológicas de maior concentração das tecnologias relativas à remoção dos nanomateriais (Top 10)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* (2022)

Da Figura 6 infere-se que, das 136 famílias de patentes recuperadas, 38,2% (52 famílias) são inventos relacionados à área de “Microestrutura e Nanotecnologia”, 27,9% (38 famílias) ao campo de “Engenharia Química” e 24,2% (33 famílias) associados à “Tecnologia Ambiental”. Além desses segmentos tecnológicos, também cabe citar as Tecnologias Farmacêuticas que, embora respondam por apenas 6,6% (9 famílias), possuem inventos relacionados ao tema pesquisado.

<sup>29</sup> Existem 35 domínios tecnológicos baseados nas classes e subclasses da IPC e estão distribuídos entre as áreas de Química, Engenharia Elétrica, Instrumentos, Engenharia Mecânica e Outros.

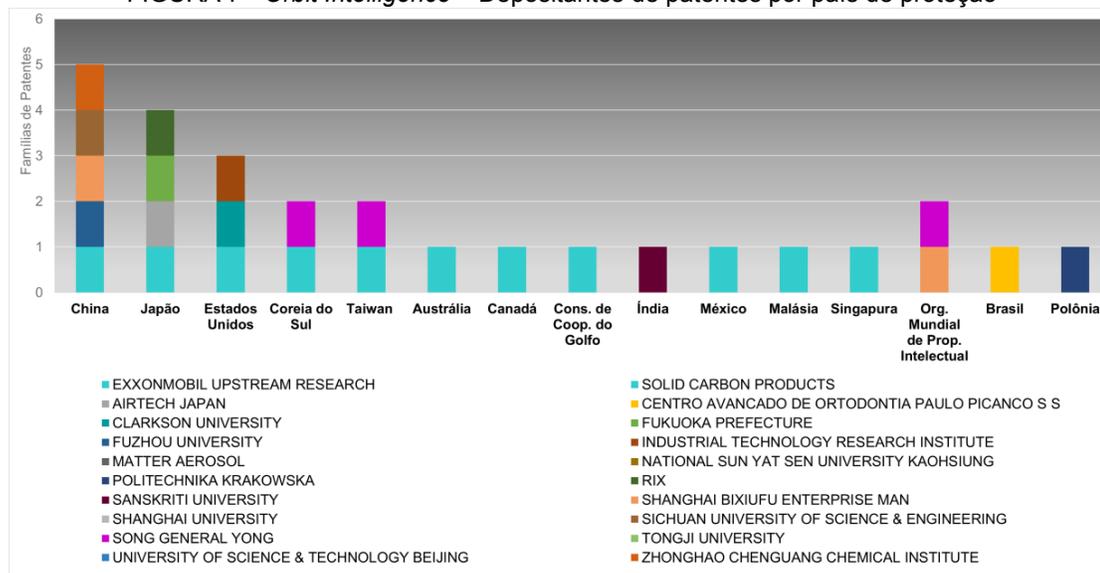
Com esse entendimento, refinou-se a pesquisa em busca de dados das famílias de patentes relacionadas ao tema proposto, adicionando à sintaxe de busca a classificação por segmento ou domínio tecnológico: Tecnologia Ambiental e Farmacêuticos, pois é onde se encontram as tecnologias procuradas. Desse refinamento, foram recuperadas 42 famílias de patentes, que, após análise e eliminação das que não estavam relacionadas ao tema, resultou em 20 famílias, dispostas no Apêndice A.

Analisando a condição legal dessas 20 famílias de patentes, que é um indicativo do envolvimento com a proteção e um demonstrativo dos inventos tecnológicos que estão disponíveis para exploração e livres de litígios judiciais, até a data deste estudo, em 2022, observou-se que 70% das famílias de patentes estão ativas, e 30% se encontram inativas, ou seja, em domínio público.

Das famílias de patentes ativas, 45% foram concedidas e 25% estão pendentes, enquanto nas famílias de patentes inativas 15% foram revogadas, 5% estão expiradas e 10% caducadas.

No que diz respeito à origem dos depositantes de patentes, observou-se que se trata de dez universidades, seis empresas, três institutos de pesquisa e uma instituição governamental, conforme mostra a Figura 7, que lista os 20 depositantes e os países (alguns organizados por grupos de países), onde foi pedida a proteção.

FIGURA 7 - *Orbit Intelligence* – Depositantes de patentes por país de proteção



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* (2022)

Dentre os depositantes, destacam-se duas empresas estadunidenses, a *Company Exxonmobil Upstream Research*<sup>30</sup>, que juntamente com a empresa de pesquisa *Solid Carbon Products*, solicitaram um pedido de proteção para a patente n.º EP2828212 (DENTON *et al.*, 2015a) referente a um método para remover nanotubos de carbono de um sistema de água, cuja patente está concedida. Outro pedido de proteção de patente, a de n.º EP2838840 (DENTON *et al.*, 2015b), também solicitado por essas empresas, consiste na remoção de nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo, gerando um fluxo de resíduos contendo componentes gasosos.

Analisando os demais documentos, percebe-se algumas tecnologias que podem ser utilizadas para o controle da poluição da água e do ar. Dentre elas, destaca-se um invento depositado pela *Clarkson University*, localizada nos Estados Unidos, cuja patente n.º US10179732 (ANDREESCU; OTHMAN, 2019) está protegida nos Estados Unidos e trata-se de um dispositivo, método e sistema para captura, rastreamento e/ou detecção de nanopartículas.

Essa tecnologia busca contribuir para o desenvolvimento de dispositivo, método e sistema, tendo os ligantes multifuncionais (catecol e ácido ascórbico) como receptores para coletar, quantificar a concentração e distribuição de tamanho de nanopartículas em tempo real, contribuindo para avaliar os seus efeitos em estudos ambientais, clínicos, epidemiológicos e de exposição ocupacional.

Outra tecnologia, desenvolvida no Brasil pelo Centro Avançado de Ortodontia Paulo Picanço, cujo pedido de patente n.º BR102020023752 (ALVES; FEITOSA, 2022) está em análise neste país, é um instrumento odontológico para atração/remoção de nanopartículas magnéticas presentes nos materiais dentários.

Ainda analisando a Figura 7, que, além de mostrar os depositantes das famílias de patentes, também ilustra os países que mais receberam pedido de proteção de tecnologias relacionadas à remoção de nanomateriais, percebe-se que as 20 famílias de patentes estão protegidas em 13 países, além do Conselho de Cooperação do Golfo<sup>31</sup> e da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI).

A *Company Exxonmobil Upstream Research* e a sua parceira *Solid Carbon*

---

<sup>30</sup> A *ExxonMobil* foi a primeira companhia de óleo e gás a se estabelecer no Brasil. Atualmente é uma das maiores fornecedoras de energia e fabricante de produtos químicos de capital aberto do mundo, se destacando na exploração de petróleo e gás natural.

<sup>31</sup> É uma organização de integração econômica que reúne seis estados do Golfo Pérsico: Omã, Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Catar, Bahrein e Kuwait.

*Products* foram as empresas que mais pediram proteção em diversos países para os seus dois inventos. A patente n.º EP2828212 (DENTON *et al.*, 2015a) está protegida na China, Estados Unidos, Coreia do Sul, Canadá, Conselho de Cooperação do Golfo, México, Malásia e Singapura, enquanto que a patente n.º EP2838840 (DENTON *et al.*, 2015b), está protegida na China, Estados Unidos, Coreia do Sul, Taiwan, Austrália, Canadá, Conselho de Cooperação do Golfo, México, Malásia e Singapura

De acordo com as estratégias de busca, o país que mais recebeu pedidos para proteção patentária foi a China, com 5 pedidos de proteção para 5 invenções, seguida pelo Japão, com 4 invenções, e Estados Unidos, com 3 invenções.

Na China, dos pedidos solicitados, dois são oriundos de universidades chinesas, destacando-se a *Fuzhou University*, com a patente n.º CN110215905 (YOU; XU; DING, 2019), que traz um adsorvente magnético para remoção de nanopartículas de prata. Essa universidade chinesa possui em seu portfólio 13 983 tecnologias patenteadas e apresentou uma alta tendência de investimento em tecnologia nos últimos 20 anos, principalmente entre os anos de 2011 e 2018, focadas principalmente na área de Medição; Engenharia Química; Máquinas Elétricas, Aparelhos e Energia; e Tecnologia para Computação.

No Japão, das quatro invenções com proteção solicitada, duas tratam da poluição do ar. A primeira tecnologia foi depositada pela empresa *RIX Corporation*, juntamente com a prefeitura de Fukuoka (JP2015100716) (KIYOTAKA; SHUZENJI, 2015), e trata-se de um dispositivo (método) para remoção de poeira contendo nanopartículas. O segundo invento, depositado pela empresa *Airtech Japan* (JP5039937) (KOSUKE; HIROSHI, 2012), refere-se a um dispositivo de exaustão para bancada, dotado de um filtro para remoção de nanopartículas e outras partículas nocivas que, ao passarem por um filtro especial, ficam retidas.

Já nos Estados Unidos, entre os depositantes de patentes, destaca-se o *Industrial Technology Research Institute*, sediado em Taiwan e que possui, em seu acervo, 21 924 invenções com patente solicitada. Esse instituto de pesquisa solicitou proteção para a sua invenção n.º US6969420 (CHIEN; HSU; TSAI, 2005) que é um método de coleta de nanopartículas usando um ciclone, prometendo eficiência na remoção das partículas ultrafinas que são liberadas da tubulação da indústria, evitando, assim, a sua dispersão no ambiente externo.

O Quadro 5 mostra um resumo das 20 patentes analisadas.

QUADRO 5 - *Orbit Intelligence* – Pedidos de patentes relacionados à remoção dos nanomateriais

Item	N.º Depósito	Título da invenção	Aplicação
01	EP2828212	Remoção de nanotubos de carbono de um sistema de água.	Tratamento de água
02	EP2838840	Remoção de nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo.	Tratamento de água
03	PL236027B1	Método para remoção de nanopartículas de íons de prata ou prata em soluções aquosas, e obtenção de nanocompósito com nanopartículas de prata.	Tratamento de água
04	IN201911027383	Método e sistema para remoção de nanopartículas da água.	Tratamento de água
05	CN106006874	Novo método para remover nanopartículas em água.	Tratamento de água
06	CN102826687	Método para remoção de nanopartículas em corpo d'água.	Tratamento de água
07	CN101885527	Método para purificar corpo d'água poluído por nanotubos de carbono.	Tratamento de água
08	TWI229656	Método e aparelho para remoção de nanopartículas e gotículas de emulsão de soluções aquosas por eletrocoagulação e eletrofiltração simultâneas.	Tratamento de água
09	CN110215905	Adsorvente magnético para remoção de nanopartículas de prata e método de preparação de adsorvente magnético.	Tratamento de água
10	IN202011014053	Dispositivo de filtragem de água de fluxo cruzado.	Tratamento de água
11	WO2022169194	Filtro/coletor de pó de despoejamento intensivo capaz de remover pó fino de nanopartículas.	Poluição do ar
12	WO2020216370	Dispositivo e método de tratamento de gases VOC ( <i>Volatile Organic Compound</i> ).	Poluição do ar
13	JP5039937	Aparelho de exaustão.	Poluição do ar
14	GB2573124	Sistema de exaustão de emissão quase zero.	Poluição do ar

Item	N.º Depósito	Título da invenção	Aplicação
15	EP2049228	Aparelho de filtro de nanopartículas para ar ambiente.	Poluição do ar
16	CN108245995	Método para remover eficientemente nanopartículas de material à base de silício mesoporoso ordenado.	Poluição do ar
17	JP2015100716	Coletor de poeira e método de remoção de poeira.	Poluição do ar
18	US6969420	Método de coleta de nanopartículas usando um ciclone e método de projeto do ciclone.	Poluição do ar
19	BR102020023752	Instrumento para atração/remoção de nanopartículas magnéticas na odontologia.	Odontologia
20	US10179732	Plataforma funcional para captura e remoção rápida de nanopartículas.	Avaliação, medição e controle ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* (2022)

No que diz respeito às aplicações dessas 20 patentes, elencadas no Quadro 5, observa-se que dez estão relacionadas ao tratamento de água, oito à poluição do ar, uma à área de odontologia e uma que pode ser aplicada para várias situações como, por exemplo, em avaliação, medição e controle ambiental. Dessa lista de patentes, já foram discutidos os documentos n.º EP2828212 (DENTON *et al.*, 2015a), EP2838840 (DENTON *et al.*, 2015b), US10179732 (ANDREESCU; OTHMAN, 2019), BR102020023752 (ALVES; FEITOSA, 2022), JP2015100716 (KIYOTAKA; SHUZENJI, 2015), JP5039937 (KOSUKE; HIROSHI, 2012) e US6969420 (CHIEN; HSU; TSAI, 2005).

Analisando as invenções relacionadas ao tratamento de água, a tecnologia n.º PL236027B1 (BANACH *et al.*, 2020) traz um método para remoção de nanopartículas metálicas, em especial íons de prata ou prata em soluções aquosas<sup>32</sup>. Realizado em um sistema dinâmico ou estático, a solução contendo nanopartículas de prata é misturada com calcário dolomítico moído ou, então, é filtrada através de um leito de sorção contendo calcário dolomítico, onde as nanopartículas ficam retidas. Esse método, de acordo com a descrição da invenção, permite a remoção de nanopartículas de prata ainda na fase inicial

<sup>32</sup> O termo "solução aquosa" também inclui uma suspensão ou esgoto contendo nanopartículas metálicas ou íons de prata.

de tratamento de águas residuais, reduzindo o seu impacto nos lodos ativados da estação de tratamento.

Outro invento é descrito no pedido de patente n.º IN201911027383 (TROPITA, 2021), como um sistema e método para remoção de nanopartículas da água utilizando uma coluna de carvão ativado. O processo consiste na adsorção e difusão das nanopartículas quando a água contaminada é bombeada, em direção ascendente, para dentro da coluna de carvão ativado. Após passar pelo carvão ativado, a água é bombeada para fora do referido leito de coluna.

O pedido de patente n.º CN106006874 (ZOU *et al.*, 2016) trata-se de um método para remoção de nanopartículas em água de estação de tratamento, onde é utilizada uma nanopartícula magnética para capturar uma outra nanopartícula (alvo). Para isso, se adiciona outra nanopartícula de forma colóide mista, com propriedade elétrica e ferromagnetismo opostas, utilizando o efeito de adsorção mútua; em seguida, por meio de um campo magnético forte, são removidas as nanopartículas magnéticas juntamente com as nanopartículas que foram adsorvidas eletrostaticamente.

No pedido de patente n.º CN102826687 (WANG *et al.*, 2012), o método para remoção de nanopartículas em corpo d'água ocorre com a adição de um coagulante de sulfato poliférrico no corpo d'água contendo as nanopartículas. As nanopartículas são removidas através de fases de agitação, agitação lenta e precipitação.

Outro método para purificar corpo d'água, mas dessa vez poluído por nanotubos de carbono (nanofibras), é apresentado no pedido de patente n.º CN101885527 (HAIFANG *et al.*, 2010), que trata-se de um método para sedimentação, filtração e remoção, utilizando íons de cálcio. Esse invento consiste na adição de cloreto de cálcio na solução contendo nanotubos de carbono, onde eles se aglomeram e são removidos do corpo d'água por um método de filtração.

O pedido de patente n.º TWI229656 (YANG, 2005) tem o objetivo de fornecer um novo método e equipamento de tratamento de água para separar e remover, adequadamente, as nanopartículas e gotículas emulsificadas da solução aquosa através de eletrocoagulação e eletrofiltração simultâneas. Sob um campo elétrico externo, os referidos contaminantes na solução formam flocos no reservatório anódico. Esses flocos são submetidos à eletrofiltração de fluxo cruzado, usando um filtro adequado e, posteriormente, sendo tratados e reutilizados.

Outra tecnologia disponível refere-se ao pedido de patente n.º CN110215905

(YOU; XU; DING, 2019), que é um adsorvente magnético para remoção de nanopartículas de prata e um método de preparação do adsorvente magnético. O adsorvente magnético é rico em grupo amino, ficando com a sua superfície carregada positivamente, enquanto uma solução de nanopartículas de prata (AgNPs), em uma solução de estabilização com citrato de sódio, é carregada negativamente. A partir disso, o adsorvente e a AgNPs são adsorvidos por eletricidade estática e, mais adiante, separados por um campo magnético externo. Ainda sobre essa tecnologia, finalizado o processo, tanto o adsorvente magnético, que pode ser separado da solução, quanto à nanopartículas de prata, que foram adsorvidas, podem ser recicladas e reutilizadas, demonstrando que o adsorvente tem amplas perspectivas de aplicação para adsorção de metais nobres.

O pedido de patente n.º IN202011014053 (VALLABH, 2021) refere-se a um dispositivo de filtragem de água de fluxo cruzado para filtrar partículas/produtos químicos nocivos, partículas nanométricas, partículas suspensas e outros poluentes da água contaminada.

Quanto às invenções relacionadas à prevenção da poluição do ar, o pedido de patente n.º WO2022169194 (SONG, 2022) mostra um filtro/coletor de pó de despoeiramento intensivo capaz de remover o pó fino de nanopartículas. Esse método permite a retirada da poeira que está retida no filtro com o equipamento em funcionamento.

O pedido de patente n.º WO2020216370 (TANG *et al.*, 2020) está no campo do tratamento de gases de escapamento. Esse aparelho é constituído por um dispositivo ultravioleta (UV) e um dispositivo de campo elétrico. O gás formado por Compostos Orgânicos Voláteis (VOC, do inglês: *Volatile Organic Compound*) é submetido ao tratamento UV e ao campo elétrico, onde recebe o processo de despoeiramento.

Outro invento é descrito no pedido de patente n.º JP5039937 (KOSUKE; HIROSHI, 2012) que se referente a um dispositivo para remoção de nanopartículas e partículas nocivas utilizando, para esse fim, um aparelho de exaustão contendo um filtro HEPA.

O pedido de patente n.º GB2573124 (ALLAN, 2019) detalha um sistema de exaustão de emissão quase zero que produz carbonato de cálcio a partir de gases de exaustão de combustão. O método compreende as etapas de remoção do material particulado (nanoescala) e do dióxido de enxofre dos gases de exaustão; tratamento

dos gases de escape para remoção: monóxido de carbono, partículas e dióxido de enxofre.

O invento descrito no pedido de patente n.º EP2049228 (MAYER *et al.*, 2009) traz um sistema de filtro para a entrada de ar limpo dentro de um espaço fechado. É um dispositivo para filtrar material nanoparticulado abaixo de 300 nm, compreendendo, pelo menos, um meio filtrante contendo um material filtrante conjugado com um ventilador ou insuflador de ar.

O pedido de patente n.º CN108245995 (XING *et al.*, 2018) apresenta um método eficiente para a remoção de nanopartículas (entre 2-25 nm) utilizando um filtro constituído por um material ordenado à base de sílica mesoporosa (com tamanho de poros equivalente ao de uma nanopartícula), pertencente ao campo técnico de proteção ambiental.

Portanto, das tecnologias que foram apresentadas, foi possível encontrar um invento, cujo pedido de patente n.º US10179732 (ANDREESCU; OTHMAN, 2019) se mostra um importante instrumento na avaliação do risco ocupacional às nanopartículas, as quais os trabalhadores podem estar expostos durante o processo fabril, ao possibilitar a coleta, a quantificação da concentração e a distribuição de tamanho de nanopartículas em tempo real, comprovando uma preocupação crescente sobre as implicações dos nanomateriais engenheirados sobre a saúde, segurança e meio ambiente.

Desse modo, a partir dessa primeira estratégia de busca empregada no *Orbit*, foi possível comprovar a existência de tecnologias disponíveis para remoção de nanopartículas seja no ar, com o uso, por exemplo, de dispositivos de filtro e exaustão para a coleta, ou no ambiente aquático, com a utilização de sistema de tratamento.

Partindo para a outra estratégia de busca, utilizando a sintaxe: “(*remov\* OR detox\**) 1W (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**) AND (*cell\* OR body\**)” (estratégia “b” do Quadro 4), para pesquisa simultânea nos campos título e resumo, obteve-se 23 famílias de patentes.

Avaliando a distribuição dessas 23 famílias de patentes entre os grupos IPC, percebeu-se uma distribuição de modo uniforme, com os inventos mais relacionados aos códigos IPC A61K-009 e B82Y-030, com cinco famílias de patentes cada, e aos grupos A61K-047, B01J-020, B03C-001, B82Y-005, B82Y-040, C02F-001 e G01N-033, com três famílias de patentes cada.

Detalhando o campo de aplicação dessas tecnologias, de acordo com o grupo

IPC, observaram-se algumas tecnologias envolvendo dispositivos ou métodos com “finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas” (A61K), com destaque para cinco famílias de patentes relacionadas a “preparações medicinais caracterizadas por formas físicas especiais” (A61K-009).

Outro grupo relacionado a cinco famílias de patentes foi o de inventos para “usos específicos ou aplicações de nanoestruturas; medidas ou análises de nanoestruturas; fabricação ou tratamento de nanoestruturas” (B82Y), voltados especificamente para inventos advindos de uma “nanotecnologia para ciência de materiais ou de superfícies, por exemplo: nanocompósitos” (B82Y-030). Esse grupo, além de tratar de tecnologias decorrentes da manipulação de átomos ou moléculas individuais, também se refere a nanoestruturas produzidas por qualquer outro método.

Quanto aos sete grupos IPC, que também foram listados entre os resultados da busca, com três famílias de patentes para cada, observou-se uma predominância de tecnologias pertencentes à seção B voltadas para a “separação; mistura” (B01J-020 e B03C-001), e para a “tecnologia das microestruturas; nanotecnologia” (B82Y-005 e B82Y-040), nos quais porventura possam estar categorizadas as tecnologias objeto dessa pesquisa.

Após análise dos documentos, em especial aos dos grupos B82Y-005 e B82Y-040, percebeu-se que nenhum deles estava associado diretamente ao tema da busca: “remoção dos nanomateriais ou a desintoxicação ao nível celular e orgânica do corpo humano”, porém, a partir da leitura da descrição de alguns inventos e da compreensão dos seus mecanismos de funcionamento, vislumbra-se a possibilidade do desenvolvimento de tecnologias capazes de remover ou desintoxicar um nanomaterial do organismo.

Exemplos dessas tecnologias são inventos que trazem métodos, sistemas e dispositivos que introduzem nanopartículas superparamagnéticas no fluido biológico, com o intuito de capturar e remover um alvo, que pode ser um vírus, uma célula ou outro patógeno. No entanto, para o caso em questão, essa tecnologia, a ser desenvolvida, promoveria a remoção de uma outra nanopartícula (KIM, HAK-SUNG; MIN, HYE GEUN; CHO, SUNG-MIN, 2014; KOCIFAJ; MEGO, 2015; ZHANG *et al.*, 2009; ZHONGPING, 2019).

Em nova estratégia de busca, definiram-se as palavras-chave: “(*risk\* OR hazard\**) AND (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**)” no campo título e resumo, e “(*prevent\* OR toxic\**)” apenas no campo título (estratégia “c” do Quadro 4), sendo

recuperadas 57 famílias de patentes. Após análise desses documentos e a eliminação dos indesejados, ou seja, dos que não estavam relacionados ao tema da busca, foram selecionadas 12 famílias de patentes (Apêndice B).

Examinando a distribuição dessas 12 famílias de patentes pelas subclasses IPC, identificou-se a sua prevalência nas subclasses IPC: G01N, A61K e C12Q com predominância de tecnologias voltadas à área de “investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas” (G01N), com nove famílias de patentes. Dentre essas famílias de patentes, se destacaram algumas técnicas relacionadas à “investigação ou análise de materiais por métodos específicos” (G01N-033) como, por exemplo, o método para as avaliações de toxicidade de nanomateriais usando citometria de fluxo (YOON *et al.*, 2014) e o método rápido para determinação da toxicidade de nanomateriais em soluções *in vitro* usando espermatozoides bovinos como objeto de teste (LEONENKO; DEMETSKA, 2015).

A subclasse seguinte, A61K, reúne os inventos aplicados à “ciência médica ou veterinária; higiene”, trazendo cinco famílias de patentes associadas a dispositivos ou métodos com “finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas”.

Nessa subclasse (A61K), destacam-se as tecnologias voltadas a “preparações medicinais contendo ingredientes ativos orgânicos” (A61K-031), com inventos destinados a manter, aumentar, diminuir, limitar ou inibir uma função fisiológica do corpo como, por exemplo, quatro famílias de patentes que tratam de métodos para aumentar a resistência do organismo à ação tóxica e genotóxica de uma combinação de nanopartículas de alumínio, titânio, zinco, chumbo, óxido de silício, óxido de cobre, óxido de níquel e óxido de manganês (MINIGALIEVA *et al.*, 2015, 2016, 2018; PRIVALOVA *et al.*, 2019).

Outro agrupamento resultante desta busca são os que envolvem famílias de patentes que pertencem a “processos de medição ou teste envolvendo enzimas, ácidos nucleicos ou microrganismos, composições ou papéis de teste, processos de preparação de tais composições, controle responsivo a condições do meio nos processos microbiológicos ou enzimáticos” (C12Q), com cinco famílias de patentes.

Nessa subclasse (C12Q) estão incluídas tecnologias que derivam de “processos de medição ou ensaio envolvendo enzimas, ácidos nucleicos ou microrganismos; composições para esse fim; processos de preparação de tais composições” (C12Q-001) como, por exemplo, teste qualitativo, quantitativo direto ou



evitando assim o teste em animais de laboratórios.

O princípio desse equipamento, é fazer com que as nanopartículas fluam para um espaço interno do dispositivo, juntamente com o ar, de forma alternada e repetidamente, realizando operações de entrada e saída de ar para o interior da estrutura interna, sendo capturadas por um conjunto de malhas.

Ainda analisando o mapa, percebe-se outro agrupamento (azul escuro), onde os termos 'nanomaterial' e 'avaliação da toxicidade' se relacionam. Nesse grupo, tem-se uma invenção que inclui um método e um dispositivo para avaliação e controle da toxicidade dos nanomateriais por meio da Microscopia de Iluminação de Plano Seletivo Multidirecional (mSPIM, do inglês: *multidirectional Selective Plane Illumination Microscopy*) (pedido de patente n.º EP2479551) (YOON *et al.*, 2016).

Esse método consiste: 1) na avaliação das características de dose do próprio nanomaterial, usando a mSPIM; 2) na avaliação da capacidade de resposta celular para os nanomateriais; e 3) na combinação dos resultados das características de dose avaliadas e a capacidade de resposta celular dos nanomateriais.

No Quadro 6, tem-se uma síntese das invenções (12 famílias de patentes) que foram encontradas com tecnologias que evitem a contaminação ou avaliem a toxicidade de alguns nanomateriais.

QUADRO 6 - *Orbit Intelligence* – Registros das patentes relacionados a prevenção ou avaliação da toxicidade de nanomateriais

Item	N.º Publicação	Título da invenção	Aplicação
01	RU2560682	Método para prevenção de efeitos adversos à saúde da ação geral tóxica e genotóxica de nanopartículas de óxido de cobre.	Produto farmacêutico
02	RU2597157	Método para aumentar a resistência do corpo ao efeito tóxico combinado crônico de nanopartículas de óxido de níquel e óxido de manganês.	Produto farmacêutico
03	RU2642674	Método para o aumento da resistência do organismo à ação tóxica combinada de nanopartículas de óxidos de cobre, zinco e chumbo.	Produto farmacêutico
04	RU2694844	Método para aumentar a resistência do corpo à ação tóxica e genotóxica geral de uma combinação de nanopartículas de alumínio, titânio e óxido de silício.	Produto farmacêutico

Item	N.º Publicação	Título da invenção	Aplicação
05	UA101308	Método rápido para determinação da toxicidade de nanomateriais em soluções <i>in vitro</i> usando espermatozoides bovinos como objeto de teste.	Avaliação ambiental
06	US9689019	Biomarcador para diagnóstico de toxicidade de nanopartículas e método para avaliação de toxicidade de nanopartículas.	Avaliação ambiental
07	KR101758813	Aparelho de mistura de substâncias tóxicas com câmara de mistura múltipla para avaliação de risco ambiental.	Avaliação ambiental
08	EP3239714	Dispositivo de câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com múltiplas concentrações.	Avaliação ambiental
09	KR101616589	Um método <i>in vitro</i> para a avaliação de toxicidade de nanomateriais.	Avaliação ambiental
10	WO2016003080	Dispositivo de teste de toxicidade por inalação em tempo real, usando modelo de pulmão.	Avaliação ambiental
11	EP2479551	Um método para as avaliações de toxicidade de nanomateriais.	Avaliação ambiental
12	EP2226082	Controle da toxicidade de nanopartículas de ouro.	Diagnóstico médico

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence* (2022)

Examinando os dados dispostos no Quadro 6, observa-se a existência de quatro invenções relacionadas a produtos farmacêuticos. Essas invenções são os pedidos de patentes n.º RU2560682 (MINIGALIEVA *et al.*, 2015), RU2597157 (MINIGALIEVA *et al.*, 2016), RU2642674 (MINIGALIEVA *et al.*, 2018) e RU2694844 (PRIVALOVA *et al.*, 2019) que mostram um método para aumentar a resistência do corpo à ação tóxica e genotóxica para uma combinação de óxidos de alumínio, titânio, zinco, chumbo, silício, cobre, níquel e manganês, onde indivíduos ingerem um composto bioativo formado por glutamato de sódio, glicina, N-acetilcisteína, Enteroadsorvente de pectina, ácidos graxos ômega-3, vitaminas A, C, D, E, selênio, cálcio, ferro e iodo.

Quanto às tecnologias destinadas à avaliação ambiental, além dos pedidos de patentes n.º WO2016003080 e EP2479551, já mencionados, foram recuperadas mais cinco tecnologias voltadas a esse campo. O pedido de patente n.º UA101308 (LEONENKO; DEMETSKA, 2015) mostra um método rápido para determinação da

toxicidade de nanomateriais em soluções *in vitro*, usando espermatozoides bovinos como objeto de teste.

Esse método, pertencente ao campo da toxicologia e que pode ser usado para avaliar a periculosidade dos nanomateriais em soluções, consiste, inicialmente, na preparação de amostras para estudo e controle, seguido da determinação do Índice de Toxicidade (IT) baseado na relação entre os parâmetros de motilidade da suspensão de espermatozoides bovinos, identificados nas amostras de estudo e de controle, de acordo o método de avaliação de risco *in vitro*.

O pedido de patente n.º US9689019 (SHIM *et al.*, 2017) refere-se a um biomarcador que serve de diagnóstico da toxicidade de nanopartículas e método para avaliação de toxicidade de nanopartículas. É um invento que se destina a analisar a segurança de nanomateriais, avaliando as alterações funcionais de metabólitos e genes, utilizando uma abordagem baseada na análise biológica de sistemas. O método também pode ser utilizado como ferramenta para estudar várias doenças causadas pela exposição às nanopartículas ou avaliar os efeitos das nanopartículas na saúde.

Já o pedido de patente n.º KR101758813 (CHUN-GEUN; YONG-GOO; HAKYUNG, 2017) apresenta um dispositivo para gerar e/ou misturar substâncias tóxicas, visando avaliar a toxicidade de substâncias tóxicas no meio ambiente, incluindo nanomateriais.

O pedido de patente n.º EP3239714 (LEE *et al.*, 2017) mostra um dispositivo de câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com várias concentrações, composta por vários módulos conjugados onde os animais de teste são colocados e expostos a nanopartículas com diferentes concentrações.

Outra tecnologia indexada aos resultados é apresentada no pedido de patente n.º KR101616589 (YOON *et al.*, 2016), que trata de um método para analisar o risco de toxicidade de nanomateriais, procurando minimizar o efeito da heterogeneidade das nanopartículas de uma solução.

Já para as áreas de medicina e farmacêutica, especialmente voltadas a diagnósticos médicos, foi identificado o pedido de patente n.º EP2226082 (JAHNEN-DECHENT *et al.*, 2010), que traz um composto de ouro em nanoescala, em particular nanoaglomerados de ouro ou nanopartículas de ouro, com a finalidade de reduzir ou diminuir a toxicidade, especialmente a citotoxicidade dessas nanopartículas, para que possam ser administradas como contrastes para formação de imagens diagnósticas

médicas.

Portanto, frente aos resultados obtidos pela terceira estratégia de busca, obtiveram-se tecnologias importantes, tais como produtos farmacêuticos que podem contribuir na redução da toxicidade sistêmica e dos efeitos genotóxicos provocados por determinadas nanopartículas, aumentando a resistência do corpo para indivíduos expostos em um ambiente de produção. Outro invento é o aparelho de teste de toxicidade por inalação que, tendo células pulmonares ligados à sua estrutura, consegue repetir as condições semelhantes à de um pulmão humano, substituindo, assim, os animais de experimentação, gerando diminuição de custos, além de mostrar respeito às questões éticas.

Assim, após as análises dos resultados, a partir da plataforma do *Orbit Intelligence* e das estratégias de buscas “a”, “b” e “c” (Quadro 4), conclui-se que existem tecnologias disponíveis para remoção de nanopartículas do meio ambiente, contudo não sendo encontradas, até o momento, para a desintoxicação no organismo, tornando-se relevante à sua criação, já que alguns nanomateriais podem afetar, irreversivelmente, os órgãos, células e o DNA.

Mas com a possibilidade da utilização de nanopartículas superparamagnéticas para a remoção de alvos patógenos, vislumbra-se a criação de outra tecnologia capaz de promover a remoção de uma outra nanopartícula. Enquanto isso não acontece, outras tecnologias oferecem métodos para avaliar a toxicidade dos nanomateriais e para o fortalecimento do organismo à ação tóxica e genotóxica de uma combinação variada de nanopartículas.

### **6.1.2 Resultados encontrados no INPI**

Em consulta por pesquisa avançada na base de dados de patentes do INPI, utilizando-se a sintaxe: “remo\* AND nano\*” (estratégia “d” do Quadro 4), em português, para os campos título e resumo, foram obtidos 21 documentos de patentes.

Buscando encontrar as patentes relacionadas à estratégia de pesquisa empregada, deu-se seguimento à análise do título e resumo dos documentos. Verificou-se apenas um pedido de patente para a área de odontologia (pedido n.º BR102020023752) (ALVES; FEITOSA, 2022), mas que já foi apresentada nos resultados obtidos da prospecção na plataforma *Questel Orbit*.

Partindo para a outra estratégia de busca, utilizando as palavras-chave: remov\*

AND nano\* AND celul\* (estratégia “e” do Quadro 4), em português, com truncamento à direita para o campo título, foram encontrados três documentos de patentes, porém nenhum deles estava relacionado ao objeto da busca.

Portanto, ao longo da pesquisa realizada na base de dados do INPI, percebeu-se, a partir das estratégias de busca definidas, a ausência de documentos aderentes à remoção dos nanomateriais do meio ambiente, levando à conclusão de que as inovações tecnológicas sobre o tema se concentram em empresas e organizações internacionais.

No que diz respeito a métodos de prevenção, remoção ou desintoxicação dos nanomateriais no organismo, as estratégias de buscas utilizadas não trouxeram documentos de patentes pertinentes ao assunto.

### 6.1.3 Análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT)

Por meio da análise dos registros dos inventos que foram encontrados, identificaram-se alguns fatores que podem influenciar no desenvolvimento das tecnologias que contribuam na remoção e desintoxicação de nanomateriais no ambiente e no organismo, respectivamente, como se observa na Figura 9.

FIGURA 9 - Matriz SWOT



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A matriz SWOT permite a construção de uma perspectiva de potencializar aspectos importantes numa organização por meio das captações de informações (positivas e negativas), que favoreçam o planejamento estratégico com vistas a uma tomada de decisão mais assertiva (KOTLER *et al.*, 2019).

### **Análise dos fatores Internos – Forças e Fraquezas**

Analisando a Figura 9, com os aspectos de força e fraqueza para as tecnologias encontradas, percebe-se:

#### **Forças**

Avanço exponencial das nanotecnologias – O avanço que tem ocorrido com o desenvolvimento das nanotecnologias tem gerado algumas preocupações sobre os perigos à saúde e ao meio ambiente no uso dos nanomateriais, tornando-se um fator para o desenvolvimento de patentes que visem eliminar ou minimizar esses riscos.

Saúde, segurança e meio ambiente – Outro fator importante para o fortalecimento das tecnologias encontradas está na crescente preocupação sobre a saúde e segurança dos trabalhadores, consumidores e meio ambiente no que diz respeito aos perigos intrínsecos de alguns nanomateriais como, por exemplo, na tecnologia descrita no pedido de patente n.º US10179732 (ANDREESCU; OTHMAN, 2019), que avalia o risco ocupacional às nanopartículas pelo trabalhador.

#### **Fraquezas**

Investimento em pesquisa e tecnologia – Dada a constante evolução nanotecnológica, com a produção e lançamento de novos materiais sem um estudo prévio dos perigos, é necessário investimento em pesquisas para o controle desses riscos e perigos.

As tecnologias desenvolvidas não acompanham a expansão da nanotecnologia – Ao passo que os nanomateriais estão cada vez mais sendo requeridos para atender a expansão do mercado, o estudo sobre o perigo que este material apresenta e o risco do seu uso, muitas vezes só acontece após lançamento no mercado, trazendo como consequência uma fragilidade para o desenvolvimento de tecnologias destinadas ao controle dos seus riscos e perigos, já que a qualquer momento poderá surgir outra demanda, tornando-a obsoleta.

Então, analisando os fatores internos e a relação entre as forças e as fraquezas, percebe-se a necessidade de implantação do Programa Nacional de Nanossecurança, estabelecido pela Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN) (BRASIL, 2019), que ajudará, principalmente, no desenvolvimento da tecnologia, de

modo que esta ocorra simultaneamente com a pesquisa acerca dos riscos e perigos.

O Programa Nacional de Nanosseguurança visa estimular modelos de avaliação da segurança de nanomateriais e nanoproductos na cadeia de valor, a partir da aplicação do conceito de Segurança desde o Projeto (SbD – do inglês: *Safe by Design*), onde a segurança ocupacional e ambiental são estudadas desde a fase inicial do projeto, durante o seu desenvolvimento e ciclo de vida, com o objetivo de produzir nanomateriais mais seguros utilizando a melhor técnica disponível (BRASIL, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2021).

### **Análise dos fatores Externos – Oportunidades e Ameaças**

No ambiente externo, os aspectos socioeconômicos e regulatórios são fatores que influenciam o ecossistema de inovação em uma organização. Esses fatores, que são inerentes à organização e que guardam uma relação entre oportunidades e ameaças, contribuem de certa forma para o direcionamento de ações estratégicas.

Por isso, é uma questão primordial para o planejamento que a organização se aproprie dessas informações (oportunidades e ameaças), prevendo riscos futuros e planejando ações mais assertivas para minimizar possíveis ameaças em longo prazo.

#### **Oportunidades**

Tecnologias para prevenir a contaminação e a desintoxicação do organismo – Com a identificação de uma tecnologia que aumenta a resistência do organismo à contaminação, oportuniza-se não só a criação de outros inventos semelhantes, mas também pesquisas que tragam tecnologias que possam desintoxicar o organismo contaminado por nanomateriais.

Tecnologias para remoção dos nanomateriais no ambiente – Com a evolução da nanotecnologia e o uso massivo dos nanomateriais para as mais variadas aplicações, o desenvolvimento de tecnologias que promovam a remoção dos nanomateriais – seja no ar, na água ou no solo – será cada vez mais requisitado.

#### **Ameaças**

Entrada de novos nanomateriais no mercado – A velocidade da entrada de novos produtos contrasta com a demora no desenvolvimento das tecnologias necessárias para o controle do risco.

Falta de regulação ou regulamentação para o uso de nanomateriais – A falta de marcos regulatórios ou de uma regulamentação específica, que definam de forma objetiva sua aplicabilidade e as responsabilidades por possíveis riscos gerados pela tecnologia, torna-se um fator desestimulante para que se invista em estudos sobre a

toxicidade de tecnologias que prezem pela segurança na fabricação dos nanomateriais.

Falta de comunicação com a sociedade sobre os benefícios e riscos da nanotecnologia – Esse aspecto prejudica o desenvolvimento das tecnologias, já que, mesmo sendo empregada nas mais diversas áreas, é necessária uma maior compreensão sobre o seu perigo e risco.

Portanto, com a análise dos fatores externos (oportunidades e ameaças), foram vistas oportunidades que podem aumentar as vantagens competitivas das tecnologias, como a criação de inventos que possam evitar que o organismo se contamine com algum nanomaterial e, também, que possibilite a sua desintoxicação, podendo utilizar o mesmo princípio inventivo empregado para as nanopartículas superparamagnéticas (pedido de patente n.º WO2009155384) (ZHANG *et al.*, 2009).

No que diz respeito às ameaças, que guardam uma conexão com as oportunidades, a criação de mecanismo de governança é uma ferramenta importante para se comunicar com a sociedade sobre os benefícios e riscos da nanotecnologia.

Desse modo, como se pode observar, realizar a análise através da matriz SWOT proporciona uma maior compreensão das reais condições dessas tecnologias, além de apresentar as oportunidades e ameaças propensas a enfrentar para o seu fortalecimento. Segundo Schumpeter (2012), perceber esse momento de adequação e adaptar-se a ele com novas ideias, métodos e processos é o caminho para que o produto se torne uma inovação.

## **7 ENTREGÁVEIS DE ACORDO COM OS PRODUTOS DO TCC**

Com o intuito de contribuir para a discussão sobre os perigos que os nanomateriais geram a saúde e ao meio ambiente, trazendo métodos tecnológicos inovadores que possam ajudar na redução desse impacto, serão entregues à comunidade como produtos decorrentes deste estudo:

- Relatório Técnico Conclusivo;
- Artigo original, submetido à Revista Qualis A2 (Cadernos de Saúde Pública – CSP).

O artigo é um instrumento importante para a divulgação dos resultados de uma pesquisa tecnológica, transformando-se em uma ferramenta de transferência de tecnologia, nesse caso, o conhecimento, e, por meio da sua publicação em revista técnico-científica, é um modo de propagá-lo (PROFNIT, 2021).

## 8 CONCLUSÕES

Este trabalho atendeu ao objetivo proposto, pois discorreu sobre os principais perigos à saúde e ao meio ambiente que alguns nanomateriais causam e as soluções tecnológicas inovadoras capazes de eliminar ou minimizar esses riscos. Além disso, respondeu, no seu decurso, o problema de pesquisa sobre quais inovações tecnológicas foram desenvolvidas, capazes de eliminar ou minimizar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente causados pela exposição aos nanomateriais.

Nessa perspectiva, foram identificadas 20 famílias de patentes que tratam da remoção de diversos nanomateriais no ambiente, sendo dez relacionadas ao tratamento de água, oito de aplicação de controle do ar, uma para odontologia e uma que pode ser aplicada em várias situações como, por exemplo, em avaliação, medição e controle ambiental. Dentre essas tecnologias, destacaram-se o documento n.º US10179732 (ANDREESCU; OTHMAN, 2019) que apresenta um dispositivo, método e sistema que quantifica a concentração e distribuição das nanopartículas, cujos resultados podem ser utilizados em estudos ambientais, clínicos, epidemiológicos e de exposição ocupacional; e o pedido de patente n.º CN106006874 (ZOU *et al.*, 2016), com um método que pode ser utilizado em estação de tratamento de água e esgoto para a remoção de nanopartículas por magnetismo, utilizando uma nanopartícula magnética.

Esta pesquisa também foi exitosa ao responder aos seus objetivos específicos, identificando o sistema respiratório como a principal via de absorção e rota para a entrada de nanomateriais, além da pele, sistema ocular, digestório, e também pela introdução intravenosa de nanopartículas para o transporte de fármacos ou tratamento terapêutico.

Quanto aos perigos à saúde humana e ao meio ambiente, alguns estudos mostraram que a exposição à nanopartícula de prata pode causar genotoxicidade e danos ao DNA, inflamação no fígado e rins, além de outras lesões nos pulmões, coração, intestino e baço. Já as nanopartículas de ouro podem acarretar no aumento das enzimas hepáticas, indicando uma lesão hepática, levando ao agravamento de uma esteatose para esteato-hepatite.

Com relação à carcinogenicidade de alguns nanomateriais, como, por exemplo, o negro de fumo, o dióxido de titânio e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT-7), eles foram considerados “possivelmente carcinogênicos para humanos”,

segundo a IARC, após análise de estudos sobre o tema. Já as partículas ultrafinas presentes no ar atmosférico e agravadas pela poluição, assim como os produtos derivados da exaustão dos escapamentos de motores a diesel, foram classificadas como “carcinogênico para humanos”, com evidências científicas associando a sua exposição ao aumento de câncer de pulmão e de bexiga.

Com relação à busca por tecnologias inovadoras que pudessem resolver esses problemas, não foi encontrado nenhum invento que tratasse da desintoxicação do organismo humano ocasionado por alguns nanomateriais, pelo menos para a estratégia de busca que foi definida. No entanto, a partir da compreensão do princípio inventivo observado em algumas tecnologias encontradas e dos seus mecanismos de funcionamento, vislumbra-se essa possibilidade, desde que não tenha causado danos irreversíveis a células, órgãos ou DNA.

No que diz respeito à prevenção da contaminação ou avaliação da toxicidade de alguns nanomateriais, foram encontradas 12 famílias de patentes, sendo sete relacionadas a avaliação ambiental, quatro voltadas a produtos farmacêuticos e uma referente a diagnóstico médico. Dessas tecnologias, destacaram-se o pedido de patente n.º WO2016003080 (HONG; SEON, 2016), que traz um teste de toxicidade por inalação utilizando um modelo pulmonar para executar atividades semelhantes às que ocorrem nos pulmões humanos, além dos pedidos de patentes n.º RU2560682 (MINIGALIEVA *et al.*, 2015), RU2597157 (MINIGALIEVA *et al.*, 2016), RU2642674 (MINIGALIEVA *et al.*, 2018) e RU2694844 (PRIVALOVA *et al.*, 2019), referentes a produtos farmacêuticos que propõem, com a administração de um medicamento, o fortalecimento do organismo da ação tóxica e genotóxica para uma combinação variadas de nanopartículas.

Quanto ao diagnóstico por meio da Matriz SWOT, ela demonstrou-se um instrumento importante para a identificação dos fatores internos e externos que influenciam o desenvolvimento das tecnologias pesquisadas, ajudando na identificação dos seus pontos mais fortes, e mostrando os aspectos que necessitam de aprimoramento, aproveitando, assim, as oportunidades e evitando as ameaças, ou até mesmo convertendo-as em oportunidades.

Dessa matriz, resultou o entendimento de que: com a implantação do conceito de “Segurança desde o Projeto (SbD)”; com a regulação ou regulamentação do uso dos nanomateriais; e com a criação de inventos que possam evitar que o organismo se contamine com algum nanomaterial e, também, que possibilite a sua

desintoxicação, haverá uma perspectiva futura de crescimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação para essas tecnologias.

Espera-se que o resultado desta pesquisa contribua para que entidades, pesquisadores e a sociedade em geral tenham ciência sobre os perigos intrínsecos de alguns nanomateriais e conheçam algumas tecnologias inovadoras criadas que podem ajudar na eliminação, prevenção ou redução do impacto causado à saúde e ao meio ambiente.

Esta pesquisa se limitou em investigar documentos que tivessem em seu contexto os termos nanomateriais, nanopartículas ou nanotubos. Não foi possível aprofundar a pesquisa para alguns outros elementos da matéria que, mesmo em escala nanométrica, não continham essa informação no seu título ou resumo.

Desse modo, conclui-se que no momento atual, apesar de se vivenciar grandes avanços nas mais diversas áreas, com o advento da nanotecnologia e com perspectivas ainda maiores na geração de riquezas, eficiência e economia para a sociedade, ter um entendimento sobre os riscos e benefícios do uso dos nanomateriais, tornando à sua utilização mais segura, é um grande desafio a ser enfrentado por todos.

## REFERÊNCIAS

ADEKOYA, J. A. *et al.* Band structure, morphology, functionality, and size-dependent properties of metal nanoparticles. *In: SEEHRA, M. S.; BRISTOW, A. D.* (eds.). **Noble and precious metals: properties, nanoscale effects and applications.** London/United Kingdom: IntechOpen, 2018. p. 15-42. *E-book.* Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.72761>. Acesso em: 11 ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n.º 529 de 04 de agosto de 2021. Dispõe sobre a lista de substâncias que não podem ser utilizadas em produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e internaliza a Resolução GMC MERCOSUL n.º 62/14, alterada pela Resolução GMC MERCOSUL n.º 37/20. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Ministério da Saúde, p. 101 a 118, 11 ago. 2021. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/457484>. Acesso em: 21 abr. 2022.

AHAMED, A. *et al.* Too small to matter? Physicochemical transformation and toxicity of engineered nTiO<sub>2</sub>, nSiO<sub>2</sub>, nZnO, carbon nanotubes, and nAg. **Journal of Hazardous Materials**, ISSN 0304-3894 versão *online*, v. 404, p. 124107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124107>. Acesso em: 25 abr. 2022.

AL-BISHRI, W. M. Toxicity study of gold and silver nanoparticles on experimental animals. **Pharmacophore**, ISSN 2229-5402 versão *online*, v. 1, p. 48-55, 2018. Disponível em: <https://pharmacophorejournal.com/article/toxicity-study-of-gold-and-silver-nanoparticles-on-experimental-animals>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ALI, S. H.; AL-SULTAN, H. A.; RUBAIE, M. T. A. Fifth Industrial Revolution: New Perspectives. **International Journal of Business, Management and Economics**, Palembang, v. 3, n. 3, p. 196-212, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47747/ijbme.v3i3.694>. Acesso em: 27 jul. 2022.

ALLAN, B. **Near zero emission exhaust system.** Depositante: Allan Brown. GB2573124A. Depósito: 24 abr. 2018. Concessão: 30 out. 2019.

ALVES, A. H. C.; FEITOSA, V. P. **Instrumento para atração/remoção de nanopartículas magnéticas na odontologia.** Depositante: Centro Avançado de Ortodontia Paulo Picanço S/S Ltda. Brasil n. BR102020023752A2. Depósito: 20 nov. 2020. Concessão: 7 jun. 2022.

AMARARATHNA, M. *et al.* Pulmonary nano-drug delivery systems for lung cancer: current knowledge and prospects. **Journal of Lung Health and Diseases**, v. 3, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29245/2689-999X/2019/2.1148>. Acesso em: 10 abr. 2022.

AMIN, M. T.; ALAZBA, A. A.; MANZOOR, U. A review of removal of pollutants from water/wastewater using different types of nanomaterials. **Advances in Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 2014, p. e825910, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/825910>. Acesso em: 2 set. 2022.

AMPARO, K. K. dos S.; RIBEIRO, M. do C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 17, p. 195-209, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-99362012000400012>. Acesso em: 30 abr. 2022.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2010. *E-book*. Disponível em: <https://dokumen.pub/introducao-a-metodologia-do-trabalho-cientifico-elaboracao-de-trabalhos-na-graduacao-9788522458561-9788522478392.html>

ANDREESCU, E. S.; OTHMAN, A. **Functional platform for rapid capture and removal of nanoparticles**. Depositante: Clarkson University. United States n. US10179732B2. Depósito: 24 jul. 2017. Concessão: 15 jan. 2019.

ANTUNES, A. M. S. *et al.* Métodos de Prospecção Tecnológica, Inteligência Competitiva e Foresight: principais conceitos e técnicas. *In*: RIBEIRO, N. M. (org.). **Prospecção Tecnológica**, Salvador, BA: IFBA, 2018. 1 v. p. 19-108. *E-book*. Disponível em: <https://profnit.org.br/livros-profnit/>. Acesso em: 30 abr. 2022.

ANTUNES, A.; CANONGIA, C. Technological foresight and technological scanning for identifying priorities and opportunities: the biotechnology and health sector. **Foresight**, ISSN 1465-9832 versão *online*, v. 8, n. 5, p. 31-44, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/14636680610703072>. Acesso em: 1 maio. 2022.

ARCURI, A. S. A. Alguns impactos da nanotecnologia no mundo do Trabalho. *In*: CAMPOS, W. C. R.; SILVA, E. B. da (orgs.). **Trabalho e saúde**: tópicos para reflexão e debate. 1. ed. São Paulo, SP: DIESAT, 2008. 1 v. p. 41-58.

ARCURI, A. S. A. *et al.* Developing Strategies in Brazil to Manage the Emerging Nanotechnology and Its Associated Risks. *In*: LINKOV, I.; STEEVENS, J. (orgs.). **Nanomaterials**: risks and benefits. Dordrecht: Springer, 2009. p. 299-307. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9491-0\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9491-0_23). Acesso em: 23 ago. 2022.

ARCURI, A. S. A. *et al.* Governança, nanotecnologia e a necessidade de capacitação da força de trabalho. **Mundo Nano Revista Interdisciplinária em Nanociências y Nanotecnología**, México, v. 15, n. 28, p. 1e-22e, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69677>. Acesso em: 19 ago. 2022.

ARCURI, A. S. A. Nanopartículas: história, nanotecnologia e convergência tecnológica - Nanoparticles: history, nanotechnology and technological convergence. *In*: IGUTI, A. M. (org.). **Passado, presente e futuro**: múltiplas abordagens em saúde e trabalho. Campinas, SP: UnicampBFCM, 2021. p. 10-42. *E-book*. Disponível em: <https://www.bibliotecadigital.unicamp.br/bd/index.php/detalhes-material/>. Acesso em: 18 ago. 2022.

ARCURI, A. S. A.; PONTES, J. M. Capítulo 19: Nanopartículas. *In*: SARPA, M.; OTERO, U. B. (orgs.). **Ambiente, trabalho e câncer**: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios. 1. ed. Rio de Janeiro: INCA, 2021. 1 v. p. 275-284. *E-*

book. Disponível em: <http://fi-admin.bvsalud.org/document/view/j9cnv>. Acesso em: 3 ago. 2022.

ARCURI, A. S. A.; PONTES, J. M. Nanotecnologia e seus Impactos na saúde, meio ambiente e no mundo do trabalho. *In*: HESS, S. C. (org.). **Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Outras Expressões, 2018. p. 315–336. *E-book*. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187660>

ASSOCIAÇÃO FÓRUM NACIONAL DE GESTORES DE INOVAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA/PROFNIT. **Cartilha PROFNIT de produtos técnico-tecnológicos e bibliográficos**: subsídio para o desenvolvimento de trabalhos de conclusão de curso. Salvador, BA: EDIFBA, 2021.

AUFFAN, M. *et al.* *In vitro* Interactions between DMSA-coated maghemite nanoparticles and human fibroblasts: a physicochemical and cyto-genotoxicological Study. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 40, n. 14, p. 4367-4373, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es060691k>. Acesso em: 13 abr. 2022.

BALASUBRAMANIAN, S. K. *Et al.* The effect of primary particle size on biodistribution of inhaled gold nano- agglomerates. **Biomaterials**, ISSN 0142- 9612 versão *online*, v. 34, n. 22, p. 5439- 5452, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.03.080>. Acesso em: 11 abr. 2022.

BANACH, M. *et al.* **Method for removing nanoparticles of metals or silver ions from water solutions and the nanocomposite with silver nanoparticles**. Depositante: Politechnika Krakowska Im Tadeusza Kosciuszki. n. PL236027B1. Depósito: 30 jul. 2015. Concessão: 30 nov. 2020.

BAROLI, B. Penetration of nanoparticles and nanomaterials in the skin: Fiction or reality? **Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 21-50, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jps.21817>. Acesso em: 20 abr. 2022.

BAYDA, S. *et al.* The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. **Molecules**, Switzerland, v. 25, n. 1, p. 112, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>. Acesso em: 28 jul. 2022.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. (orgs.). **Technology roadmap**: planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2016.

BOURGANIS, V.; KAMMONA, O.; COSTAS, K. Recent advances in carrier mediated nose-to-brain delivery of pharmaceuticals. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, ISSN 0939-6211 versão *online*, v. 128, p. 337-362, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.05.009>. Acesso em: 11 abr. 2022.

BOVERHOF, D. R. *et al.* Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, ISSN 0273- 2300 versão *online*, v. 73, n. 1, p. 137- 150, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.001>. Acesso em: 19 abr. 2022.

BOYES, W. K. *et al.* A comprehensive framework for evaluating the environmental health and safety implications of engineered nanomaterials. **Critical Reviews in Toxicology**, Inglaterra, v. 47, n. 9, p. 771-814, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408444.2017.1328400>. Acesso em: 24 abr. 2022.

BOYES, W. K.; VAN THRIEL, C. Neurotoxicology of nanomaterials. **Chemical Research in Toxicology**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 1121-1144, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.0c00050>. Acesso em: 11 abr. 2022.

BRANDELLI, A. The interaction of nanostructured antimicrobials with biological systems: Cellular uptake, trafficking and potential toxicity. **Food Science and Human Wellness**, ISSN 2213-4530 versão *online*, v. 9, n. 1, p. 8-20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.003>. Acesso em: 13 abr. 2022.

BRAUDE, J. M. (org.). **Lifetime speaker's encyclopedia**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962. v. 1.

BRASIL. Lei n.º 9.782, de 26 de janeiro de 1999. Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Presidência da República, p. 1, 27 jan. 1999. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9782compilado.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9782compilado.htm). Acesso em: 21 abr. 2022.

BRASIL. Portaria n.º 3.459, de 26 de julho de 2019. Institui a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, como principal programa estratégico para incentivo da Nanotecnologia no país. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ano 152, p. 286, 8 ago. 2019. 2019a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-3.459-de-26-de-julho-de-2019-209514505>. Acesso em: 29 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Organizado por Leandro Antunes Berti *et al.* Brasília, DF: MCTI, 2019b. 4 v. *E-Book*. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/expo rt/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI\\_Nanotecnologia\\_FINAL.pdf](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/expo rt/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf). Acesso em: 28 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Tecnologia convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: MCTI, 2021. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias\\_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECONOLOGIA.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECONOLOGIA.html). Acesso em: 10 maio 2021.

BRITO, J. E. de *et al.* Genotoxicidade das nanoestruturas aplicadas em saúde: uma revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, ISSN 2178-2091 versão *online*, v. 13, n. 3, e6298, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/REAS.E6298.2021>. Acesso em: 20 maio 2021.

BROWN EPSTEIN, H.-A. SWOT/TOWS/OTSW Analysis of recent past and near future. **Journal of Hospital Librarianship**, *online*, p. 1-7, outubro de 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15323269.2022.2132089>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CAI, J. *et al.* Translocation of transition metal oxide nanoparticles to breast milk and offspring: The necessity of bridging mother-offspring-integration toxicological assessments. **Environment International**, ISSN 0160-4120 versão *online*, v. 133, p. 17, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105153>. Acesso em: 27 abr. 2022.

CAO, X.; YIN, Z.; ZHANG, H. Three-dimensional graphene materials: preparation, structures and application in supercapacitors. **Energy & Environmental Science**, v. 7, n. 6, p. 1850- 1865, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4EE00050A>. Acesso em: 1 abr. 2022.

CERAVOLO, M. de L. A. Nanotecnologia: riscos ocupacionais e amparo legal. **Revista Laborativa**, ISSN: 2316-6746 versão *online*, v. 4, n. 2, p. 53-63, 2015. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rlaborativa/article/view/1267>. Acesso em: 6 dez. 2020.

CHIAVENATO, I.; SAPIRO, A. **Planejamento Estratégico**: da intenção aos resultados. 4. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2020.

CHIEN, H.-M. *et al.* **Method of collecting nanoparticles by using a cyclone and method of designing the cyclone**. Depositante: Industrial Technology Research Institute ITRI. US6969420B2. Depósito: 4 dez. 2003. Concessão: 9 jun. 2005.

CHOI, Y.; LEE, S.-D.; YOO, S. H. Characteristics and application of nanomaterials on sportswear fabric. **International Journal of Applied Engineering Research**, Argélia, v. 12, n. 17, p. 6704-6709, 2017.

CHUN-GEUN, B.; YONG-GOO, K.; HA-KYUNG, B. **Toxic substances mixing apparatus with multiple mixing chamber for environmental risk assessment**. Depositante: Greensolus Co Ltda n. KR101758813B1. Depósito: 24 fev. 2016. Concessão: 26 jul. 2017.

COSTAS, R.; BORDONS, M. The h-index: Advantages, limitations and its relation with other bibliometric indicators at the micro level. **Journal of Informetrics**, ISSN 1751-1577 versão *online*, v. 1, n. 3, The Hirsch Index, p. 193-203, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2007.02.001>. Acesso em: 2 maio. 2022.

DANIEL, M.-C.; ASTRUC, D. Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications Toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology. **ChemInform**, [s. l.], v. 35, n. 16, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/chin.200416213>. Acesso em: 11 ago. 2022.

DANIELS-RACE, T. Nanodevices: fabrication, prospects for low dimensional devices and applications. *In*: FELDMAN, M. (ed.). **Nanolithography**: the art of fabricating nanoelectronic and nanophotonic devices and systems. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2014. 1 v. p. 399- 423. *E- book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857098757.399>. Acesso em: 11 ago. 2022.

DENTON, R. D. *et al.* **Removing carbon nanotubes from a continuous reactor effluent**. Depositante: Exxonmobil Upstream Res Co; Solid Carbon Prod Llc. n. EP2838840A1. Depósito: 10 abr. 2013b. Concessão: 25 fev. 2015.

DENTON, R. D. *et al.* **Removing carbon nanotubes from a water system.**

Depositante: Exxonmobil Upstream Res Co; Solid Carbon Prod Llc. n.

EP2828212A1. Depósito: 10 abr. 2013a. Concessão: 28 jan. 2015.

DO AMARAL, D. F. *et al.* Ecotoxicity of nanomaterials in amphibians: A critical review. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9607 versão *online*, v. 686, p. 332-344, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.487>. Acesso em: 24 abr. 2022.

EDWARDS, R. S.; COLEMAN, K. S. Graphene synthesis: relationship to applications. **Nanoscale**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 38-51, 2012.

Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C2NR32629A>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ENGELMANN, W.; MARTINS, P. S. Nanotecnologias e nanoproductos: conceito, características e aplicações. *In*: ENGELMANN, W.; MARTINS, P. S. (orgs.). **As Normas ISO e as nanotecnologias: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico**. São Leopoldo, RS: Karywa, 2017. p. 10-74.

ERMOLIN, M. S. *et al.* Nanoparticles of volcanic ash as a carrier for toxic elements on the global scale. **Chemosphere**, ISSN 0045-6535 versão *online*, v. 200, p. 16-22, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.089>. Acesso em: 27 abr. 2022.

EUROPEAN UNION. Regulation (EC) n.º 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) n.º 1907/2006 (text with EEA relevance). **Official Journal of the European Union**, Brussels, seção OJL 353, p. 1-1355, 2008. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj>. Acesso em: 20 abr. 2022.

EUROPEAN UNION. Regulation (EC) n.º 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products (text with EEA relevance). **Official Journal of the European Union**, Brussels, seção OJL 342, p. 59-209, 2009. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1223/oj>. Acesso em: 20 abr. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial Text with EEA relevance**. EUR-Lex - 32011H0696 - EN - EUR-Lex. 2011/696/UE. Brussels: European Union, 2011. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reco/2011/696/oj>. Acesso em: 30 ago. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Development and implementation of grouping and safe-by-design approaches within regulatory frameworks**. Luxembourg: European Union, 2021. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/646221>. Acesso em: 8 jul. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission recommendation of 10 June 2022 on the definition of nanomaterial (text with EEA relevance) 2022/C 229/01**. Brussels: European Union, 2022a. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022H0614%2801%29&qid=1661892680786>.

Acesso em: 30 ago. 2022.

EUROPEAN UNION. **Committee on technical barriers to trade**. Notification, European Union. Nanomaterials styrene/acrylates copolymer, sodium styrene/acrylates copolymer, copper, colloidal copper, hydroxyapatite, gold, colloidal gold, gold thioethylamino hyaluronic acid, acetyl heptapeptide-9 colloidal gold, platinum, colloidal platinum, acetyl tetrapeptide-17 colloidal platinum in cosmetics products. G/TBT/N/EU/872. Bruxelles: European Union, 2022b. Disponível em: <https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=q:/G/TBTN22/EU872.pdf&Open=True>. Acesso em: 30 ago. 2022.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK; EUROPEAN UNION. Manufactured nanomaterials in the workplace. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2802/29364>. Acesso em: 11 jan. 2021.

FADEEL, B. *et al.* Advanced tools for the safety assessment of nanomaterials. **Nature Nanotechnology**, ISSN 1748-3395 versão *online*, v. 13, n. 7, p. 537-543, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0185-0>. Acesso em: 24 abr. 2022.

FADEEL, B.; KOSTARELOS, K. Grouping all carbon nanotubes into a single substance category is scientifically unjustified. **Nature Nanotechnology**, ISSN 1748-3395 versão *online* v. 15, n. 3, p. 164-164, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0654-0>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; DAVARZANI, H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, ISSN 0925-5273 versão *online* v. 162, p. 101-114, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>. Acesso em: 29 maio 2022.

FARAJI, A. H.; WIPF, P. Nanoparticles in cellular drug delivery. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, ISSN 0968-0896 versão *online*, v. 17, n. 8, p. 2950-2962, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.02.043>. Acesso em: 20 mar. 2022.

FARIA, M. *et al.* Oxidative stress effects of titanium dioxide nanoparticle aggregates in zebrafish embryos. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9697 versão *online*, v. 470-471, p. 379-389, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.055>. Acesso em: 28 abr. 2022.

FERIN, J. *et al.* Increased pulmonary toxicity of ultrafine particles? I. Particle clearance, translocation, morphology. **Journal of Aerosol Science**, ISSN 0021-8502 versão *online*, v. 21, n. 3, p. 381- 384, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(90\)90064-5](https://doi.org/10.1016/0021-8502(90)90064-5). Acesso em: 13 jan. 2021.

FEYNMAN, R. P. There's Plenty of Room at the Bottom. **Engineering and Science**, Pasadena, CA, v. 23, n. 5, p. 22- 36, 1960. Disponível em: <https://resolver.caltech.edu/CaltechES:23.5.1960Bottom>. Acesso em: 18 jan. 2021.

FONTELLES, M. J. *et al.* Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 23, n. 3, 2009. Disponível em: <http://files.bvs.br/upload/S/0101-5907/2009/v23n3/a1>

967.pdf. Acesso em: 16 set. 2022.

FREIXA, A. *et al.* Ecotoxicological effects of carbon based nanomaterials in aquatic organisms. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9697 versão *online*, v. 619- 620, p. 328- 337, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.095>. Acesso em: 24 abr. 2022.

FRIEDRICH, S.; BEUZEKOM, B. van. **Revised proposal for the revision of the statistical definitions of biotechnology and nanotechnology**. Paris: OECD, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/085e0151-en>. Acesso em: 5 ago. 2022.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. Projeto Institucional. Fundacentro, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-encerrados/nanotecnologia/projeto-institucional>. Acesso em: 19 jan. 2021.

GAO, P. *et al.* Synergistic integration of metal nanoclusters and biomolecules as hybrid systems for therapeutic applications. **Acta Pharmaceutica Sinica. B**, ISSN 2211-3835 versão *online*, v. 11, n. 5, p. 1175-1199, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2020.12.004>. Acesso em: 30 jan. 2021.

GERLOFF, K. *et al.* The adverse outcome pathway approach in nanotoxicology. **Computational Toxicology**, ISSN 2468-1113 versão *online*, v. 1, p. 3-11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comtox.2016.07.001>. Acesso em: 3 mar. 2022.

GHOSHASTIDAR, A. J.; ARIYA, P. A. The existence of airborne mercury nanoparticles. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 10733, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47086-8>. Acesso em: 27 abr. 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOSWAMI, L. *et al.* Engineered nano particles: nature, behavior, and effect on the environment. **Journal of Environmental Management**, ISSN 0301-4797 versão *online*, v. 196, p. 297–315, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.011>. Acesso em: 18 mar. 2022.

GRAND VIEW RESEARCH. **Nanomaterials market size, share & trends analysis report by product (gold, silver, iron, copper), by application (aerospace, automotive, medical), by region, and segment forecasts, 2021-2028**. San Francisco, CA, USA: Grand View Research, 2021. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nanotechnology-and-nanomaterials-market>. Acesso em: 30 mar. 2022.

GRIFFIN, S. *et al.* Natural nanoparticles: a particular matter inspired by nature. **Antioxidants**, Basel, Switzerland, v. 7, n. 1, p. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox7010003>. Acesso em: 25 abr. 2022.

GUPTA, A.; KUMAR, S.; KUMAR, V. **Challenges for assessing toxicity of nanomaterials**. [S. l.]: IntechOpen, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.89601>. Acesso em: 24 abr. 2022.

HAIFANG, W. *et al.* **Method for purifying carbon nanotube polluted water body**. Depositante: Univ Shanghai. n. CN101885527A. Depósito: 15 jul. 2010. Concessão: 17 nov. 2010.

HERBST, M. H.; MACÊDO, M. I. F.; ROCCO, A. M. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 27, p. 986-992, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000600025>. Acesso em: 1 abr. 2022.

HOCELLA, M. F. *et al.* Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system. **Science**, Washington, DC, v. 363, n. 6434, p. eaau8299, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aau8299>. Acesso em: 25 abr. 2022.

HONG, L. K.; SEON, Y. H. **Real-time inhalation toxicity testing device using lung model**. Depositante: World Intellectual Property Organization. WO2016003080A1. Depósito: 4 jun. 2015. Concessão: 7 jan. 2016.

HOU, J. *et al.* Toxicity and mechanisms of action of titanium dioxide nanoparticles in living organisms. **Journal of Environmental Sciences**, ISSN 1001-0742 versão *online*, v. 75, p. 40- 53, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.06.010>. Acesso em: 24 abr. 2022.

HOWARD, J.; MURASHOV, V. WHO guidelines to protect workers from nanomaterials. **NIOCH Science Blog**, Atlanta, GA, December 15, 2017. Disponível em: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2017/12/15/who-nano/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

HUANG, C. *et al.* Rapid Detection of IgM Antibodies against the SARS-CoV-2 Virus via Colloidal Gold Nanoparticle-Based Lateral-Flow Assay. **ACS Omega**, Washington, DC, v. 5, n. 21, p. 12550–12556, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01554>. Acesso em: 24 mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Atribuições**. 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/pt-br/orgaos/instituto-nacional-da-propriedade-industrial?b\\_start:int=30](https://www.gov.br/pt-br/orgaos/instituto-nacional-da-propriedade-industrial?b_start:int=30). Acesso em: 30 maio. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TC 229 – Nanotechnologies**. London, Inglaterra: ISO, 2005. Disponível em: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/committee/38/19/381983.html>. Acesso em: 3 ago. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Carbon black, titanium dioxide, and talc**. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC, 2010. 93 v. *E-book*. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Carbon-Black-Titanium-Dioxide-And-Talc-2010>. Acesso em: 18 ago. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes**. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC, 2014. 105 v. *E-book*. Disponível

em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Diesel-And-Gasoline-Engine-Exhausts-And-Some-Nitroarenes-2013>. Acesso em: 17 ago. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Outdoor air pollution**. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC, 2016. 109 v. *E-book*. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2015>. Acesso em: 17 ago. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Some nanomaterials and some fibres**. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC, 2017. 111 v. *E-book*. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/552>. Acesso em: 7 abr. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/DIS 80004-1**. Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms and definitions: ISO/TC 229 Nanotechnologies. Geneva, Switzerland: ISO, 2021. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:80004:-1:dis:ed-1:v1:en:sec:3.1.7>. Acesso em: 25 ago. 2022.

ISSA, B. *et al.* Magnetic nanoparticles: surface effects and properties related to biomedicine applications. **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 14, n. 11, p. 21266-21305, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms141121266>. Acesso em: 11 ago. 2022.

JAHNEN-DECHENT, W. P. D. *et al.* **Control of the toxicity of gold nanoparticles**. Depositante: Univ Duisburg Essen. n. EP2226082A2. Depósito: 3 abr. 2009. Concessão: 8 set. 2010.

JAIN, N.; GUPTA, E.; KANU, N. J. Plethora of Carbon Nanotubes Applications in Various Fields – A State-of-the-Art-Review. **Smart Science**, London, v. 10, n. 1, p. 1-24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23080477.2021.1940752>. Acesso em: 26 abr. 2022.

JANNUZZI, A. H. L.; AMORIM, R. de C. R.; SOUZA, C. G. de. Implicações da categorização e indexação na recuperação da informação tecnológica contida em documentos de patentes. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v. 36, p. 27-34, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-19652007000200003>. Acesso em: 2 maio. 2022.

JEEVANANDAM, J. *et al.* Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1050-1074, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3762/bjnano.9.98>. Acesso em: 25 abr. 2022.

JIA, J. *et al.* Oral Exposure to silver nanoparticles or silver ions may aggravate fatty liver disease in overweight mice. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 51, n. 16, p. 9334-9343, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02752>. Acesso em: 29 abr. 2022.

JIANG, X. B. *et al.* Modeling the melting temperature, melting entropy and melting

enthalpy of freestanding metallic nanoparticles. **Materials Chemistry and Physics**, ISSN 0254-0584 versão *online*, v. 241, p. 122280, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122280>. Acesso em: 23 ago. 2022.

JORDAN, C. C.; KAISER, I. N.; MOORE, V. C. Nanotechnology Patent Survey: Who Will be the Leaders in the Fifth Technology Revolution. **Nanotechnology Law & Business**, [s. l.], v. 9, p. 122, 2012. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/nantechlb9&id=130&div=&collection=>. Acesso em: 30 ago. 2022.

JOSHI, D. C.; BAKOWSKA, J. C. Determination of mitochondrial membrane potential and reactive oxygen species in live rat cortical neurons. **JoVE Journal**, [s. l.], n. 51, p. e2704, 2011. Disponível em: <https://www.jove.com/t/2704/determination-mitochondrial-membrane-potential-reactive-oxygen?language=Portuguese>. Acesso em: 12 set. 2022.

KANG, H. *et al.* Ultrasensitive detection of SARS-CoV-2 antibody by graphene field-effect transistors. **Nano Letters**, Washington, DC, v. 21, n. 19, p. 7897–7904, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c00837>. Acesso em: 22 mar. 2022.

KHABIR, Z. *et al.* Tracing upconversion nanoparticle penetration in human skin. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, ISSN 0927-7765 versão *online*, v. 184, p. 110480, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110480>. Acesso em: 20 abr. 2022.

KIM, H.-S.; MIN, H. G.; CHO, S.-M. **Composition for diagnosing circulating tumor cells and method for detecting circulating tumor cells using the same**. Depositante: Korea Advanced Institute of Science & Technology. Korea n. KR101355176B1. Depósito: 22 mar. 2012. Concessão: 27 jan. 2014.

KITTELSON, D. B. Engines and nanoparticles: a review. **Journal of Aerosol Science**, ISSN 0021-8502 versão *online*, v. 29, n. 5, p. 575-588, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(97\)10037-4](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(97)10037-4). Acesso em: 5 set. 2022.

KIYOTAKA S.; SHUZENJI K. **Dust collector and dust removal method**. Depositante: Rix Corporation, Fukuoka Prefecture. JP2015100716A. Depósito: 21 nov. 2013. Concessão: 4 jun. 2015.

KOCIFAJ, M.; MEGO, M. **Method for isolation of circulating cells from peripheral blood**. Depositante: World Intellectual Property Organization. WO2015050507A1. Depósito: 26 set. 2014. Concessão: 9 abr. 2015.

KOSUKE, H.; HIROSHI, H. **Exhaust apparatus**. Depositante: Airtech Japan Ltd. JP5039937B2. Depósito: 18 jan. 2010. Concessão: 3 out. 2012.

KOTLER, P. *et al.* **Administração de marketing**. 15. ed. São Paulo, SP: Pearson Universidades, 2019.

KUEMPEL, E. D. *et al.* Evaluating the mechanistic evidence and key data gaps in assessing the potential carcinogenicity of carbon nanotubes and nanofibers in humans. **Critical Reviews in Toxicology**, London, v. 47, n. 1, p. 1-58, 2017.

Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1206061>. Acesso em: 20 abr. 2022.

KULKARNI, S. K. Types of nanomaterials and their properties. *In*: KULKARNI, S. K. (org.). **Nanotechnology**: principles and practices. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 199-239. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09171-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09171-6_8). Acesso em: 29 mar. 2022.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Capítulo 2: Prospecção Tecnológica. *In*: CARUSO, L. A. C.; TIGRE, P. B. (orgs.). **Modelo SENAI de prospecção**: documento metodológico. 14. ed. Montevideo: OIT/Cinterfor, 2014. p. 17-35. *E-book*. Disponível em: <https://www.oitcinterfor.org/node/6160>. Acesso em: 30 abr. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.

LANDREE, E.; MIYAKE, H.; GREENFIELD, V. A. **Nanomaterial Safety in the Workplace**: pilot project for assessing the impact of the NIOSH nanotechnology research center. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.7249/rr1108>. Acesso em: 22 ago. 2022.

LARESE FILON, F. *et al.* Nanoparticles skin absorption: New aspects for a safety profile evaluation. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, ISSN 0273-2300 versão *online*, v. 72, n. 2, p. 310-322, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.05.005>. Acesso em: 20 abr. 2022.

LAZZARETTI, L. L.; HUPFFER, H. M. Nanotecnologia: o Olhar da Ciência sobre a Toxicidade e os Potenciais Riscos desses Produtos. **Revista Conhecimento Online**, Novo Hamburgo, RS, v. 3, p. 79-100, 2018. Edição especial. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rco.v3i0.1604>. Acesso em: 6 dez. 2020.

LEE, K. H. *et al.* **Inhalation toxicity testing chamber device for nanoparticles having multiple concentrations**. Depositante Hyundai Calibration & Certification Tech Co Ltd; Korea Res Inst Chemical Tech. n. EP3239714A1. Depósito: 7 jan. 2015. Concessão: 1 nov. 2017.

LEONENKO, N. S.; DEMETSKA, O. V. **An express method for determining the toxicity of nanomaterials in *in vitro* solutions using bovine spermatozoon as a test object**. UA101308U. Depósito: 19 dez. 2014. Concessão: 10 set. 2015.

LI, L. *et al.* New Insights into the Stability of Silver Sulfide Nanoparticles in Surface Water: Dissolution through Hypochlorite Oxidation. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 51, n. 14, p. 7920-7927, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01738>. Acesso em: 29 abr. 2022.

LI, Y.; CUMMINS, E. Hazard characterization of silver nanoparticles for human exposure routes. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, London, v. 55, n. 6, p. 704-725, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1735852>. Acesso em: 29 abr. 2022.

LOBATO, D. M. *et al.* **Estratégia de empresas**. 9 ed. São Paulo, SP: Editora FGV, 2014.

LOURO, H.; BORGES, T.; SILVA, M. J. Nanomateriais manufacturados: novos desafios para a saúde pública. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Lisboa, v. 31, n. 2, p. 145-157, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rpsp.2012.12.004>. Acesso em: 6 dez. 2020.

LU, P.-J. *et al.* Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics. **Journal of Food and Drug Analysis**, Taiwan, v. 23, n. 3, p. 587-594, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.009>. Acesso em: 1 abr. 2022.

LUNGU, M. *et al.* (orgs.). **Nanoparticles' promises and risks**: characterization, manipulation, and potential hazards to humanity and the environment. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11728-7>. Acesso em: 27 abr. 2022.

MAILLARD, J.-Y.; HARTEMANN, P. Silver as an antimicrobial: facts and gaps in knowledge. **Critical Reviews in Microbiology**, London, v. 4, n. 39, p. 373-383, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/1040841X.2012.713323>. Acesso em: 2 abr. 2022.

MALAKAR, A. *et al.* Nanomaterials in the environment, human exposure pathway, and health effects: A review. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9697 versão *online*, v. 759, p. 143470, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143470>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MALAKAR, A.; SNOW, D. D. Chapter 17 - Nanoparticles as sources of inorganic water pollutants. *In*: DEVI, P.; SINGH, P.; KANSAL, S. K. (orgs.). **Inorganic pollutants in water**. Amsterdã: Elsevier, 2020. p. 337-370. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00017-2>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MALHOTRA, N. K. **Marketing research**: an applied orientation. 7th ed. Harlow, England: Pearson, 2019.

MANIGRASSO, M. *et al.* Evidences of copper nanoparticle exposure in indoor environments: Long-term assessment, high-resolution field emission scanning electron microscopy evaluation, in silico respiratory dosimetry study and possible health implications. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9607 versão *online*, v. 653, p. 1192 - 1203, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.044>. Acesso em: 11 abr. 2022.

MARTINEZ, D. S. T. *et al.* Carbon nanotubes: from synthesis to genotoxicity. *In*: DURÁN, N.; GUTERRES, S. S.; ALVES, O. L. (orgs.). **Nanotoxicology**: materials, methodologies, and assessments. New York, NY: Springer, 2014. p. 125-152. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8993-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8993-1_6). Acesso em: 3 mar. 2022.

MARTINEZ, D. S. T.; ALVES, O. L. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 65, n. 3, p. 32-36, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.21800/S0009-67252013000300012>. Acesso em: 5 maio 2022.

MAYER, A. *et al.* **Nanoparticle Filter Apparatus for Ambient Air**. Depositante: Etech Ag. n. EP2049228A1. Depósito: 13 ago. 2007. Concessão: 22 abr. 2009.

MAYERHOFF, Z. D. V. L. Uma análise sobre os estudos de prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/3538>. Acesso em: 2 maio. 2022.

MCGILLICUDDY, E. *et al.* Silver nanoparticles in the environment: sources, detection and ecotoxicology. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9607 versão *online*, v. 575, p. 231-246, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.041>. Acesso em: 29 abr. 2022.

MIHAI, M. M. *et al.* Nanocoatings for chronic wound repair: modulation of microbial colonization and biofilm formation. **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 19, n. 4, p. 1179, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms19041179>. Acesso em: 21 mar. 2022.

MILLER, M. R. *et al.* Inhaled Nanoparticles Accumulate at Sites of Vascular Disease. **ACS Nano**, Washington, DC, v. 11, n. 5, p. 4542-4552, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b08551>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MINIGALIEVA, I. A. *et al.* **Method for prevention of adverse health effects of general toxic and genotoxic action of copper oxide nanoparticles.** Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2560682 C1. Depósito: 28 ago. 2014. Concessão: 20 ago. 2015.

MINIGALIEVA, I. A. *et al.* **Method of increasing body resistance to chronic combined toxic effect of nanoparticles of nickel oxide and manganese oxide.** Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2597157C1. Depósito: 15 set. 2015. Concessão: 10 set. 2016.

MINIGALIEVA, I. A. *et al.* **Method for increase of organism resistance to combined toxic action of nanoparticles of copper, zinc and lead oxides.** Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2642674C1. Depósito: 21 fev. 2017. Concessão: 25 jan. 2018.

MOHAJERANI, A. *et al.* Nanoparticles in construction materials and other applications, and implications of nanoparticle use. **Materials**, Switzerland, v. 12, n. 19, p. 3052, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma12193052>. Acesso em: 1 abr. 2022.

MORISSO, F. D. P.; JAHNO, V. D. Nanociência e nanotecnologia: um rompimento de paradigmas. *In*: HAIDE, E.; HUPFFER, H. (orgs.). **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias**. São Leopoldo, RS: Casa Leiria, 2017. p. 13-17.

MORTEZAEI, K. *et al.* Redox interactions and genotoxicity of metal-based nanoparticles: A comprehensive review. **Chemico-Biological Interactions**, Switzerland, v. 312, p. 108814, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2019.108814>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MOVAFEGHI, A. *et al.* Effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the aquatic plant spirodela polyrrhiza: evaluation of growth parameters, pigment contents and antioxidant enzyme activities. **Journal of Environmental Sciences**, China, v. 64, p. 130-138, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.12.020>. Acesso em: 28 abr. 2022.

NAJAH-MISSAOUI, W.; ARNOLD, R. D.; CUMMINGS, B. S. Safe nanoparticles: are we there yet? **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 22, n. 1, p. 385, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22010385>. Acesso em: 18 ago. 2022.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Current intelligence bulletin 63**: occupational exposure to titanium dioxide. United States: Department of Health and Human Services, Centers for Disease and Prevention; National Institute for Occupational Safety and Health, 2011. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.26616/nioshpub2011160>. Acesso em: 1 set. 2022.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Current intelligence bulletin 65**: Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. United States: Department of Health and Human Services, Centers for Disease and Prevention; National Institute for Occupational Safety and Health, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.26616/nioshpub2013145>. Acesso em: 18 jan. 2021.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Current intelligence bulletin 70**: health effects of occupational exposure to silver nanomaterials. United States: U.S. Department of Health and Human Services; Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2021112>. Acesso em: 1 set. 2022.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **Size of the nanoscale**. Virginia, US, 2022a. Disponível em: <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/nano-size>. Acesso em: 1 set. 2022.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **About nanotechnology**. Virginia, US, 2022b. Disponível em: <https://www.nano.gov/about-nanotechnology>. Acesso em: 4 ago. 2022.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **What is so special about “nano”?** Virginia, US, 2022c. Disponível em: <https://www.nano.gov/about-nanotechnology/what-is-so-special-about-nano>. Acesso em: 4 ago. 2022.

NEIL, C. W. *et al.* Fractal aggregation and disaggregation of newly formed iron (III) (hydr) oxide nanoparticles in the presence of natural organic matter and arsenic. **Environmental Science: Nano**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 647-656, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1039/C5EN00283D>. Acesso em: 25 abr. 2022.

OBERDÖRSTER, G. *et al.* Increased pulmonary toxicity of ultrafine particles? II. Lung lavage studies. **Journal of Aerosol Science**, ISSN 0021-8502 versão *online*, v. 21, n. 3, p. 384-387, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(90\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0021-8502(90)90065-6). Acesso em: 13 jan. 2021.

OBERDÖRSTER, G. *et al.* Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. **Inhalation Toxicology**, London, v. 6-7, n. 16, p. 437-445, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/08958370490439597>. Acesso em: 10 abr. 2022.

OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 113, n. 7, p. 823-839, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.7339>. Acesso em: 11 abr. 2022.

OLIVEIRA, M. M. M. de; QUENTAL, C. M. A prospecção tecnológica como ferramenta de planejamento estratégico para a construção do futuro do Instituto Oswaldo Cruz. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, Manguinhos, RJ, v. 6, n. 1, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3395/reciis.v6i1.607>. Acesso em: 1 maio 2022.

PARANHOS, R. de C. S.; RIBEIRO, N. M. Importância da prospecção tecnológica em base de patentes e seus objetivos da busca. **Cadernos de Prospecção**, Salvador v. 11, p. 1274-1274, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v12i5.28190>. Acesso em: 2 maio 2022.

PATLOLLA, A. K.; HACKETT, D.; TCHOUNWOU, P. B. Genotoxicity study of silver nanoparticles in bone marrow cells of Sprague-Dawley rats. **Food and Chemical Toxicology**, ISSN 0278-6915 versão *online*, v. 85, p. 52-60, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.05.005>. Acesso em: 29 abr. 2022.

PENG, Z. *et al.* Advances in the application, toxicity and degradation of carbon nanomaterials in environment: a review. **Environment International**, ISSN 0160-4120 versão *online* v. 134, p. 105298, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105298>. Acesso em: 24 abr. 2022.

PIETROIUSTI, A. *et al.* Nanomaterial exposure, toxicity, and impact on human health. **WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. e1513, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wnan.1513>. Acesso em: 20 abr. 2022.

PIMENTA, M. A. A.; MELO, C. P. Nanociências e nanotecnologia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 29, p. 9-20, 2007. Edição especial. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9701>. Acesso em: 28 jul. 2022.

PIRES, E. A.; RIBEIRO, N. M.; QUINTELLA, C. M. Sistemas de busca de patentes: análise comparativa entre Espacenet, Patentscope, Google Patents, Lens, Derwent Innovation Index e Orbit Intelligence. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 1, p. 13, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i1.35147>. Acesso em: 20 set. 2022.

POLAND, C. A. *et al.* Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice

show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. **Nature Nanotechnology**, London, v. 3, n. 7, p. 423-428, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.111>. Acesso em: 13 abr. 2022.

POLAND, C. A. *et al.* **Dermal absorption of nanomaterials**: Part of the “better control of nan” initiative 2012-2015. Environmental Project n.º 1504. Copenhagen: The Danish Environmental Protection Agency, 2013.

PRIVALOVA, L. I. *et al.* **Method for increasing body resistance to general toxic and genotoxic action of a combination of aluminum, titanium and silicon oxide nanoparticles**. Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical - Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2694844. Depósito: 29 mar. 2018. Concessão: 17 jul. 2019.

PULSKAMP, K.; DIABATÉ, S.; KRUG, H. F. Carbon nanotubes show no sign of acute toxicity but induce intracellular reactive oxygen species in dependence on contaminants. **Toxicology Letters**, ISSN 0378-4274 versão *online*, v. 168, n. 1, p. 58-74, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2006.11.001>. Acesso em: 18 jan. 2021.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Prospecção tecnológica como uma ferramenta aplicada em ciência e tecnologia para se chegar à inovação. **Revista Virtual de Química**, ISSN 1984-6835 versão *online*, v. 3, n. 5, p. 406-415, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110044>. Acesso em: 2 maio 2022.

RADAIC, A. *et al.* Como estudar interações entre nanopartículas e sistemas biológicos. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 39, p. 1236-1244, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160146>. Acesso em: 13 abr. 2022.

RANCAN, F. *et al.* Penetration and cellular uptake of amorphous silica nanoparticles with variable size, surface functionalization, and colloidal stability. **ACS Nano**, Washington, DC, v. 6, n. 8, p. 6829-6842, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/nn301622h>. Acesso em: 20 abr. 2022.

RAPHEY, V. R. *et al.* Advanced biomedical applications of carbon nanotube. **Materials Science and Engineering: C**, [s. l.], v. 100, p. 616-630, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.043>. Acesso em: 6 abr. 2022.

REZVANI, E. *et al.* Adverse effects of nanosilver on human health and the environment. **Acta Biomaterialia**, ISSN 1742-7061 versão *online*, v. 94, p. 145-159, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.05.042>. Acesso em: 29 abr. 2022.

RODRIGUEZ-GARRAUS, A. *et al.* Genotoxicity of Silver Nanoparticles. **Nanomaterials**, Switzerland, v. 10, n. 2, p. 251, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano10020251>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ROSENDAL TANGAA, S. *et al.* Trophic transfer of metal-based nanoparticles in aquatic environments: a review and recommendations for future research focus. **Environmental Science: Nano**, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 966-981, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1039/C5EN00280J>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ROYAL SOCIETY. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**. London: The Royal Society, 2004. Disponível em: <https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2004/nanoscience-nanotechnologies/>. Acesso em: 3 ago. 2022.

RUGE, C. A. *et al.* The Interplay of Lung Surfactant Proteins and Lipids Assimilates the Macrophage Clearance of Nanoparticles. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 7, n. 7, p. e40775, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040775>. Acesso em: 10 abr. 2022.

RUIZ-HITZKY, E *et al.* Nanotechnology responses to covid-19. **Advanced Healthcare Materials**, [s. l.], v. 9, n. 19, p. 2000979, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adhm.202000979>. Acesso em: 22 mar. 2022.

SAGER, T. M.; CASTRANOVA, V. Surface area of particle administered versus mass in determining the pulmonary toxicity of ultrafine and fine carbon black: comparison to ultrafine titanium dioxide. **Particle and Fibre Toxicology**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 15, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-6-15>. Acesso em: 13 abr. 2022.

SALEEM, H.; ZAIDI, S. J. Sustainable Use of Nanomaterials in Textiles and Their Environmental Impact. **Materials**, Switzerland, v. 13, n. 22, p. 5134, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13225134>. Acesso em: 1 abr. 2022.

SALIERI, B. *et al.* Life cycle assessment of manufactured nanomaterials: where are we? **NanoImpact**, ISSN 2452-0724 versão *online*, v. 10, p. 108-120, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.12.003>. Acesso em: 6 abr. 2022.

SALIEV, T. The Advances in biomedical applications of carbon nanotubes. **C**, Switzerland, v. 5, n. 2, p. 29, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/c5020029>. Acesso em: 1 abr. 2022.

SALLOUM, S. A. *et al.* Using text mining techniques for extracting information from research articles. In: SHAALAN, K.; HASSANIEN, A. E.; TOLBA, F. (orgs.). **Intelligent natural language processing: trends and applications**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 373-397. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67056-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67056-0_18). Acesso em: 16 maio 2022.

SAMANI, P. Y. *et al.* Repeated-Dose toxicity in mouse liver and kidney after skin exposure to silver nanoparticles. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, Índia, v. 12, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2018/28535.11114>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SARGENT, L. M. *et al.* Promotion of lung adenocarcinoma following inhalation exposure to multi-walled carbon nanotubes. **Particle and Fibre Toxicology**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-11-3>. Acesso em: 13 abr. 2022.

SARITAS, O.; BURMAOGLU, S. The evolution of the use of Foresight methods: a

scientometric analysis of global FTA research output. **Scientometrics**, Switzerland, v. 105, n. 1, p. 497-508, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1671-x>. Acesso em: 2 maio 2022.

SAVAGE, D. T.; HILT, J. Z.; DZIUBLA, T. D. *In vitro* methods for assessing nanoparticle toxicity. In: ZHANG, Q. (org.). **Nanotoxicity: Methods and Protocols**. New York, NY: Springer, 2019. p. 1-29. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8916-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8916-4_1). Acesso em: 18 ago. 2022.

SCALA, G. *et al.* Multi-walled carbon nanotubes elicit concordant changes in DNA methylation and gene expression following long-term pulmonary exposure in mice. **Carbon**, ISSN 0008-6223 versão *online*, v. 178, p. 563-572, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.03.045>. Acesso em: 29 mar. 2022.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY. **Opinion on styrene/acrylates copolymer (nano) and sodium styrene/acrylates copolymer (nano)**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2875/790731>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY. **Opinion on Copper (nano) and colloidal copper (nano)**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.2875/407340>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY. **Opinion on hydroxyapatite (nano)**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.2875/605200>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY. **Opinion on gold (nano), colloidal gold (nano), gold thioethylamino hyaluronic acid (nano) and acetyl heptapeptide-9 colloidal gold (nano)**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021c. Disponível em: <https://doi.org/10.2875/573528>. Acesso em: 6 set. 2022.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY. **Platinum (nano), colloidal platinum (nano) and acetyl tetrapeptide-17 colloidal platinum (nano)**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.2875/56282>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCHINWALD, A. *et al.* The Threshold Length for Fiber-Induced Acute Pleural Inflammation: Shedding Light on the Early Events in Asbestos-Induced Mesothelioma. **Toxicological Sciences**, [s. l.], v. 128, n. 2, p. 461-470, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfs171>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCHNEIDER, M. *et al.* Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier. **Dermato-Endocrinology**, London, v. 1, n. 4, p. 197206, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4161/derm.1.4.9501>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SCHRAUFNAGEL, D. E. The health effects of ultrafine particles. **Experimental & Molecular Medicine**, ISSN 2092-6413 versão *online*, v. 52, n. 3, p. 311-317, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0403-3>. Acesso em: 5 abr. 2022.

SCHUMPETER, J. **Teoria do desenvolvimento económico**: um estudo sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo da conjuntura. Tradução: Karin Paul Ferreira; Eduardo de Sousa Ferreira. 1. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2012.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. 1. ed. São Paulo, SP: Edipro, 2018.

SELVARAJ, C. et al. Molecular dynamics simulations and applications in computational toxicology and nanotoxicology. **Food and Chemical Toxicology**, ISSN 0278-6915 versão *online*, v. 112, p. 495-506, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.028>. Acesso em: 8 jan. 2021.

SEO, G. *et al.* Rapid detection of covid-19 causative virus (sars-cov-2) in human nasopharyngeal swab specimens using field-effect transistor-based biosensor. **ACS Nano**, Washington, v. 14, n. 4, p. 5135-5142, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c02823>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SHARIFI, S. *et al.* Toxicity of nanomaterials. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 41, n. 6, p. 2323-2343, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c1cs15188f>. Acesso em: 29 mar. 2022.

SHIM, W. Y. *et al.* **Biomarker for diagnosing toxicity of nanoparticles and method for evaluating toxicity of nanoparticles using the same**. Depositante: Ajou Univ Industry-Academic Coop Found. US9689019B2. Depósito: 6 fev. 2013. Concessão: 27 jun. 2017.

SHVEDOVA, A. *et al.* Exposure of human bronchial epithelial cells to carbon nanotubes caused oxidative stress and cytotoxicity. *In*: GALARIS, D. (org.). **Proceedings of the meeting of the society for free radical research**. European section: free radicals and oxidative stress: chemistry, biochemistry and pathophysiological implications. Ioannina, Greece: Medimond Publishing Co, 2003. p. 91-103.

SILVA, G. F. B. L.; SILVA, L. C. L. Saúde & segurança ocupacional: reflexões sobre os riscos potenciais e o manuseio seguro dos nanomateriais. **Vigilância Sanitária em Debate**, Rio de Janeiro, RJ, v. 1, n. 4, p. 43-52, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3395/vd.v1n4.85>. Acesso em: 6 abr. 2022.

SILVA, M. M. P. *et al.* Utilização de nanopartículas no tratamento de feridas: revisão sistemática. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, SP, v. 51, 2018. Disponível em: <https://doi.org/doi.org/10.1590/S1980-220X2016043503272>. Acesso em: 21 mar. 2022.

SIM, W. *et al.* Antimicrobial silver in medicinal and consumer applications: a patent review of the past decade (2007-2017). **Antibiotics**, Switzerland, v. 7, n. 4, p. 93, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics7040093>. Acesso em: 2 abr. 2022.

SINGH, A. K. Chapter 5 - Principles of Nanotoxicology. *In*: SINGH, A. K. (org.). **Engineered nanoparticles**: structure, properties and mechanisms of toxicity. Boston: Academic Press, 2016. p. 171-227. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801406-6.00005-4>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SINGH, N. *et al.* NanoGenotoxicology: The DNA damaging potential of engineered nanomaterials. **Biomaterials**, ISSN 0142-9612 versão *online*, v. 30, n. 23, p. 3891-3914, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.04.009>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SINGH, V. K. *et al.* The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: a comparative analysis. **Scientometrics**, Switzerland, v. 126, n. 6, p. 5113-5142, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>. Acesso em: 29 maio 2022.

SOARES, P. B. *et al.* Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre tecnologia de construção e edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 16, p. 175-185, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>. Acesso em: 2 maio 2022.

SONG, G. Y. **Intensively-Dedusting Filter/Dust-Collector Capable of Removing Nanoparticle-Grade Fine Dust and Filtering/Dust-Collecting Method Using Same**. Depositante: Song Gen Yong. WO2022169194A2. Depósito: 27 jan. 2022. Concessão: 11 ago. 2022.

STATNANO. **Nanotechnology Products Database (NPD)**. Lund, Sweden, 2022. Database. Disponível em: <https://product.statnano.com//>. Acesso em: 30 dez. 2022.

STATNANO. **NBIC+. Antibody Tests Based on Au Nanoparticles Can Detect Coronavirus Even in Asymptomatic Cases**. Lund, Sweden, 2020. Disponível em: <https://statnano.com/news/67563/Antibody-Tests-Based-on-Au-Nanoparticles-Can-Detect-Coronavirus-Even-in-Asymptomatic-Cases>. Acesso em: 22 mar. 2022.

SUSKI, J. *et al.* Relation between mitochondrial membrane potential and ROS formation. In: PALMEIRA, C. M.; MORENO, A. J. (orgs.). **Mitochondrial Bioenergetics: Methods and Protocols**. New York, NY: Springer, 2018. p. 357-381. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7831-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7831-1_22). Acesso em: 10 set. 2022.

SZENDI, K.; VARGA, C. Lack of genotoxicity of carbon nanotubes in a pilot study. **Anticancer Research**, [s. l.], v. 28, n. 1A, p. 349-352, 2008. Disponível em: <https://ar.iijournals.org/content/28/1A/349>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TAKAGI, A. *et al.* Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. **The Journal of Toxicological Sciences**, Japan, v. 33, n. 1, p. 105-116, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2131/jts.33.105>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TANG, T.; ZHANG, Z.; ZHU, X. Toxic Effects of TiO<sub>2</sub> NPs on Zebrafish. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Switzerland, v. 16, n. 4, p. 523, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16040523>. Acesso em: 28 abr. 2022.

TANG, W. *et al.* **VOC Gas Treatment Device and Method**. Depositante: Shanghai Bixiufu Enterprise Man Co Ltda. WO2020216370A1. Depósito: 24 abr. 2020. Concessão: 29 out. 2020.

TANIGUCHI, N.; ARAKAWA, C.; KOBAYASHI, T. On the basic concept of nanotechnology. **Proceedings of the International Conference on Production Engineering**, Tokyo, Japan, p. 26-29, 1974.

TEIXEIRA, L. P. **Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados**. - Portal Embrapa. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. (Embrapa Cerrados. Documentos, 317). *E-book*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/981247/prospeccao-tecnologica-importancia-metodos-e-experiencias-da-embrapa-cerrados>. Acesso em: 16 maio. 2022.

THAKKAR, K. N.; MHATRE, S. S.; PARIKH, R. Y. Biological synthesis of metallic nanoparticles. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, ISSN 1548-9634 versão *online*, v. 6, n. 2, p. 257-262, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2009.07.002>. Acesso em: 26 mar. 2022.

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação: economia da tecnologia no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Campus/Elsevier, 2014.

TONET, M. D.; LEONEL, A. A. Nanociência e nanotecnologia: uma revisão bibliográfica acerca das contribuições e desafios para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 36, n. 2, p. 431-456, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n2p431>. Acesso em: 4 jan. 2021.

TOROPOVA, A. P.; TOROPOV, A. A. Nanomaterials: Quasi-SMILES as a flexible basis for regulation and environmental risk assessment. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9697 versão *online*, v. 823, p. 153747, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153747>. Acesso em: 24 abr. 2022.

TROPITA, P. **System and method for removal of nanoparticles from water**. Depositante: Piplai Tropita. IN201911027383. Depósito: 9 jul. 2019. Concessão: 15 jan. 2021.

TURPIN, B. Chapter 3 - Characterizing Exposures to Atmospheric Carcinogens. *In*: STRAIF, K; COHEN, A; SAMET, J. (eds.). **Air Pollution and Cancer**. Lyon, France: IARC, 2013. 161 v. p. 29-36. *E-book*. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>. Acesso em: 16 ago. 2022.

UDUGAMA, B. *et al.* Diagnosing COVID-19: The disease and tools for detection. **ACS Nano**, Washington, DC, v. 14, n. 4, p. 3822-3835, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c02624>. Acesso em: 22 mar. 2022.

VALLABH, G. M. **Cross flow water filtering device**. Depositante: Sanskriti University. IN202011014053. Depósito: 30 mar. 2020. Concessão: 8 out. 2021.

VOBORSKY, R. C. Occupational health chemistry. *In*: **Analytical techniques in occupational health chemistry**. Washington, DC: American Chemical Society, 1980. 120 v. p. 185-195. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/bk-1980-0120.ch010>. Acesso em: 5 set. 2022.

VRIENS, B. *et al.* Quantification of element fluxes in wastewaters: a nationwide survey in Switzerland. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 51, n. 19, p. 10943-10953, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01731>. Acesso em: 27 abr. 2022.

WAISSMANN, W. The potential impact of nanotechnology and nanoparticles on human health and the environment. *In*: GALVÃO, L. A. C.; FINKELMAN, J.; HENAO, S. (eds.). **Environmental and Social Determinants of Health**. Washington, DC: PAHO, 2016. p. 659-677. *E-book*. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51686>. Acesso em: 7 abr. 2022.

WANG, H. *et al.* **Method for removing nanoparticles in water body**. Depositante: Univ Tongji. CN102826687A. Depósito: 18 set. 2012. Concessão: 19 dez. 2012.

WANG, P. *et al.* Characterizing the uptake, accumulation and toxicity of silver sulfide nanoparticles in plants. **Environmental Science: Nano**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 448-460, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C6EN00489J>. Acesso em: 28 abr. 2022.

WESTMEIER, D. *et al.* Nanoparticle decoration impacts airborne fungal pathobiology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 115, n. 27, p. 7087-7092, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1804542115>. Acesso em: 27 abr. 2022.

XIAO, B. *et al.* Occurrence and trophic transfer of nanoparticulate Ag and Ti in the natural aquatic food web of Taihu Lake, China. **Environmental Science: Nano**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 3431-3441, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C9EN00797K>. Acesso em: 29 abr. 2022.

XING, Y. *et al.* **Method for efficiently removing nanoparticles from ordered mesoporous silicon-based material**. Depositante: Univ Beijing Science & Tech. CN108245995A. Depósito: 8 fev. 2018. Concessão: 6 jul. 2018.

XIONG, D. *et al.* Effects of nano-scale TiO<sub>2</sub>, ZnO and their bulk counterparts on zebrafish: Acute toxicity, oxidative stress and oxidative damage. **Science of The Total Environment**, ISSN 0048-9697 versão *online*, v. 409, n. 8, p. 1444-1452, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.015>. Acesso em: 28 abr. 2022.

YAN, A.; CHEN, Z. Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A Focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism. **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 20, n. 5, p. 1003, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20051003>. Acesso em: 29 abr. 2022.

YANG, J.-J. **Method and apparatus for removing nanoparticles and emulsion droplets from aqueous solutions by simultaneous electrocoagulation and electrofiltration**. Depositante: Univ Nat Sun Yat Sen. TWI229656B. Depósito: 19 jul. 2002. Concessão: 21 mar. 2005.

YEHIA, H. N. *et al.* Single-walled carbon nanotube interactions with HeLa cells. **Journal of Nanobiotechnology**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 8, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-5-8>. Acesso em: 13 abr. 2022.

YOO, D. *et al.* Theranostic Magnetic Nanoparticles. **Accounts of Chemical Research**, Washington, DC, v. 44, n. 10, p. 863-874, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ar200085c>. Acesso em: 25 mar. 2022.

YOON, T. H. *et al.* **A Method for the toxicity assessments of nano-materials using flow cytometry**. Depositante: Industry Academic Cooperation Foundation Hanyang University. KR101469703B1. Depósito: 19 maio 2014. Concessão: 8 dez. 2014.

YOON, T. H. *et al.* **An invitro method for the toxicity assessments of nanomaterials**. Depositante: Hanyang University Industry University Cooperation Foundation. KR101616589B1. Depósito: 7 mar. 2011. Concessão: 29 abr. 2016.

YOU, L.; XU, K.; DING, G. **Magnetic adsorbent for removing silver nanoparticles and preparation method of magnetic adsorbent**. Depositante: Univ Fuzhou. CN110215905A. Depósito: 16 jul. 2019. Concessão: 10 set. 2019.

YU, L. E. *et al.* Translocation and effects of gold nanoparticles after inhalation exposure in rats. **Nanotoxicology**, London, v. 1, n. 3, p. 235-242, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17435390701763108>. Acesso em: 11 abr. 2022.

ZARBIN, A. J. G.; OLIVEIRA, M. M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis? **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 36, p. 1533-1539, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000009>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ZHANG, W.; XIAO, B.; FANG, T. Chemical transformation of silver nanoparticles in aquatic environments: Mechanism, morphology and toxicity. **Chemosphere**, ISSN 0045-6535 versão *online*, v. 191, p. 324-334, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.016>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ZHANG, Z. J. *et al.* **Superparamagnetic nanoparticles for removal of cells, pathogens or viruses**. Depositante: World Intellectual Property Organization. WO2009155384A1. Depósito: 17 jun. 2009. Concessão: 23 dez. 2009.

ZHAO, J. *et al.* Ionic-strength-dependent effect of suspended sediment on the aggregation, dissolution and settling of silver nanoparticles. **Environmental Pollution**, ISSN 0269-7491 versão *online*, v. 279, p. 116926, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116926>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ZHONGPING C. **A kind of sweep-out method of virus in blood and sick cell**. Depositante: China. CN110227195A. Depósito: 5 maio 2019. Concessão: 13 set. 2019.

ZHU, A.; LUO, X. Detection of covid-19 through a heptanal biomarker using transition metal doped graphene. **The Journal of Physical Chemistry B**, Washington, DC, v. 126, n. 1, p. 151-160, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jpccb.1c09580>. Acesso em: 24 mar. 2022.

ZHU, Y. *et al.* Behavior, remediation effect and toxicity of nanomaterials in water environments. **Environmental Research**, ISSN 0013-9351 versão *online*, v. 174, p. 54-60, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.014>. Acesso

em: 28 abr. 2022.

ZIELIŃSKA, A. *et al.* Nanotoxicology and nanosafety: safety-by-design and testing at a glance. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Switzerland, v. 17, n. 13, p. 4657, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134657>. Acesso em: 18 ago. 2022.

ZOU, W. *et al.* **Novel method for removing nanoparticles in water**. Depositante: Univ Sichuan Sci & Eng; Zhonghao Chenguang Res Inst of Chemical Ind. CN106006874A. Depósito: 14 jun. 2016. Concessão: 12 out. 2016.

## APÊNDICE A – TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A REMOÇÃO DE NANOMATERIAIS

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
01	Remoção de nanotubos de carbono de um sistema de água	Org. Europeia de Patentes (OPE/EPO)	EP2828212
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Processo em escala industrial para purificar uma corrente de água contendo nanotubos de carbono. Método e um sistema para remover nanotubos de carbono de uma corrente de água são fornecidos neste documento. O método consiste em fluir a corrente de água para um recipiente de purificação e injetar uma substância química no recipiente de purificação e através de um filtro remover os nanotubos de carbono da corrente de água.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
02	Remoção de nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo	Org. Europeia de Patentes (OPE/EPO)	EP2838840
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Sistemas e um método para remover nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo são fornecidos neste documento. O método consiste na remoção de nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo, gerando um fluxo de resíduos contendo componentes gasosos</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
03	Método para remoção de nanopartículas de íons de prata ou prata em soluções aquosas, e obtenção de nanocompósito com nanopartículas de prata	Polônia	PL236027B1
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método de remoção de nanopartículas metálicas, em particular íons de prata ou prata de soluções aquosas, realizado em um sistema dinâmico ou estático a solução contendo nanopartículas é misturada com calcário dolomítico moído ou é filtrado através de um leito de sorção contendo calcário dolomítico, onde as nanopartículas ficam retidas.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
04	Filtro/coletor de pó de despoeiramento intensivo capaz de remover pó fino de nanopartículas	Coreia do Sul	WO2022169194
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Esse invento consiste em um método de filtração e precipitador para filtro de despoeiramento, capaz de remover poeiras finas de grau de nanopartículas. Esse método ainda permite que, mesmo funcionando o equipamento, seja possível a coleta da poeira que está retida no filtro filtração.</p>			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
05	Sistema e método para remoção de nanopartículas da água	Índia	IN201911027383
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Sistema e método para remoção de nanopartículas da água. A invenção remove as nanopartículas da água através de leito de coluna de carvão ativado. O processo consiste na adsorção e difusão das nanopartículas quando a água contaminada é bombeada, em direção ascendente, para dentro da coluna de carvão ativado. Após passar pelo carvão ativado, a água é bombeada para fora do referido leito de coluna.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
06	Método para remover eficientemente nanopartículas de material à base de silício mesoporoso ordenado	China	CN108245995
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método para a remoção eficiente de nanopartículas de um material à base de silício mesoporoso ordenado. Esse invento consiste na remoção eficiente de nanopartículas de um material ordenado à base de sílica mesoporosa, em que uma grande quantidade de nanopartículas com o tamanho entre 2-25 nm ficam retidos nesse material (filtro).</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
07	Novo método para remover nanopartículas em água	China	CN106006874
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método para remoção de nanopartículas em água de estação de tratamento, onde se adiciona outra nanopartícula com propriedade elétrica e ferromagnetismo opostas e de forma coloide mista utilizando o efeito de adsorção mútua; em seguida, por meio de um campo magnético forte, são removidas as nanopartículas magnéticas juntamente com as nanopartículas que foram adsorvidas eletrostaticamente.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
08	Método para remoção de nanopartículas em corpo d'água	China	CN102826687
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> A invenção pertence ao campo técnico de tratamento de água, e refere-se a um método para remoção de nanopartículas em corpo d'água, de modo a eliminar potenciais riscos. Compreende as seguintes etapas específicas: adicionar um coagulante de sulfato poliférrico no corpo d'água contendo as nanopartículas e remover as nanopartículas no corpo d'água através de fases de agitação, agitação lenta e precipitação.</p>			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
09	Método e aparelho para remoção de nanopartículas e gotículas de emulsão de soluções aquosas por eletrocoagulação e eletrofiltração simultâneas	Taiwan	TWI229656
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método e aparelho para remover nanopartículas e gotículas de emulsão de soluções aquosas por eletrocoagulação e eletrofiltração simultâneas. Sob um campo elétrico externo, os referidos contaminantes na solução formam flocos no reservatório anódico. Esses flocos são submetidos a eletrofiltração de fluxo cruzado usando um filtro adequado e posteriormente serem tratados, e o filtrado, pode ser reutilizado.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
10	Adsorvente magnético para remoção de nanopartículas de prata e método de preparação de adsorvente magnético	China	CN110215905
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> O invento consiste por adsorvente magnético que é rico em grupos amino e por consequência a superfície é carregada positivamente. O adsorvente magnético é rico em grupos amino ficando com a sua a superfície carregada positivamente, enquanto uma solução de nanopartículas de prata (AgNPs) em uma solução de estabilização com citrato de sódio é carregada negativamente. A partir disso, o adsorvente e AgNPs são adsorvidos por eletricidade estática e, mais adiante, separados por um campo magnético externo. Finalizado o processo, tanto o adsorvente magnético, que pode ser separado da solução, quanto as nanopartículas de prata, que foram adsorvidas, podem ser recicladas e reutilizadas, demonstrando que o adsorvente magnético tem amplas perspectivas de aplicação para adsorção de metais nobres.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
11	Plataforma funcional para captura e remoção rápida de nanopartículas	Estados Unidos	US10179732
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo, método e sistema usando ligantes multifuncionais como receptores para captura, sequestro e/ou rastreamento de nanopartículas. O sistema pode ser utilizado para descontaminação ambiental, fabricação de equipamentos de proteção individual, monitoramento de campo e estudos epidemiológicos.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
12	Instrumento para atração/remoção de nanopartículas magnéticas na odontologia	Brasil	BR102020023752
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Instrumento odontológico contendo um cabo não metálico com um orifício na ponta onde é inserido um ímã muito pequeno que pode ser utilizado na Odontologia na atração/remoção de nanopartículas magnéticas.</p>			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
13	Aparelho de exaustão	Japão	JP5039937
<b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo para remoção de nanopartículas e partículas nocivas. Dispositivo de exaustão para uma bancada limpa, utilizando o HEPA ou pré-filtro para separação de nanopartículas e partículas nocivas.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
14	Método para purificar corpo d'água poluído por nanotubos de carbono	China	CN101885527
<b>Resumo/Objetivos:</b> Um método para sedimentação, filtragem e remoção de nanotubos de carbono utilizando íons de cálcio. É adequado para o tratamento de um corpo d'água poluído por nanotubos de carbono. Pertence à nanotecnologia e campo técnico de proteção ambiental.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
15	Dispositivo e método de tratamento de gases VOC ( <i>Volatile Organic Compound</i> )	China	WO2020216370
<b>Resumo/Objetivos:</b> A presente invenção está no campo do tratamento de gases de escape. O aparelho é constituído por um dispositivo ultravioleta, um dispositivo de campo elétrico. O gás VOC é submetido a tratamento UV e ao campo elétrico, onde recebe o processo de despoejamento.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
16	Coletor de poeira e método de remoção de poeira	Japão	JP2015100716
<b>Resumo/Objetivos:</b> Um dispositivo de remoção de poeira e um método de remoção de poeira que retira nanopartículas contidas em um gás a ser tratado. Consiste na introdução do gás a ser tratado em um espaço de remoção de poeira onde recebe uma pulverização com gotículas e as nanopartículas são capturadas e removidas.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
17	Método de coleta de nanopartículas usando um ciclone e método de projeto do ciclone	Estados unidos	US6969420
<b>Resumo/Objetivos:</b> Um ciclone é usado para coletar nanopartículas. É formado por uma câmara e uma aleta guia localizada na câmara de modo a formarem uma passagem. Um fluxo arrasta as nanopartículas e as fazem girar rapidamente, fazendo com que colidam contra a parede interna da câmara, sendo, posteriormente, coletada. O ciclone é usado para remover nanopartículas de gases de exaustão industriais.			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
18	Dispositivo de filtragem de água de fluxo cruzado	Índia	IN202011014053
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo de filtragem de água de fluxo cruzado, compreendendo uma porta de entrada na parte superior para entrada de água, uma primeira camada de filtro dentro do dispositivo para remover partículas sólidas suspensas da água; uma camada de filtragem de carbono associada com a primeira camada de filtro para eliminar produtos químicos nocivos da água proveniente da primeira camada; uma camada de filtragem de nanopartículas conectada com a camada de filtragem de carbono para remover nanopartículas da água provenientes da camada de filtragem de carbono para produzir água filtrada; e uma porta de saída posicionada na parte inferior do dispositivo para descarregar águas residuais do dispositivo.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
19	Sistema de exaustão de emissão quase zero	Reino Unido	GB2573124
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método para produzir carbonato de cálcio a partir de gases de exaustão de combustão. O método compreende na remoção do material particulado e dióxido de enxofre dos gases de exaustão, tratamento dos gases de escape para remoção do monóxido de carbono, tratamento dos gases de escape para remover partículas e dióxido de enxofre e tratamento dos gases de escape para remover monóxido de carbono.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
20	Aparelho de filtro de nanopartículas para ar ambiente	Org. Europeia de Patentes (OPE/EPO)	EP2049228
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Um sistema de filtro para a entrada de ar limpo dentro de um espaço fechado. Um dispositivo para filtrar material nanoparticulado abaixo de 300 nm em um espaço fechado. Compreende pelo menos um meio filtrante contendo um material filtrante e um ventilador ou insuflador de ar.</p>			

**APÊNDICE B – TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS DESTINADAS A PREVENIR E  
AVALIAR A TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS NO ORGANISMO**

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
01	Método para aumentar a resistência do corpo à ação tóxica e genotóxica geral de uma combinação de nanopartículas de alumínio, titânio e óxido de silício	Rússia	RU2694844
<b>Resumo/Objetivos:</b> Método para aumentar a resistência do organismo ao desenvolvimento de efeitos nocivos da ação combinada de nanopartículas de óxidos de alumínio, titânio e silício.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
02	Método para aumento da resistência do organismo à ação tóxica combinada de nanopartículas de óxidos de cobre, zinco e chumbo	Rússia	RU2642674
<b>Resumo/Objetivos:</b> Método para redução dos efeitos adversos dos efeitos combinados de nanopartículas de óxidos de cobre (CuO), zinco (ZnO) e chumbo (PbO) sobre organismos, em grupos de risco abrangendo indivíduos expostos a tais efeitos em condições de produção.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
03	Aparelho de mistura de substâncias tóxicas com câmara de mistura múltipla para avaliação de risco ambiental	Coreia do Sul	KR101758813
<b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo para misturar substâncias tóxicas para avaliar as propriedades nocivas dessas substâncias no meio ambiente, incluindo nanosubstâncias.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
04	Método para aumentar a resistência do corpo ao efeito tóxico combinado crônico de nanopartículas de óxido de níquel e óxido de manganês	Rússia	RU2597157
<b>Resumo/Objetivos:</b> Medicamento para aumentar a resistência do organismo ao efeito tóxico combinado de nanopartículas de óxido de níquel e óxido de manganês nos pacientes relacionados a um grupo de risco.			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
05	Dispositivo de câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com múltiplas concentrações	Suíça, China, Alemanha, Org. Europeia de Patentes (OPE/EPO), Japão, Coreia do Sul, Holanda e Estados Unidos	EP3239714
<b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo de câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com várias concentrações, composta por vários módulos conjugados onde os animais de teste são colocados e expostos a nanopartículas com diferentes concentrações.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
06	Dispositivo modelo de pulmão para teste de toxicidade por inalação	Coreia do Sul e Estados Unidos	WO2016003080
<b>Resumo/Objetivos:</b> Dispositivo modelo de pulmão para um teste de toxicidade por inalação em tempo real, que utiliza modelo pulmonar para executar atividades semelhantes às que ocorrem nos pulmões humanos fazendo com que as nanopartículas fluam para um espaço interno do dispositivo e fiquem retidos em uma malha onde são avaliados.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
07	Método para prevenção de efeitos adversos à saúde da ação geral tóxica e genotóxica de nanopartículas de óxido de cobre	Rússia	RU2560682
<b>Resumo/Objetivos:</b> Complexo de preparações biologicamente ativas para reduzir os efeitos tóxicos e genotóxico das nanopartículas de óxido de cobre sobre o organismo nos grupos de risco, abrangendo pessoas, que sofrem a ação desta substância nas condições de produção.			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
08	Biomarcador para diagnóstico de toxicidade de nanopartículas e método para avaliação de toxicidade de nanopartículas	Estados Unidos	US9689019
<b>Resumo/Objetivos:</b> Marcador biológico para avaliar a segurança de nanomateriais avaliando as alterações funcionais de metabólitos e genes usando uma abordagem baseada em análise biológica de sistemas. É um invento que se destina a analisar a segurança de nanomateriais avaliando as alterações funcionais de metabólitos e genes, utilizando uma abordagem baseada na análise biológica de sistemas.			

Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
09	Um método para as avaliações de toxicidade de nanomateriais	Estados Unidos	EP2479551
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> método objetivo e preciso para a avaliação de toxicidade de nanomateriais, analisando as características do próprio nanomaterial, tais como, a concentração (número), tamanho e distribuição usando Microscopia de Iluminação Multiplano Seletiva (mSPIM).</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
10	Um método <i>in vitro</i> para a avaliação de toxicidade de nanomateriais	Coreia do Sul	KR101616589
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método para analisar o risco de toxicidade de nanomateriais minimizando o efeito da não homogeneidade das nanopartículas de uma solução.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
11	Controle da toxicidade de nanopartículas de ouro	Org. Europeia de Patentes (OPE/EPO)	EP2226082
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Processo de controle e/ou redução da toxicidade, especialmente citotoxicidade, de compostos de nanoaglomerados de ouro ou nanopartículas de ouro, respectivamente, essa patente traz compostos de ouro em nanoescala, especialmente nanoaglomerados de ouro ou nanopartículas de ouro, com a finalidade de reduzir ou diminuir a toxicidade, especialmente a citotoxicidade dessas nanopartículas, para que possam ser administrados como contrastes para formação de imagens diagnosticas médicas.</p>			
Item	Título da invenção	País de Proteção	Nº Publicação
12	Método rápido para determinação da toxicidade de nanomateriais em soluções <i>in vitro</i> usando espermatozoides bovinos como objeto de teste	Ucrânia	UA101308
<p><b>Resumo/Objetivos:</b> Método rápido para determinar a toxicidade de nanomateriais em soluções <i>in vitro</i> usando espermatozoides bovinos como objeto de teste. O método inclui a preparação de amostras para estudo e controle, seguido da determinação do índice de toxicidade (IT) com base na relação entre os parâmetros de motilidade da suspensão de espermatozoides bovinos nas amostras de estudo e controle, de acordo com o método de avaliação de risco <i>in vitro</i>.</p>			

## APÊNDICE C – PUBLICAÇÕES GERADAS NO MESTRADO

### Artigo / capítulo de livro

Artigo apresentado em 2021 no VII ENPI - Encontro Nacional de Propriedade Intelectual, premiado com Menção Honrosa e escolhido para fazer parte de capítulo do livro Propriedade Intelectual, Inovação e Conexões como Estratégias. *Link* de acesso: <http://www.api.org.br/conferences/index.php/ENPI2021/index/schedConfs/archive>

**Artigo** “Regulação e Políticas Públicas: Prevenção aos Riscos Gerados pelos Nanomateriais”. Propriedade Intelectual, Inovação e Conexões como Estratégias. 2022. *Link* de acesso: [http://backupbooks.com.br/index.php?route=product/product&path=33&product\\_id=64](http://backupbooks.com.br/index.php?route=product/product&path=33&product_id=64)

Autores: José Robson da Silva Dias; Ângela Maria Ferreira Lima; Marcelo Santana Silva; Deise Danielle Neves Piau e Jerisnaldo Matos Lopes.

### Artigo apresentado em eventos

**Artigo** “Prospecção bibliográfica sobre os Riscos Ocupacionais dos Nanomateriais”. XI ProspeCT&I 2021 - V Congresso Internacional do PROFNIT, 27 de setembro a 02 de outubro de 2021. *Link* de acesso: <https://profnit.org.br/xi-prospecti-2021/>

Autores: José Robson da Silva Dias e Ângela Maria Ferreira Lima.

## APÊNDICE D – ARTIGO ORIGINAL SUBMETIDO À REVISTA QUALIS A2

### Perigo oculto nos nanomateriais: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo

#### Resumo

*Considerada uma das precursoras da Quinta Revolução Tecnológica, a nanotecnologia tem se destacado como um agente propulsor para o desenvolvimento de muitos países, porém, esse destaque contrasta com uma preocupação sobre a deposição dos nanomateriais no organismo e seus efeitos à saúde e ao meio ambiente. Desse modo, este artigo visa a mostrar os possíveis perigos à saúde humana e ambientais associados a alguns nanomateriais e, por meio de uma prospecção patentária, identificar as tecnologias capazes de removê-los, desintoxicar o organismo ou minimizar o risco. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória com abordagem quali-quantitativa, utilizando a pesquisa bibliográfica, documental e patentária para a coleta de dados, análise e síntese de conteúdo, bem como a Matriz SWOT. A pesquisa patentária foi realizada na base de dados do Orbit Intelligence, sendo identificadas 20 famílias de patentes relacionadas a remoção de diversos nanomateriais, destacando-se um método para remoção de nanopartículas em estação de tratamento de água, utilizando uma nanopartícula magnética para capturar uma outra nanopartícula (alvo) por adsorção. Foram encontradas, também, 12 famílias de patentes para prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais no organismo, como por exemplo, um produto farmacêutico para fortalecer o organismo da ação tóxica e genotóxica das nanopartículas. Quanto a desintoxicação do organismo humano, nenhuma tecnologia foi encontrada para a estratégia de busca utilizada. Portanto, ter ciência dos impactos a saúde e ao meio ambiente causados por alguns nanomateriais, é o início para que se encontrem soluções e métodos que neutralizem os seus potenciais efeitos.*

**Palavras-Chave:** Nanotecnologia, Nanoestruturas, Toxicidade, Saúde Ocupacional, Patente.

## ABSTRACT

*Nanotechnology has increasingly stood out as a propelling agent for scientific, technological and social advancement in many countries, however, this contrasts with a concern about the deposition of nanomaterials in the body and its effects on health and the environment. This article aims to show the possible human health and environmental hazards associated with some nanomaterials and, through a patent prospecting, identify the technologies capable of removing them, detoxifying the body or minimizing the risk. Thus, an exploratory research was carried out with a qualitative-quantitative approach, using bibliographic, documentary and patent research for data collection, analysis and content synthesis. The patent research was carried out in the Orbit Intelligence database, where 20 patent families related to the removal of various nanomaterials were identified, highlighting a device, method and system to quantify, in real time, the concentration and size distribution of nanoparticles intended for environmental, clinical, epidemiological and occupational exposure studies. We also found 12 patent families to prevent and evaluate the toxicity of nanomaterials in the body, such as a pharmaceutical product to strengthen the body from the toxic and genotoxic action of nanoparticles. Regarding the detoxification of the human organism, no technology was found for the search strategy used. It is concluded that knowing the real impacts that nanomaterials can cause to living beings and the environment, is the beginning to find solutions and methods that neutralize their potential effects.*

**Keyword:** Nanotechnology, Nanostructures, Toxicity, Occupational Health, Patent.

## Introdução

Cada vez mais a nanotecnologia é reconhecida como um instrumento importante para o desenvolvimento científico, tecnológico e social em muitos países, principalmente dado ao seu potencial de agregar valor e pela sua transversalidade de aplicação em diversas áreas. Muitos estudiosos a avaliam como a tecnologia responsável pela Quarta Revolução Industrial, assim como, uma das precursoras da Quinta Revolução Tecnológica <sup>1</sup>.

Os nanomateriais, que compõem as nanotecnologias, podem ser encontrados naturalmente no meio ambiente, a partir das emissões vulcânicas, nos fios das teias de algumas espécies de aranhas, ou decorrentes da atividade humana (antropogênicas), como por exemplo, os gases de escape dos motores diesel ou fumo de tabaco <sup>2</sup>.

Os riscos à saúde variam conforme a composição do nanomaterial, podendo, ao penetrar no organismo ser absorvidos, distribuídos e metabolizados, contaminando os pulmões, fígado, rins, coração, órgãos reprodutores, cérebro, baço, esqueleto e tecidos moles, bem como os fetos e leite materno de mães lactantes <sup>3,4</sup>.

No meio ambiente, um dos impactos dos nanomateriais está nas alterações físico-químicas que provocam, desencadeando efeitos ecotoxicológicos ainda desconhecidos <sup>5</sup>, assim como nos efeitos biológicos, ainda poucos estudados, que os nanomateriais geram na maioria das espécies, já que existem uma grande variedade de microorganismos, plantas e animais no meio ambiente, que respondem de modo diferente para um mesmo nanomaterial <sup>6,7</sup>.

Então, diante do exposto e frente a este cenário de avanço da nanotecnologia contrapondo-se com a necessidade de mais pesquisas científicas, principalmente estudos à longo prazo, sobre os potenciais perigos e riscos à saúde humana e ao meio ambiente advindos do uso dos nanomateriais antes de sua entrada no mercado, questiona-se: Quais inovações tecnológicas têm sido desenvolvidas para eliminar ou minimizar os impactos à saúde e ao meio ambiente causado pela exposição aos nanomateriais?

Logo, o objetivo deste artigo é analisar os principais perigos à saúde e ao meio ambiente gerados por alguns nanomateriais e identificar as inovações tecnológicas criadas para eliminar ou minimizar o risco.

## Referencial teórico

Desde o final do século XX já se percebiam os riscos associados dos nanomateriais à saúde e ao meio ambiente <sup>8</sup>. Em um artigo publicado por Shvedova *et al.* <sup>9</sup>, analisando a exposição ocupacional, foi avaliados os efeitos adversos de nanotubos de carbono de parede simples (SWCNT, do inglês: *Single Wall Carbon Nanotube*), usando uma cultura de células epiteliais brônquicas humanas. Os pesquisadores concluíram que a exposição ao SWCNT pode levar à toxicidade pulmonar, devido ao estresse oxidativo acelerado no pulmão dos trabalhadores expostos <sup>9</sup>.

A *International Agency for Research on Cancer* (IARC), em 2016, fundamentada em um estudo desenvolvido por Turpin <sup>10</sup>, classificou tanto a exposição a poluentes do ar externo quanto o material particulado (nanopartículas) que a compõe, como carcinogênico para humanos - Grupo 1, os associando ao desenvolvimento de câncer pulmonar com evidências de que estejam também relacionados ao câncer de bexiga <sup>11</sup>.

Em uma decisão tomada em 2017, a IARC, após analisar algumas pesquisas sobre as partículas biopersistentes e fibras, e fundamentada em estudos com alguns Nanotubos de Carbono de Paredes Múltiplas (MWCNT, do inglês: *Multi-Walled Carbon Nanotube*) <sup>12</sup>, reconheceu somente os nanotubos de carbono de paredes múltiplas MWCNT-7, com diâmetro de 40 a 170nm e comprimento de 1 a 19µm, como possivelmente carcinogênicos para humanos (Grupo 2B).

Em estudo recente, avaliando outros MWCNT, Scala *et al.* <sup>13</sup> concluíram que os MWCNT fabricados (não purificados), com diâmetro externo de 8 a 15nm, diâmetro interno de 4 a 8nm e comprimento de 2 a 15µm, desencadeiam um efeito epigenético nos pulmões dos animais expostos, acarretando alterações subsequentes da expressão genética, além de comprometer as vias de contração muscular, sistema imunológico e inflamatório e, por fim, da matriz extracelular.

Portanto, não há como negar a importância que as nanotecnologias têm no contexto atual trazendo eficiência e economia para questões mundiais que são importantes, como energia, transporte, poluição, saúde e alimentação, porém, são necessárias mais pesquisas, principalmente à longo prazo, que tragam informações mais assertivas sobre a utilização, fornecendo orientações sobre o manuseio correto de nanomateriais e definindo com mais precisão, o perigo, a exposição e os riscos envolvidos antes de chegarem ao mercado.

## Metodologia

O estudo foi realizado a partir de uma pesquisa exploratória com abordagem quali-quantitativa, utilizando a pesquisa bibliográfica, documental e patentária para a coleta de dados, além da análise e síntese de conteúdo.

### Procedimento e estratégia metodológica

- Prospecção bibliográfica

A coleta de dados ocorreu a partir de consultas em artigos científicos nacionais e internacionais, normas técnicas, teses e dissertações em busca de registros que abordassem, em seu contexto, o tema de estudo.

A prospecção bibliográfica foi realizada entre janeiro e setembro de 2022 na base de dados da plataforma *Scopus*, utilizando-se para tal fim, estratégia de busca por palavras-chave, operadores booleanos e truncamento dentre outras, para um recorte temporal de registros entre os anos de 2001 a 2021, quando se iniciaram as discussões e pesquisas sobre os riscos gerados pelos nanomateriais a saúde e ao meio ambiente.

- Prospecção patentária no *Orbit*

Entre os meses de março e setembro de 2022, foram realizadas buscas, avaliações e triagem de patentes na base de dados da plataforma do *Orbit Intelligence*, com uma temporalidade de pesquisa fixada entre os anos de 2001 e 2021.

Com o intuito de recuperar tecnologias inovadoras que tratem da remoção de diversos nanomateriais, dentre elas, as nanopartículas e os nanotubos, foi realizada uma consulta por pesquisa avançada (*advanced search*), tendo como estratégia o uso do conector de proximidade “W” e do operador booleano “OR” entre as palavras-chave, que após experimentações e aprimoramentos resultou nos termos escritos na língua inglesa: “*remov\* 1W (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*)*”, com truncamento à direita, para os campos título e resumo da plataforma de pesquisa.

Em outra busca, a procura de famílias de patentes que trouxessem no seu título e resumo a possibilidade da desintoxicação ou remoção dos nanomateriais ao nível

celular e orgânica do corpo humano, definiu-se como estratégia a sintaxe: (*remov\* OR detox\**) 1W (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**) AND (*cell\* OR body\**), em inglês, com truncamento à direita.

Em outra estratégia, a procura por métodos inovadores no que diz respeito à prevenção ao perigo de contaminação do organismo pela nanotoxicidade dos nanomateriais, definiu-se as palavras-chave: “(*risk\* OR hazard\**) AND (*nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\**)” em inglês, com truncamento à direita, para os campos título e resumo, e “(*prevent\* OR toxic\**)” também em inglês, com truncamento à direita, apenas no campo título.

- Análise das forças, oportunidades, fraquezas e ameaças (SWOT)

A análise das Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT, do inglês: *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threat*), é uma ferramenta estratégica desenvolvida, na década de 70, por Kenneth Andrews e Roland Christensen que com o objetivo de estudar a competitividade de uma organização <sup>14</sup>. Atualmente pode ser utilizada como análise estratégica tanto no meio empresarial quanto em estudo de viabilidade para algum negócio ou outras do cotidiano <sup>15</sup>.

A análise SWOT tem a função de confrontar as oportunidades e ameaças externas à organização com seus pontos fortes e fracos, dando aos gestores uma percepção maior da organização cujo diagnóstico os direcionará para futuras tomadas de ações e decisões <sup>16</sup>.

A partir desse entendimento, foi utilizada a análise SWOT para identificar quais fatores, internos e externos, podem influenciar no desenvolvimento das tecnologias para remoção ou desintoxicação do organismo.

## **Resultados e discussão**

### Prospecção patentária no *orbit*

Nesta seção apresentam-se os resultados das pesquisas que foram realizadas na base de dados de patentes do *Orbit Intelligence*, conforme as 3 estratégias de buscas detalhadas na metodologia, com o quantitativo de famílias de patentes que foram encontradas associadas às palavras-chave (Quadro 1).

Quadro 1 - Estratégias de busca e quantidade de famílias de patentes identificadas, para recorte temporal de 2001 a 2021.

<b>ESTRATÉGIAS DE BUSCA</b>		
<b>ORBIT</b>		
<b>Palavras-chave</b>	<b>Linha de comando/Sintaxe</b>	<b>Número de registros</b>
a) <i>remov* 1W (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*)</i>	<i>(remov+ 1W (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+)) /TI/AB AND EAPD=2001-01-01:2021-12-31</i>	136
b) <i>(remov* OR detox*) 1W (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*) AND (cell* OR body*)</i>	<i>((remov+ OR detox+) 1W (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+)) AND (cell+ OR body+)/TI/AB AND EAPD=2001-01-01:2021-12-31</i>	23
c) <i>(risk* OR hazard*) AND (nanomat* OR nanopart* OR nanotube*) AND (prevent* OR toxic*)</i>	<i>((risk+ OR hazard+) AND (nanomat+ OR nanopart+ OR nanotube+)/TI/AB AND (prevent+ OR toxic+)/TI) AND (EAPD = 2001-01-01:2021-12-31)</i>	57

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *Orbit Intelligence*.

Realizando as buscas com as palavras-chave “*remov\* 1W (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*)*” (estratégia “a” do Quadro 1) nos campos título e resumo simultaneamente, e delimitando os dados para o período entre 2001 e 2021, foram encontrados 136 famílias de patentes.

Analisando a distribuição dessas famílias de patentes pelos principais domínios tecnológicos pelos quais foram mais identificados, observou-se que 38,2% (52 famílias de patentes) são inventos relacionados a área de “Microestrutura e Nanotecnologia”, 27,9% (38 famílias de patentes) com o campo de “Engenharia Química” e 24,2% (33 famílias de patentes) associados a “Tecnologia Ambiental”. Além desses segmentos tecnológicos, também cabe citar as Tecnologias Farmacêuticas que embora respondam por apenas 6,6% (09 famílias de patentes), possuem inventos relacionados ao tema pesquisado.

Então, em busca das tecnologias procuradas, utilizou-se Tecnologia Ambiental e a Farmacêuticas, como critério de refinamento para a pesquisa, resultando em 42 famílias de patentes, que após análise e eliminação dos que não estavam relacionados ao tema, resultou em 20 famílias de patentes.

Analisando a condição legal dessas 20 famílias de patentes, que é um indicativo do envolvimento com a proteção e um demonstrativo dos inventos tecnológicos que estão disponíveis para exploração e livres de litígios judiciais, até a data deste estudo, em

2022, observaram-se que 70% das famílias de patentes estavam ativas, e 30% se encontram inativas, ou seja, em domínio público.

No Quadro 2 é mostrado um resumo das 20 patentes obtidas.

Quadro 2 - *Orbit Intelligence* - Registros das patentes relacionadas a remoção dos nanomateriais.

Item	Nº Publicação	Patente	Aplicação
01	EP2828212	Remoção de nanotubos de carbono de um sistema de água	Tratamento de água
02	EP2838840	Remoção de nanotubos de carbono de um efluente de reator contínuo	Tratamento de água
03	PL236027B1	Método para remoção de nanopartículas de íons de prata ou prata em soluções aquosas, e obtenção de nanocompósito com nanopartículas de prata	Tratamento de água
04	IN201911027383	Método e sistema para remoção de nanopartículas da água	Tratamento de água
05	CN106006874	Novo método para remover nanopartículas em água	Tratamento de água
06	CN102826687	Método para remoção de nanopartículas em corpo d'água	Tratamento de água
07	CN101885527	Método para purificar corpo d'água poluído por nanotubos de carbono	Tratamento de água
08	TWI229656	Método e aparelho para remoção de nanopartículas e gotículas de emulsão de soluções aquosas por eletrocoagulação e eletrofiltração simultâneas	Tratamento de água
09	CN110215905	Adsorvente magnético para remoção de nanopartículas de prata e método de preparação de adsorvente magnético	Tratamento de água
10	IN202011014053	Dispositivo de filtragem de água de fluxo cruzado	Tratamento de água
11	WO2022169194	Filtro/coletor de pó de despoejamento intensivo capaz de remover pó fino de nanopartículas	Poluição do ar
12	WO2020216370	Dispositivo e método de tratamento de gases VOC ( <i>Volatile Organic Compound</i> )	Poluição do ar
13	JP5039937	Aparelho de exaustão	Poluição do ar
14	GB2573124	Sistema de exaustão de emissão quase zero	Poluição do ar

Item	Nº Publicação	Patente	Aplicação
15	EP2049228	Aparelho de filtro de nanopartículas para ar ambiente	Poluição do ar
16	CN108245995	Método para remover eficientemente nanopartículas de material à base de silício mesoporoso ordenado	Poluição do ar
17	JP2015100716	Coletor de poeira e método de remoção de poeira	Poluição do ar
18	US6969420	Método de coleta de nanopartículas usando um ciclone e método de projeto do ciclone	Poluição do ar
19	BR102020023752	Instrumento para atração/remoção de nanopartículas magnéticas na odontologia	Odontologia
20	US10179732	Plataforma funcional para captura e remoção rápida de nanopartículas	Avaliação, medição e controle ambiental

Fonte: elaboração própria, com base em Denton *et al.*<sup>17,18</sup>, Banach *et al.*<sup>19</sup>, Tropita<sup>20</sup>, Zou *et al.*<sup>21</sup>, Wang *et al.*<sup>22</sup>, Haifang *et al.*<sup>23</sup>, Yang<sup>24</sup>, You, Xu e Ding<sup>25</sup>, Vallabh<sup>26</sup> Song<sup>27</sup>, Tang *et al.*<sup>28</sup>, Kosuke e Hiroshi<sup>29</sup>, Allan<sup>30</sup>, Mayer *et al.*<sup>31</sup>, Xing *et al.*<sup>32</sup>, Oishi e Shuzenji<sup>33</sup>, Chien, Hsu e Tsai<sup>34</sup>, Alves e Feitosa<sup>35</sup>, Andreescu e Othman<sup>36</sup>.

Examinando as aplicações dessas 20 patentes que foram elencadas no Quadro 2, observa-se que 10 delas estão relacionadas a tratamento de água, 8 a poluição do ar, 1 a área de odontologia e 1 que pode ser aplicada para várias situações, como por exemplo, em avaliação, medição e controle ambiental.

Das patentes relacionadas ao tratamento de água, destacaram-se duas patentes que estão protegidas em 16 países e cujos depositantes são as empresas estadunidenses, *Company Exxonmobil Upstream Research* e a *Solid Carbon Products*. A patente nºEP2828212<sup>17</sup> refere-se a um método para remover nanotubos de carbono de um sistema de água, e a patente nº EP2838840<sup>18</sup> promove a remoção de nanotubos de carbono em um efluente de reator contínuo e por meio dele, gerar uma corrente, além de componentes gasosos.

Destacaram-se também, duas patentes que podem ser utilizadas em estação de tratamento de água e efluentes. A patente nº CN106006874<sup>21</sup>, depositada pela *Sichuan University of Science & Engineering* em conjunto com o instituto de pesquisa *Zhonghao Chenguang Chemical Institute*, trata-se de um método para remoção de nanopartículas em água de estação de tratamento, sendo utilizada uma nanopartícula magnética para capturar uma outra nanopartícula (alvo) por adsorção, sendo separadas do fluido por um campo magnético.

E a patente nº PL236027B1 <sup>19</sup> que traz um método para remoção de nanopartículas metálicas, em especial íons de prata ou prata, onde as nanopartículas ficam retidas (adsorção) ao serem misturadas ao calcário dolomítico moído ou, então, por filtragem ao percorrerem um leito de sorção contendo esse mesmo calcário.

Quanto as patentes relacionadas a prevenção da poluição do ar, destacou-se a patente nº US6969420 <sup>34</sup>, em domínio público, depositada pelo *Industrial Technology Research Institute*, sediado em Taiwan, que mostra um método de coleta de nanopartículas usando um ciclone, prometendo eficiência na remoção das partículas ultrafinas que são liberadas na indústria, evitando assim à sua dispersão no ambiente externo.

Outro invento é a patente nº JP5039937 <sup>29</sup>, que está ativa e foi depositada pela empresa *Airtech Japan*, referente a um dispositivo para remoção de nanopartículas e partículas nocivas utilizando um aparelho de exaustão contendo um filtro HEPA.

Destacaram-se também, as patentes nº CN108245995 <sup>32</sup> e EP2049228 <sup>31</sup>, em domínio público, que mostram um método para a remoção de nanopartículas utilizando um filtro com material ordenado à base de sílica mesoporosa; e um dispositivo contendo um material filtrante conjugado com um ventilador ou insuflador de ar, respectivamente.

Uma outra tecnologia, desenvolvida pelo Centro Avançado de Ortodontia Paulo Picanço, no Brasil, é o pedido de patente nº BR102020023752 <sup>35</sup> que trata-se de um instrumento odontológico para atração/remoção de nanopartículas magnéticas.

Ainda com base nessa estratégia, foi possível encontrar uma tecnologia cuja patente nº US10179732 <sup>36</sup> está ativa e que se mostra um importante instrumento na avaliação do risco ocupacional às nanopartículas, os quais os trabalhadores podem estar expostos durante o processo fabril, comprovando uma preocupação crescente sobre as implicações dos nanomateriais engenheirados sobre a saúde, segurança e meio ambiente.

Partindo para a segunda estratégia de busca que foi definida com os termos: “(remov\* OR detox\*) 1W (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*) AND (cell\* OR body\*)” (estratégia “b” do Quadro 1), para pesquisa simultânea nos campos título e resumo, foram recuperadas 23 famílias de patentes.

Avaliando a distribuição dessas 23 famílias de patentes por entre os grupos definidos pela Classificação Internacional de Patentes (IPC, do inglês: *International Patent Classification*), percebeu-se uma distribuição de modo uniforme, com os

inventos mais relacionados aos grupos IPC A61K-009 e B82Y-030 com 5 famílias de patentes cada, e aos grupos A61K-047, B01J-020, B03C-001, B82Y-005, B82Y-040, C02F-001 e G01N-033 com 3 famílias de patentes cada.

Após análise dos documentos, em especial aos dos grupos B82Y-005 e B82Y-040 onde podem estar as tecnologias objeto dessa pesquisa, percebeu-se que nenhuma das patentes estavam associadas diretamente com o tema da busca: “remoção dos nanomateriais ou a desintoxicação ao nível celular e orgânica do corpo humano”.

Realizando a terceira estratégia de busca com as palavras-chave: “(risk\* OR hazard\*) AND (nanomat\* OR nanopart\* OR nanotube\*)” no campo título e resumo, e “(prevent\* OR toxic\*)” apenas no campo título (estratégia “c” do Quadro 1), foram encontradas 57 famílias de patentes. Após análise desses documentos com a eliminação dos indesejados, ou seja, dos que não estavam relacionados ao tema da busca, obtiveram-se 12 famílias de patentes conforme elencados no Quadro 3.

Quadro 3 - *Orbit Intelligence* - Registros das patentes relacionados a prevenção ou avaliação da toxicidade de nanomateriais.

Item	Nº Publicação	Patente	Aplicação
01	RU2560682	Método para prevenção de efeitos adversos à saúde da ação geral tóxica e genotóxica de nanopartículas de óxido de cobre	Produto farmacêutico
02	RU2597157	Método para aumentar a resistência do corpo ao efeito tóxico combinado crônico de nanopartículas de óxido de níquel e óxido de manganês	Produto farmacêutico
03	RU2642674	Método para aumento da resistência do organismo à ação tóxica combinada de nanopartículas de óxidos de cobre, zinco e chumbo	Produto farmacêutico
04	RU2694844	Método para aumentar a resistência do corpo à ação tóxica e genotóxica geral de uma combinação de nanopartículas de alumínio, titânio e óxido de silício	Produto farmacêutico
05	UA101308U	Método rápido para determinação da toxicidade de nanomateriais em soluções in vitro usando espermatozoides bovinos como objeto de teste	Avaliação ambiental
06	US9689019	Biomarcador para diagnóstico de toxicidade de nanopartículas e método para avaliação de toxicidade de nanopartículas	Avaliação ambiental
07	KR101758813	Aparelho de mistura de substâncias tóxicas com câmara de mistura múltipla para avaliação de risco ambiental	Avaliação ambiental

Item	Nº Publicação	Patente	Aplicação
08	EP3239714	Dispositivo de câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com múltiplas concentrações	Avaliação ambiental
09	KR101616589	Um método <i>in vitro</i> para a avaliação de toxicidade de nanomateriais	Avaliação ambiental
10	WO2016003080	Dispositivo de teste de toxicidade por inalação em tempo real usando modelo de pulmão	Avaliação ambiental
11	EP2479551	Um método para as avaliações de toxicidade de nanomateriais	Avaliação ambiental
12	EP2226082	Controle da toxicidade de nanopartículas de ouro	Diagnóstico médico

Fonte: elaboração própria, com base em Minigalieva *et al.* <sup>37,38,39</sup>, Privalova *et al.* <sup>40</sup>, Leonenko e Demetska <sup>41</sup>, Shim *et al.* <sup>42</sup>, Bong, Kim e Bong <sup>43</sup>, Lee *et al.* <sup>44</sup> Yoon *et al.* <sup>45</sup> Lee e Yang <sup>46</sup>, Yoon *et al.* <sup>47</sup> Jahnen-Dechent *et al.* <sup>48</sup>

Examinando os documentos dispostos no Quadro 3, que mostra as soluções tecnológicas capazes de prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais, percebe-se que das 12 famílias de patentes, 7 estão relacionados a avaliação ambiental, 4 a produtos farmacêuticos e 1 voltada a diagnóstico médico.

Das tecnologias destinadas a avaliação ambiental, destacaram-se 3 patentes relevantes. A patente nº EP3239714 <sup>44</sup> refere-se a uma câmara de teste de toxicidade por inalação para nanopartículas com várias concentrações, composta por vários módulos conjugados onde os animais de teste são colocados e expostos a nanopartículas com diferentes concentrações.

A patente nº WO2016003080 <sup>46</sup> traz um teste de toxicidade por inalação em tempo real, que utiliza uma estrutura (caixa) como modelo pulmonar que tendo células pulmonares ligados à sua estrutura, consegue repetir condições semelhantes à de um pulmão humano.

Outra patente que também se destaca é a patente nºUS9689019 <sup>42</sup>, que é um biomarcador (método e dispositivo) para diagnosticar a toxicidade de nanopartículas analisando as alterações funcionais de metabólitos e genes.

Das patentes relacionadas a produtos farmacêuticos, tem-se as patentes nº RU2560682 <sup>37</sup>, RU2597157 <sup>38</sup>, RU2642674 <sup>39</sup> e RU2694844 <sup>40</sup> que mostram um método para aumentar a resistência do corpo à ação tóxica e genotóxica para uma combinação de óxidos de alumínio, titânio, zinco, chumbo, silício, cobre, níquel e

manganês, onde indivíduos ingerem um composto bioativo formado por glutamato de sódio, glicina, N-acetilcisteína, *pectin enterosorbent*, ácidos graxos ômega-3, vitaminas A, C, D, E, selênio, cálcio, ferro e iodo.

Já para o campo de diagnósticos médicos, foi identificada a patente nº EP2226082 <sup>48</sup>, que traz um método com a finalidade de reduzir ou diminuir a toxicidade de nanoaglomerados de ouro ou nanopartículas de ouro, especialmente a citotoxicidade dessas nanopartículas, que são utilizados como contrastes na formação de imagens para diagnósticos médicos.

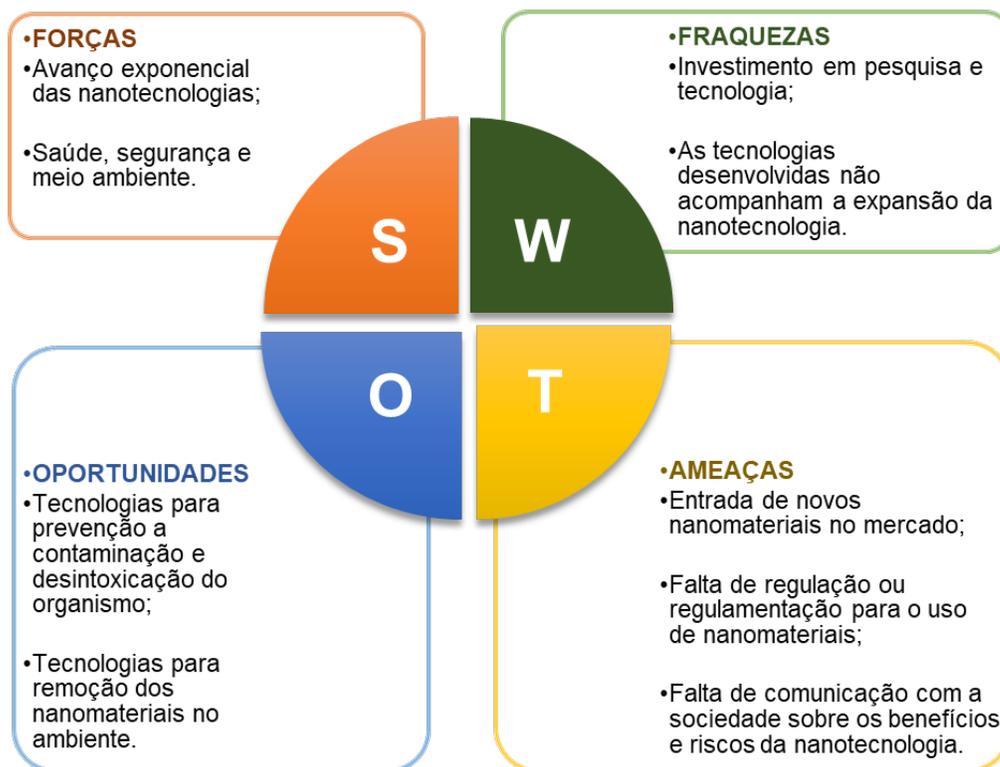
De modo geral, após análise dos resultados realizadas na plataforma do *Orbit Intelligence* para as estratégias de buscas “a”, “b” e “c” do Quadro 1, percebeu-se a existência de tecnologias disponíveis para remoção de nanopartículas do meio ambiente, porém não sendo encontrados até o momento para a desintoxicação no organismo, já que as nanopartículas podem afetar, de modo irreversível, os órgãos, células e o DNA.

Porém, com a possibilidade da utilização de nanopartículas superparamagnéticas para a remoção de alvos patógenos, vislumbra-se a possibilidade da criação de outra tecnologia capaz de promover a remoção de uma outra nanopartícula, algo semelhante ao que é proposto pela patente nº CN106006874 <sup>21</sup>. Entretanto, enquanto isso não acontece outras tecnologias oferecem métodos para avaliar a toxicidade dos nanomateriais e para o fortalecimento do organismo da ação tóxica e genotóxica de uma combinação variadas de nanopartículas.

### Análise matriz SWOT

A análise dos registros de patentes por meio da matriz SWOT, possibilitou a identificação de alguns aspectos que podem influenciar no desenvolvimento dessas tecnologias, como observa-se na Figura 9.

Figura 1 - Matriz SWOT.



Fonte: elaboração própria.

- Análise dos fatores internos – forças e fraquezas

Analisando a Figura 9, com os aspectos de força e fraqueza para as tecnologias encontradas percebe-se:

### **Forças**

- Avanço exponencial das nanotecnologias – O avanço com o desenvolvimento das nanotecnologias, algumas preocupações têm surgido sobre os perigos à saúde e ao meio ambiente do uso dos nanomateriais, tornando-se um fator para o desenvolvimento de tecnologias que possam eliminar ou minimizar o seu impacto.
- Saúde, segurança e meio ambiente – Outro fator importante para o fortalecimento das patentes encontradas, está na crescente preocupação sobre a saúde e segurança dos trabalhadores, consumidores e meio ambiente no que diz respeito aos perigos intrínsecos de alguns nanomateriais.

### **Fraquezas**

- Investimento em pesquisa e tecnologia – Devido a constante evolução nanotecnológica com a produção e lançamento de novos materiais sem um estudo

prévio dos seus perigos, é necessário investimento em pesquisas para o seu controle. - As tecnologias desenvolvidas não acompanham a expansão da nanotecnologia – As tecnologias destinadas para o controle dos riscos e perigos da tecnologia sofrem um interim entre o lançamento do nanomaterial no mercado e o estudo sobre o perigo do seu uso e isso traz uma fragilidade para o desenvolvimento da tecnologia.

Então, analisando os fatores internos e a relação entre as forças e fraquezas, percebe-se a viabilidade da implantação do Programa Nacional de Nanosseguurança estabelecido pela Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN) <sup>49</sup>, com a aplicação do conceito de Segurança desde o Projeto (SbD – do inglês: *Safe by Design*) onde a segurança ocupacional e ambiental são estudadas desde a fase inicial do projeto, possibilitando que o desenvolvimento ocorra em concomitância com a pesquisa sobre os seus riscos e perigos <sup>50</sup>.

- Análise dos fatores externos – oportunidades e ameaças

Detalhando os aspectos oportunidades e ameaças apresentados na Figura 9, tem-se:

#### **Oportunidades**

- Tecnologias para a prevenção a contaminação e desintoxicação do organismo – Com a identificação de uma tecnologia que aumenta a resistência do organismo à contaminação, oportuniza-se não só a criação de outros inventos semelhantes, mas também pesquisas que tragam tecnologias que possam desintoxicar o organismo contaminado por nanomateriais.

- Tecnologias para remoção dos nanomateriais no ambiente – Com a evolução da nanotecnologia e o uso massivo dos nanomateriais para as mais variadas aplicações, o desenvolvimento de tecnologias que promovam a remoção dos nanomateriais seja no ar, na água e no solo, será cada vez mais requisitado.

#### **Ameaças**

- Entrada de novos nanomateriais no mercado – Necessidade em manter-se atualizado sobre a entrada no mercado de novos produtos em nanoescala, isso pode atrasar o desenvolvimento das tecnologias.

- Falta de regulação ou regulamentação para o uso de nanomateriais – A falta de marcos regulatórios ou de uma regulamentação específica que definam de forma objetiva sua aplicabilidade e as responsabilidades por possíveis riscos gerados pela tecnologia, torna-se um fator negativo para que se invista em estudos sobre a

toxicidade de tecnologias que prezem pela segurança na fabricação dos nanomateriais.

- Falta de comunicação com a sociedade sobre os benefícios e riscos da nanotecnologia – Esse aspecto prejudica no desenvolvimento das tecnologias já que mesmo as nanotecnologias estando presente em diversas áreas, é necessária uma maior compreensão sobre o seu perigo e risco.

Portanto, com a análise dos fatores externos (oportunidades e ameaças), foram observadas oportunidades que podem aumentar as vantagens competitivas dessas tecnologias, como a criação de inventos que possam evitar que o organismo se contamine com algum nanomaterial e, também, que possibilite a sua desintoxicação, além da criação de mecanismo de governança para facilitar a comunicação com a sociedade sobre os benefícios e riscos da nanotecnologia.

## **Conclusões**

Este estudo atendeu ao objetivo proposto ao discorrer sobre os principais perigos à saúde e ao meio ambiente causados por alguns nanomateriais e as soluções tecnológicas inovadoras capazes de eliminar ou minimizar o risco. Ao longo desse estudo também foi respondido o problema de pesquisa sobre quais inovações tecnológicas foram desenvolvidas que tenham a capacidade de eliminar ou minimizar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente causado pela exposição aos nanomateriais.

Nessa perspectiva foram identificadas 20 famílias de patentes que tratam da remoção de diversos nanomateriais no ambiente, sendo 10 relacionadas ao tratamento de água, 8 de aplicação de controle do ar, 1 para odontologia e 1 que pode ser aplicada em várias situações, como por exemplo, em avaliação, medição e controle ambiental. Dentre essas patentes destaca-se o documento nº CN106006874 <sup>21</sup>, que traz um método para remoção de nanopartículas em estação de tratamento de água, sendo utilizada uma nanopartícula magnética para capturar uma outra nanopartícula (alvo) por adsorção, sendo separadas do fluido por um campo magnético.

No que diz respeito a soluções tecnológicas capazes para prevenir e avaliar a toxicidade dos nanomateriais no organismo, foram encontradas 12 famílias de patentes, sendo 7 relacionados a avaliação ambiental, 4 voltados a produtos farmacêuticos e 1 referentes a diagnóstico médico.

Dessas patentes destacaram-se as patentes nº RU2560682 <sup>37</sup>, RU2597157 <sup>38</sup>, RU2642674 <sup>39</sup> e RU2694844 <sup>40</sup> referentes a produtos farmacêuticos que propõem, com a administração de um medicamento, o fortalecimento do organismo da ação tóxica e genotóxica para uma combinação variadas de nanopartículas.

Quanto ao diagnóstico realizado por meio da matriz SWOT com o intuito de identificar nas tecnologias, os seus pontos mais fortes e os que necessitam de aprimoramento, concluiu-se que com a implantação do conceito de “Segurança desde o Projeto (SbD)”;

com a regulação ou regulamentação do uso dos nanomateriais; e com a criação de inventos que possam evitar que o organismo se contamine por algum nanomaterial ou que possibilite a sua desintoxicação, haverá uma perspectiva futura de crescimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação para essas tecnologias.

Esta pesquisa se limitou em investigar documentos que tivessem em seu contexto os termos nanomateriais, nanopartículas ou nanotubos. Não foi possível aprofundar a pesquisa para alguns outros elementos da matéria que mesmo em escala nanométrica, não continham essa informação no seu título ou resumo.

Espera-se que o resultado desta pesquisa contribua para que entidades, pesquisadores e a sociedade em geral, tenham ciência sobre os perigos intrínsecos de alguns nanomateriais, e conheçam algumas tecnologias inovadoras que foram criadas e que podem ajudar na eliminação, prevenção ou redução do impacto causado a saúde e ao meio ambiente.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI), ao Colegiado do Mestrado PROFNIT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano por incentivar a participação dos servidores Técnico-Administrativos em Educação - TAE em programas de pós-graduação.

## **Referências**

1. Ali SH, Al-Sultan HA, Rubaie MTA. Fifth Industrial Revolution (New Perspectives). International Journal of Business, Management and Economics [Internet]. 11 de julho de 2022 [citado 27 de julho de 2022];3(3):196–212. Disponível em: <http://journal.jis-institute.org/index.php/ijbmer/article/view/694>
2. Ceravolo M de LA. Nanotecnologia: riscos ocupacionais e amparo legal. Revista Laborativa [Internet]. 4 de outubro de 2015 [citado 6 de dezembro de 2020];4(2):53– 63. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rlaborativa/article/view/1267>

3. Cai J, Zang X, Wu Z, Liu J, Wang D. Translocation of transition metal oxide nanoparticles to breast milk and offspring: The necessity of bridging mother-offspring-integration toxicological assessments. *Environment International* [Internet]. 1º de dezembro de 2019 [citado 27 de abril de 2022];133:17. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019319270>
4. EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. Manufactured nanomaterials in the workplace. 21 de março de 2019 [citado 11 de janeiro de 2021]; Disponível em: <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a281c1a1-4c53-11e9-a8ed-01aa75ed71a1>
5. Freixa A, Acuña V, Sanchís J, Farré M, Barceló D, Sabater S. Ecotoxicological effects of carbon based nanomaterials in aquatic organisms. *Science of The Total Environment* [Internet]. 1º de abril de 2018 [citado 24 de abril de 2022];619–620:328– 37. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717331546>
6. Boyes WK, Thornton BLM, Al-Abed SR, Andersen CP, Bouchard DC, Burgess RM, et al. A comprehensive framework for evaluating the environmental health and safety implications of engineered nanomaterials. *Critical Reviews in Toxicology* [Internet]. 21 de outubro de 2017 [citado 24 de abril de 2022];47(9):771– 814. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408444.2017.1328400>
7. Hou J, Wang L, Wang C, Zhang S, Liu H, Li S, et al. Toxicity and mechanisms of action of titanium dioxide nanoparticles in living organisms. *Journal of Environmental Sciences* [Internet]. 1º de janeiro de 2019 [citado 24 de abril de 2022];75:40– 53. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100107421733694X>
8. Voborsky RC. Occupational Health Chemistry. Em: *Analytical Techniques in Occupational Health Chemistry* [Internet]. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY; 1980 [citado 5 de setembro de 2022]. p. 185–95. (ACS Symposium Series; vol. 120). Disponível em: <https://doi.org/10.1021/bk-1980-0120.ch010>
9. Shvedova A, Kisin E, Murray A, Schwegler-Berry D, Gandelsman V, Baron P, et al. Exposure of human bronchial epithelial cells to carbon nanotubes caused oxidative stress and cytotoxicity. Em: Galaris D, organizador. *Proceedings of the meeting of the society for free radical research, european section: free radicals and oxidative stress: chemistry, biochemistry and pathophysiological implications*. Ioannina, Greece: Medimond Publishing Co; 2003. p. 91–103.
10. Turpin B. Chapter 3 - Characterizing Exposures to Atmospheric Carcinogens. Em: *Air Pollution and Cancer IARC Scientific publication n° 161* [Internet]. Lyon, France: IARC; 2013 [citado 16 de agosto de 2022]. p. 29–36. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>
11. IARC. International Agency for Research on Cancer. *Outdoor Air Pollution - IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* [Internet]. Vol. 109. Lyon, France: IARC; 2016 [citado 17 de agosto de 2022]. 454 p. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2015>
12. Takagi A, Hirose A, Nishimura T, Fukumori N, Ogata A, Ohashi N, et al. Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *The Journal of Toxicological Sciences*. 2008;33(1):105–16.
13. Scala G, Delaval MN, Mukherjee SP, Federico A, Khaliullin TO, Yanamala N, et

- al. Multi-walled carbon nanotubes elicit concordant changes in DNA methylation and gene expression following long-term pulmonary exposure in mice. *Carbon* [Internet]. 30 de junho de 2021 [citado 29 de março de 2022];178:563–72. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622321003511>
14. Brown Epstein HA. SWOT/TOWS/OTSW Analysis of Recent Past and Near Future. *Journal of Hospital Librarianship* [Internet]. 12 de outubro de 2022 [citado 16 de novembro de 2022];0(0):1-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15323269.2022.2132089>
  15. Lobato DM, Filho JM, Torres MCS, Rodrigues MRA. *Estratégia de empresas*. 9ª edição. Editora FGV; 2014. 175 p.
  16. Chiavenato I, Sapiro A. *Planejamento Estratégico: Da Intenção aos Resultados*. 4ª edição. Atlas; 2020. 286 p.
  17. Denton, R. D. et al. Removing carbon nanotubes from a water system. Depositante: Exxonmobil Upstream Res Co; Solid Carbon Prod Llc. n. EP2828212A1. Depósito: 10 abr. 2013a. Concessão: 28 jan. 2015.
  18. Denton, R. D. et al. Removing carbon nanotubes from a continuous reactor effluent. Depositante: Exxonmobil Upstream Res Co; Solid Carbon Prod Llc. n. EP2838840A1. Depósito: 10 abr. 2013b. Concessão: 25 fev. 2015.
  19. Banach, M. et al. Method for removing nanoparticles of metals or silver ions from water solutions and the nanocomposite with silver nanoparticles. Depositante: Politechnika Krakowska Im Tadeusza Kosciuszki. n. PL236027B1. Depósito: 30 jul. 2015. Concessão: 30 nov. 2020.
  20. Tropita P. System and method for removal of nanoparticles from water. Depositante: Piplai Tropita. IN201911027383, 2021.
  21. Zou W, Li J, Yan J, Chen J, Yang H, Yang Y, et al. Novel method for removing nanoparticles in water. Depositante: Univ Sichuan Sci & Eng; Zhonghao Chenguang Res Inst of Chemical Ind. CN106006874A, 2016.
  22. Wang H, Qi J, Wang T, Li F. Method for removing nanoparticles in water body. Depositante: Univ Tongji. CN102826687A, 2012.
  23. Haifang, W. et al. Method for purifying carbon nanotube polluted water body. Depositante: Univ Shanghai. n. CN101885527A. Depósito: 15 jul. 2010. Concessão: 17 nov. 2010.
  24. Yang JJ. Method and apparatus for removing nanoparticles and emulsion droplets from aqueous solutions by simultaneous electrocoagulation and electrofiltration. Depositante: Univ Nat Sun Yat Sen. TWI229656B, 2005.
  25. You L, Xu K, Ding G. Magnetic adsorbent for removing silver nanoparticles and preparation method of magnetic adsorbent. Depositante: Univ Fuzhou. CN110215905A, 2019.
  26. Vallabh GM. Cross flow water filtering device. I Depositante: Sanskriti University. N202011014053, 2021.
  27. Song GY. Intensively-Dedusting Filter/Dust-Collector Capable of Removing Nanoparticle-Grade Fine Dust and Filtering/Dust-Collecting Method Using Same. Depositante: Song Gen Yong. WO2022169194A2, 2022.
  28. Tang W, Zhao X, Wang D, Duan Z, Zou Y, Xi Y. VOC Gas Treatment Device and Method. Depositante: Shanghai Bixiufu Enterprise Man Co Ltda. WO2020216370A1, 2020.
  29. Kosuke H, Hiroshi H. Exhaust apparatus [Internet]. JP5039937B2, 2012 [citado 30 de setembro de 2022]. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/JP5039937B2/en?q=JP5039937+B2>

30. Allan, B. Near zero emission exhaust system. Depositante: Allan Brown. GB2573124A. Depósito: 24 abr. 2018. Concessão: 30 out. 2019.
31. Mayer A, Burtscher H, Czerwinski J, Kasper M, Artley RJ, Dobrauz G, et al. Nanoparticle Filter Apparatus for Ambient Air. Depositante: Etech Ag. EP2049228A1, 2009.
32. Xing Y, Lu P, Yu H, Liu Y, Li Z, Yin L. Method for efficiently removing nanoparticles from ordered mesoporous silicon-based material. Depositante: Univ Beijing Science & Tech. CN108245995A, 2018.
33. Oishi K, Shuzenji K. Dust Collector and Dust Removal Method. Depositante: Rix Corporation, Fukuoka Prefecture. JP2015100716A, 2015.
34. Chien, H.-M. et al. Method of collecting nanoparticles by using a cyclone and method of designing the cyclone. Depositante: Industrial Technology Research Institute ITRI. US6969420B2. Depósito: 4 dez. 2003. Concessão: 9 jun. 2005.
35. Alves, A. H. C.; Feitosa, V. P. Instrumento para atração/remoção de nanopartículas magnéticas na odontologia. Depositante: Centro Avançado de Ortodontia Paulo Picanço S/S Ltda. Brasil n. BR102020023752A2. Depósito: 20 nov. 2020. Concessão: 7 jun. 2022.
36. Andreescu, E. S.; Othman, A. Functional platform for rapid capture and removal of nanoparticles. Depositante: Clarkson University. United States n. US10179732B2. Depósito: 24 jul. 2017. Concessão: 15 jan. 2019.
37. Minigalieva IA, Katsnelson BA, Privalova LI, Sutunkova MP, Gurvitch VB, Shur VY, et al. Method for prevention of adverse health effects of general toxic and genotoxic action of copper oxide nanoparticles. Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2560682 C1, 2015.
38. Minigalieva IA, Katsnelson BA, Privalova LI, Sutunkova MP, Gurvich VB, Shur VY, et al. Method of Increasing Body Resistance to Chronic Combined Toxic Effect of Nanoparticles of Nickel Oxide and Manganese Oxide. Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor).RU2597157C1, 2016.
39. Minigalieva IA, Katsnelson BA, Privalova LI, Gurvich VB, Sutunkova MP, Shur VY, et al. Method for Increase of Organism Resistance to Combined Toxic Action of Nanoparticles of Copper, Zinc and Lead Oxides. Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical – Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2642674C1, 2018.
40. Privalova LI, Minigalieva IA, Katsnelson BA, Sutunkova MP, Gurvich VB, Shur VY, et al. Method for Increasing Body Resistance to General Toxic and Genotoxic Action of a Combination of Aluminum, Titanium and Silicon Oxide Nanoparticles. Depositante: Federal Budgetary Institution of Science “Ekaterinburg Medical - Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers” of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (FBSI EMNTs POZRPP Rospotrebnadzor). RU2694844C1, 2019.
41. Leonenko NS, Demetska OV. An express method for determining the toxicity of nanomaterials in in vitro solutions using bovine spermatozoa as a test object.

- UA101308U, 2015.
42. Shim WY, Nguyen DT, Lee G, Paik MJ, Kim JH, Hyun SM, et al. Biomarker for diagnosing toxicity of nanoparticles and method for evaluating toxicity of nanoparticles using the same. Depositante: Ajou Univ Industry-Academic Coop Found. US9689019B2, 2017.
  43. Bong CK, Kim YG, Bong HK. Toxic substances mixing apparatus with multiple mixing chamber for environmental risk assessment. Depositante: Greensolus Co Ltda n. KR101758813B1, 2017.
  44. Lee KH, Kwon YT, Jeon KS, Lee JS, Seo KW, Han JH. Inhalation Toxicity Testing Chamber Device for Nanoparticles Having Multiple Concentrations. EP3239714A1, 2017.
  45. Yoon TH, Lee SH, Kwon DW, Park JH. An in vitro Method for the Toxicity Assessments of Nanomaterials. KR101616589B1, 2016.
  46. Lee KH, Yang HS. Real-Time Inhalation Toxicity Testing Device Using Lung Model. Depositante: World Intellectual Property Organization. WO2016003080A1, 2016.
  47. Yoon TH, Lee SH, Kwon DW, Park JH, Yoo HJ, Nho HW. A method for the toxicity assessments of nano-materials. EP2479551A2, 2012.
  48. Jahnen-Dechent, W. P. D. et al. Control of the toxicity of gold nanoparticles. Depositante: Univ Duisburg Essen. n. EP2226082A2. Depósito: 3 abr. 2009. Concessão: 8 set. 2010.
  49. Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. Portaria nº 3.459, de 26 de julho de 2019 [Internet]. Diário Oficial da União. Seç. 1 Brasília, DF; ago 8, 2019 p. 286. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-3.459-de-26-de-julho-de-2019-209514505>
  50. European Commission. Development and implementation of Grouping and Safe-by-Design approaches within regulatory frameworks [Internet]. Luxembourg; 2021 [citado 8 de julho de 2021]. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/646221>

## ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO/PUBLICAÇÃO DE ARTIGO

### Novo artigo (CSP\_2286/22)

Cadernos de Saude Publica <cadernos@fiocruz.br>

Ter, 29/11/2022 21:09

Para: jrzdias@hotmail.com <jrzdias@hotmail.com>

Prezado(a) Dr(a). JOSÉ ROBSON DA SILVA DIAS:

Confirmamos a submissão do seu artigo "Perigo oculto nos nanomateriais: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo" (CSP\_2286/22) para Cadernos de Saúde Pública. Agora será possível acompanhar o progresso de seu manuscrito dentro do processo editorial, bastando clicar no *link* "Sistema de Avaliação e Gerenciamento de Artigos", localizado em nossa página <http://www.ensp.fiocruz.br/csp>.

Em caso de dúvidas, envie suas questões através do nosso sistema, utilizando sempre o ID do manuscrito informado acima. Agradecemos por considerar nossa revista para a submissão de seu trabalho.

Atenciosamente,

Profª. Marília Sá Carvalho

Profª. Luciana Correia Alves

Profª. Luciana Dias de Lima

Editoras



**Cadernos de Saúde Pública / Reports in Public Health**

Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Fundação Oswaldo Cruz

Rua Leopoldo Bulhões 1480

Rio de Janeiro, RJ 21041-210, Brasil

Tel.: +55 (21) 2598-2511, 2508 / Fax: +55 (21) 2598-2737

[cadernos@ensp.fiocruz.br](mailto:cadernos@ensp.fiocruz.br)

<http://www.ensp.fiocruz.br/csp>

**ANEXO B – CERTIFICADO DE MENÇÃO HONROSA NO VII ENPI - ENCONTRO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL, 2021**



**MENÇÃO HONROSA**

O trabalho **REGULAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS: PREVENÇÃO AOS RISCOS GERADOS PELOS NANOMATERIAIS** dos autores *José Robson da Silva Dias, Ângela Maria Ferreira Lima, Marcelo Santana Silva, Deise Danielle Neves Dias Piau, Jerisnaldo Matos Lopes*, foi premiado com menção honrosa no VII ENPI - Encontro Nacional de Propriedade Intelectual, evento realizado online em 22 a 24 de setembro de 2021.

SUZANA LEITAO Assinado de forma digital  
por SUZANA LEITAO  
RUISSO:3808379  
Dados: 2021.09.30  
5020  
11:46:31 -03'00'

**Suzana Leitão Russo**  
Presidente da API



REALIZAÇÃO