

FABIO ALEXANDRE DIAS

Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO_2

São Paulo

2019

FABIO ALEXANDRE DIAS

Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO_2

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho

São Paulo

2019

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me guia, ilumina e capacita e a minha família, meus filhos Vitor, André e minha esposa Cássia que me apoiam sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório Alfa, na pessoa do Sr. Kleber Cosme Cavalcante da área de Engenharia de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente - SESMA, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Agradeço aos professores e tecnologistas da FUNDACENTRO SP – Fundação Jorge Duprat Figueiredo, pela transposição de conhecimento nos cursos que ministram sobre o tema envolvendo nanotecnologias, nanomateriais e gestão do risco e pela manutenção do debate envolvendo novas tecnologias, na pessoa da Sra. Arline Sydneia Abel Arcuri e do Sr. Luis Renato Balbão Andrade.

Agradeço aos professores e apoios técnicos do curso de pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho do PECE pela atenção e transposição do conhecimento enriquecendo minha formação.

Agradeço a Almont do Brasil, na pessoa do Sr. Alberto Belmont e André Rosa, que me auxiliam no acesso a novas tecnologias e novos conhecimentos na área de higiene ocupacional.

“O homem científico não pretende alcançar um resultado imediato. Ele não espera que suas ideias avançadas sejam imediatamente aceitas. Seus trabalhos são como sementes para o futuro. Seu dever é lançar as bases para aqueles que estão por vir e apontar o caminho. ”

Nicola Tesla

RESUMO

A evolução na área de tecnologia dos materiais, onde as matérias-primas e compostos de base assumem dimensões cada vez menores em suas composições estruturais evidencia a relevância do tema envolvendo o uso de nanopartículas de TiO_2 , analisar os riscos ocupacionais envolvidos e seus níveis de controle. Outro fator relevante é a existência de um certo desconhecimento de seus usos e aplicações por um grande número de empresas. Dentro desta nova realidade e com o aumento de demanda dos materiais nanoestruturados, faz-se necessário compreender que os processos de síntese química e sua evolução, tanto no aspecto científico, como produtivo e em relação aos fatores relacionados à segurança e saúde dos trabalhadores que precisam acompanhar tais evoluções, estudando às características cinéticas e dinâmicas destas substâncias no organismo e respectivamente seu modo de ação e possíveis efeitos toxicológicos que poderão ocorrer. A primeira necessidade em relação a análise de risco é compreendê-lo e a maioria dos parâmetros necessários para caracterizá-lo e conseqüentemente geri-lo de modo a mitigá-lo, neutralizá-lo ou eliminá-lo. Senso assim, o objetivo deste trabalho é analisar o nível de conhecimento dos profissionais e estudantes da área de segurança e saúde ocupacional em relação ao gerenciamento dos riscos envolvendo nanopartículas de TiO_2 e demais materiais em escala nano. Iniciar a análise de riscos envolvendo nanopartículas de TiO_2 e apresentando ferramentas de análise qualitativa de classificação do risco e de sugestões de controle através de estudo de caso sobre futuro manejo em laboratório. Os resultados obtidos foram o baixo nível de conhecimento constatado entre estudantes das áreas de segurança e saúde ocupacional e dos profissionais responsáveis pelas áreas de gerenciamento de riscos na manipulação de nanopartículas de TiO_2 , a conclusão deste trabalho como iniciador das análises de riscos e que o laboratório em análise atende os níveis de controle para o futuro manejo de nanopartículas de TiO_2 , através da ferramenta qualitativa adotada para este fim, o *Control Banding CB Nanotools*.

Palavras-chave: Nanopartículas. TiO_2 . Análise. Risco. Exposição. Controle. Gerenciamento.

ABSTRACT

The evolution in the area of materials technology, where raw materials and base compounds assume ever smaller dimensions in their structural compositions, shows the relevance of the theme involving the use of TiO₂ nanoparticles, analyze the occupational risks involved and their levels of control. Another relevant factor is the existence of a certain ignorance of its uses and applications by a large number of companies. Within this new reality and with the increased demand for nanostructured materials, it is necessary to understand that the processes of chemical synthesis and its evolution, both in the scientific and productive aspects and in relation to the factors related to the safety and health of workers who need to follow such evolution, studying the kinetic and dynamic characteristics of these substances in the body and respectively their mode of action and possible toxicological effects that may occur. The first need in relation to risk analysis is to understand it and most of the parameters necessary to characterize it and consequently manage it in order to mitigate, neutralize or eliminate it. Thus, the objective of this work is to analyze the level of knowledge of professionals and students in the area of occupational health and safety in relation to the management of risks involving nanoparticles of TiO₂ and other materials on a nano scale. To start the risk analysis involving TiO₂ nanoparticles and presenting tools for qualitative analysis of risk classification and control suggestions through a case study on future management in the laboratory. The results obtained were the low level of knowledge found among students in the areas of occupational health and safety and the professionals responsible for the areas of risk management in the handling of TiO₂ nanoparticles, the conclusion of this work as initiator of risk analysis and that the laboratory under analysis meets the levels of control for the future handling of TiO₂ nanoparticles, through the qualitative tool adopted for this purpose, the Control Banding CB Nanotools.

Keywords: Nanoparticles. TiO₂. Analyze. Risk. Exposed. Control. Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Manufatura tradicional versus a avançada..... | 15 |
| Figura 2 - Quadro comparativo micro e nanoescala..... | 20 |
| Figura 3 - Formas minerais de TiO ₂ : (a) rutilo; (b) atanase; (c) brookite | 21 |
| Figura 4 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura da amostra de TiO ₂ obtido pelo método Pechini com proporção entre o ácido cítrico e o cátion metálico de 2:1(a), 3:1 (b), 4:1 (c) e 5:1 (d)..... | 22 |
| Figura 5 - Relações superfície-volume de nanocompósitos em função do tamanho das nanopartículas | 23 |
| Figura 6 - Movimento Brawniano..... | 24 |
| Figura 7 - Rotas de exposição a nanomateriais | 25 |
| Figura 8 - Fluxo respiratório humano..... | 26 |
| Figura 9 - Estrutura da pele..... | 27 |
| Figura 10 - Distribuição das nanopartículas de dióxido de titânio no organismo | 31 |
| Figura 11 - Ações básicas para gestão de nanomateriais..... | 35 |
| Figura 12 - Esquema de gerenciamento de risco para saúde ambiental..... | 36 |
| Figura 13 - Diagrama esquemático de um separador de partículas inercial..... | 37 |
| Figura 14 - Equipamentos portáteis para análise de nanopartículas..... | 38 |
| Figura 15 - Esquema de funcionamento de um <i>DiSC - Diffusion Size Classifier</i> | 39 |
| Figura 16 - Protocolo de avaliação da exposição a partículas de TiO ₂ | 40 |
| Figura 17 - Determinação das pontuações do nível de risco (RL) com base no escore de gravidade (eixo y) e no escore de probabilidade (eixo x) para o <i>CB Nanotool</i> | 43 |
| Figura 18 - Etapas da metodologia <i>CEA</i> para avaliação do impacto ambiental do nanomaterial..... | 44 |
| Figura 19 - Fluxo de análise adaptativa do risco Nano <i>LCRA</i> para o controle do ciclo de vida de produção do nanomaterial | 45 |
| Figura 20 - Exemplo de tratamento de ar em um sistema de ventilação geral diluidora | 46 |
| Figura 21 - Fenômenos de retenção de partículas por elementos filtrantes..... | 47 |
| Figura 22 - Classificação dos filtros <i>EPA</i> , <i>HEPA</i> e <i>ULPA</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 - Modelo de cabine ventilada com filtragem <i>HEPA</i> | 49 |
| Figura 24 - Exemplo de um sistema de ventilação local exaustora | 50 |
| Figura 25 - Diagrama de configuração experimental para medir a penetração de nanopartículas e TIL através de <i>FFRs</i> sob condições respiratórias simuladas. | 51 |
| Figura 26 - Exemplo de aplicação da tabela de classificação global de riscos | 56 |
| Figura 27 - Capela com sistema filtragem tipo <i>HEPA</i> | 63 |
| Figura 28 - <i>Risk Level</i> correspondente..... | 66 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Distribuição da amostra por área de atuação | 57 |
| Gráfico 2 – Nível de entendimento sobre envolvendo nanomateriais | 58 |
| Gráfico 3 – Nível de conhecimento sobre os riscos envolvendo nanomateriais..... | 58 |
| Gráfico 4 – Nível de conhecimento envolvendo nanopartículas de TiO ₂ | 59 |
| Gráfico 5 – Nível de conhecimento envolvendo medidas de controle ou gerenciamento de riscos com nanopartículas de TiO ₂ ou outros materiais..... | 59 |
| Gráfico 6 – Nível de importância envolvendo o conhecimento sobre nanopartículas de TiO ₂ ou outros materiais e de medidas de gerenciamento de riscos | 60 |
| Gráfico 7 – Abordagem do tema envolvendo nanopartículas de TiO ₂ ou outros materiais em algum momento da formação profissional | 60 |
| Gráfico 8 – Nível de capacitação profissional para atender uma demanda profissional envolvendo riscos com nanomateriais | 61 |
| Gráfico 9 – Nível de relevância do tema proposta para sua vida profissional | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação de carcinogenicidade <i>ACGIH</i> | 28 |
| Tabela 2 - Classificação de carcinogenicidade <i>IARC</i> | 28 |
| Tabela 3 - Combinação efeitos de nanopartículas de TiO ₂ em vários órgãos (<i>in vivo</i>)..... | 30 |
| Tabela 4 - Nível global e/ou geral de riscos | 54 |
| Tabela 5 - Níveis de severidade e Probabilidade | 55 |
| Tabela 6 - Características do nanomaterial e pontuação do <i>Control Banding</i> | 62 |
| Tabela 7 - Características do nanomaterial e material de origem pontuação do <i>Control Banding</i> | 64 |
| Tabela 8 - Escores de severidade e probabilidade conforme <i>CB Nanotool</i> | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ACGIH | <i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i> |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| ANSES | <i>French Agency for Food, Environmental and Occupational Health e Safety</i> |
| BEIs | <i>Biological Exposure Indices</i> |
| BS EN | <i>British Standard European Norme</i> |
| CB | <i>Control Banding</i> |
| CDC | <i>Centers for Disease Control and Prevention</i> |
| CEA | <i>Comprehensive Environmental Assessment</i> |
| CEE | Comunidade Econômica Europeia |
| CPC | <i>Condensation Particle Counters</i> |
| CVD | <i>Chemical Vapour Deposition</i> |
| DC | <i>Diffusion Charger</i> |
| DMA | <i>Differential Mobilty Analyser</i> |
| DiSC | <i>Diffusion Size Classifier</i> |
| DNA | <i>Deoxyribonucleic Acid</i> |
| ELPI | <i>Electrostatic Low Pressure Impactor</i> |
| EPA | <i>Afficient Air Filters</i> |
| FFP | <i>Filter Facepiece</i> |
| FFRs | <i>Filtering Facepiece Respirators</i> |
| HEPA | <i>High Efficiency Particulate Air Filters</i> |
| IARC | <i>International Agency for Research on Cancer</i> |
| ICTA | <i>International Center for Technology Assessment</i> |
| IEDI | Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial |
| ISO TS | <i>International Organization for Standadization Technical Specification</i> |
| LCRA | <i>Life Cycle Risk Assessment</i> |
| LEO | Limite de Exposição Ocupacional |
| LTs | Limites de Tolerância |
| MEV | Microscopia Eletrônica de Varredura |
| MOA | Modo de Ação |
| NIOSH | <i>National Institute Safety and Healt</i> |

| | |
|------------------|--|
| N95 | Peça Semifacial Filtrante |
| ONGs | Organizações Não Governamentais |
| OSHA | <i>Occupational Safety and Health Administration</i> |
| PEL | <i>Permissible Exposure Limit</i> |
| P100 | Filtro Para Particulados Altamente Tóxicos |
| PNOS | Partículas Não Especificadas de Outras Maneiras |
| RL | <i>Risk Level</i> |
| SMPS | <i>Scanning Mobility Particle Sizer</i> |
| TLVs | <i>Threshold Limit Values</i> |
| TIL | <i>Total Inward Leakage</i> |
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio |
| UE | União Europeia |
| ULPA | <i>Ultra Low Penetration Air Filters</i> |

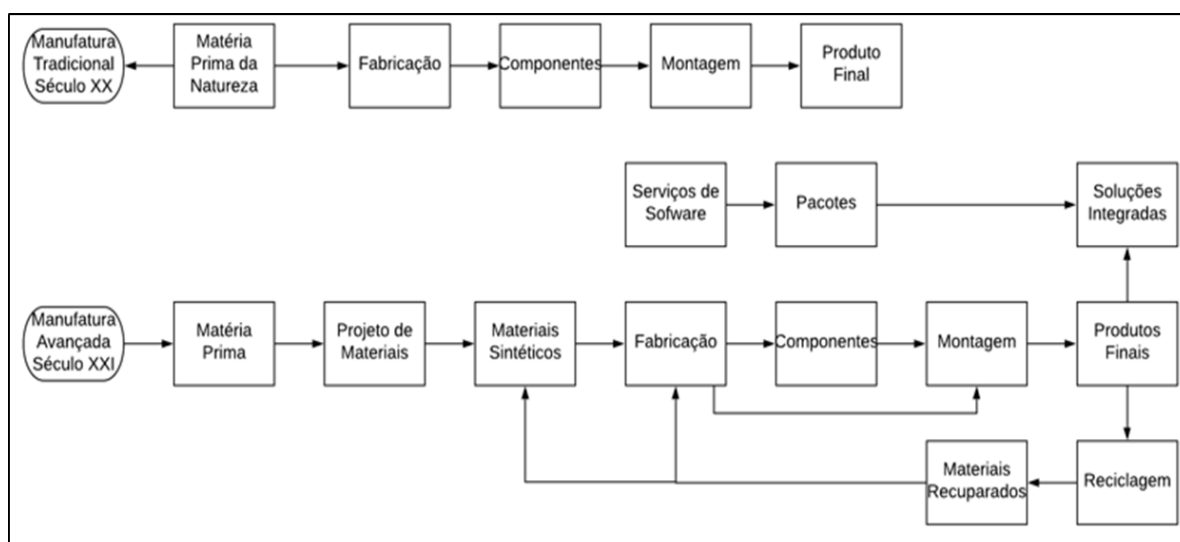
SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 OBJETIVO | 17 |
| 1.2 justificativa | 17 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 18 |
| 2.2 O DIÓXIDO DE TITÂNIO | 20 |
| 2.2.1 Aspectos morfológicos | 22 |
| 2.2.2 Características em suspensão | 24 |
| 2.2.3 Rotas de exposição | 25 |
| 2.3 NANOPARTÍCULAS DE TiO ₂ – UMA REFLEXÃO SOBRE O POTENCIAL CARCINOGENICO | 27 |
| 2.4 NANOPARTÍCULAS DE TiO ₂ – LIMITES DE EXPOSIÇÃO | 32 |
| 2.5 NANOPARTÍCULAS DE TiO ₂ – GERENCIAMENTO DO RISCO..... | 33 |
| 2.5.1 Metodologias quantitativas | 36 |
| 2.5.2 Metodologias qualitativas | 40 |
| 2.5.3 Controles de engenharia | 45 |
| 2.5.3.1 Ventilação Geral Diluidora – RL 1 | 45 |
| 2.5.3.2 Cabine ventilada ou ventilação exaustora local – RL 2 | 46 |
| 2.5.3.3 Sistema de contenção – RL 3..... | 51 |
| 2.5.3.4 Contratação de serviço especializado – RL 4..... | 52 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 53 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 57 |
| 3.3 Vista técnica..... | 63 |
| 3.4 Uso do referencial teórico e bibliografias complementares..... | 64 |
| 3.5 Aplicação da ferramenta <i>CB Nanotools</i> | 64 |
| 6 CONCLUSÃO | 67 |
| REFERÊNCIAS..... | 68 |
| BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS..... | 73 |
| ANEXO A - MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO PARA PROFISSIONAIS E ESTUDANTES DAS ÁREAS DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL..... | 80 |
| ANEXO B - MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFISSIONAIS DE LABORATÓRIO E ÁREA DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL..... | 83 |

1 INTRODUÇÃO

É fato relevante a constatação de uma nova onda na área de tecnologia dos materiais, onde as matérias-primas e compostos de base assumem dimensões cada vez menores em suas composições estruturais, possibilitando assim, a convergência tecnológica para um mundo de novas possibilidades, onde os novos materiais deixam de ser somente insumos e passam a ser estrategicamente integrantes dos processos de fabricação (Figura 1), fundamentando o conceito de manufatura avançada (ARBIX et al., 2017).

Figura 1 - Manufatura tradicional versus a avançada



Fonte: Adaptado de ARBIX et al. (2017)

Essas novas possibilidades, suscitam alternativas para a segmentação de processos industriais e, conseqüentemente, novos desafios relacionados a organização para o trabalho, formas de manutenção de novos materiais em linhas de processo, manipulação, transporte, etc.

Com os novos processos, novas demandas tecnológicas surgem, novos equipamentos passam a ser projetados para que as novas demandas de materiais, cada vez menores em sua estrutura, consigam compor os processos industriais dentro de um tripé básico, a saber: inovação tecnológica, diminuição de custos e aumento da competitividade (ARBIX. et al., 2017).

Em setembro de 2017, David Kupfer, no III Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação, em um debate fomentado pelo IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, discorre sobre o desafio 4.0 para a indústria brasileira, onde aborda a necessidade de ajustes das organizações que vão desde ajustes em processos de manufatura, na produção e gestão, até alterações em suas estruturas, no que diz respeito a própria arquitetura empresarial, contemplando todas as áreas da empresa, de maneira sincrônica para entrada em um novo paradigma digital e uma nova concepção de negócio, trazendo luz ao que ele chama de “mundo 4.0”. Em sua abordagem, retrata a dinâmica de inovação e desenvolvimento da indústria no mundo, principalmente em países emergentes e as novas demandas e desafios da indústria brasileira (IED, 2018).

Faz-se necessário um despertar para esta nova realidade que representa um momento histórico global de transformação da indústria e seus processos como outrora a percebia-se, a quarta revolução industrial, ou seja, o modo de se fazer as coisas está se modificando trazendo uma série de desafios a serem desvendados, analisados e percebidos (IED, 2018).

Dentre essas mudanças tecnológicas e suas variações processuais oriundas das novas tecnologias, novos equipamentos, novos processos e novos materiais e novas atividades, pode-se pensar em novos cenários de exposição dos trabalhadores, novos riscos em equipamentos e novos materiais que influenciam e impactam positiva ou negativamente o meio ambiente e o ambiente de trabalho (CNI, 2016).

No contexto desta nova onda de desenvolvimento tecnológico, os nanomateriais compõe um fragmento, o qual será abordado neste trabalho e em suas argumentações com ênfase na análise dos riscos sobre o uso de nanopartículas de TiO_2 - Dióxido de Titânio (CNI, 2016).

1.1 OBJETIVO

Evidenciar a relevância do tema envolvendo o uso de nanopartículas de TiO_2 , analisar os riscos ocupacionais envolvidos e seus níveis de controle aplicados em estudo de caso relativos a seu futuro manejo em laboratório.

1.2 JUSTIFICATIVA

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

Atualmente, o uso de materiais em escala nanométrica não estão previstos nas legislações relacionadas ao trabalho no Brasil, a Lei 6514/77 do Ministério de Trabalho e Emprego, Portaria 3214/78 que estabelece as NRs – Normas Regulamentadoras para o Trabalho, das quais destaca – se para fins de comparação de limites de exposição ocupacional a NR 15 – Atividades e Operações Insalubres, não estabelece LT – Limite de Tolerância ou parâmetros para enquadramento qualitativo de tais materiais (BRASIL, 2018).

Referências técnicas citadas como complementares ou substitutas, sejam nacionais ou internacionais, como os *TLVs – Threshold Limit Values* e *BEIs – Biological Exposure Indices* da *ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, não fazem referência a limites de tolerância ou enquadramento qualitativos aplicáveis (ACGIH, 2016).

A discussão sobre a regulamentação, a priori, tem sido realizada pela ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que, através de seu Edital de Chamamento Público nº 2, datado de 21/05/2018, solicitou a apresentação de propostas pela comunidade acadêmico-científica, industrial e terceiro setor de estudos experienciais

para servidores da Anvisa, no que tange a diversas práticas emergentes, dentre elas o uso de nanotecnologias em materiais de uso em saúde (ANVISA, 2018).

Com base neste cenário e na experiência do autor de mais de quatorze anos na área de segurança no trabalho e higiene ocupacional, sendo a maior parte deste período como consultor, fez com que se identificasse um problema em relação ao nível de conhecimento de estudantes e profissionais em relação a gestão dos riscos relacionados ao uso das nanopartículas, com ênfase no TiO_2 , devido a sua aplicabilidade e maior difusão em processos industriais e consequentemente a exposição dos trabalhadores, motivando o desenvolvimento deste trabalho como instrumento de difusão de conhecimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Em 1959, o físico americano Richard Feynman discorre, pela primeira vez, sobre o que pode se chamar de fundamentação conceitual das nanotecnologias, em uma de suas palestras chamada “Há muito espaço no fundo” , onde teoriza a ampliação de uma cabeça de alfinete em escala para o tratamento escalar na escrita de vinte e quatro volumes da enciclopédia britânica para que a mesma caiba na cabeça de um alfinete, ou seja, Feynman discutiu sobre a possibilidade de construção e manipulação de objetos em escala atômica, consequentemente nanométrica, onde apontava como principal desafio a possibilidade de visualiza-las para que ocorresse a experimentação (FEYNMAN, 1959).

Em nível atômico tem-se novos tipos de forças interagindo com o meio, novas possibilidades de apresentam, novos tipos de efeitos e consequentemente problemas diferentes surgirão, por exemplo, fenômenos biológicos ocasionados por forças químicas, através de estímulos repetitivos, capazes de produzir uma enorme gama de efeitos desconhecidos. Esses novos tipos de forças e novos tipos de possibilidades, assim como os efeitos, são objeto de estudo após a materialização e concretização da discussão de Feynman, a qual chama-se na atualidade de nanociência (FEYNMAN, 1959).

De acordo com *The Royal Society* (2004, p.5), “Nanociência é o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais atômicos, moleculares e escalas macromoleculares, onde as propriedades diferem significativamente daqueles em escala maior”.

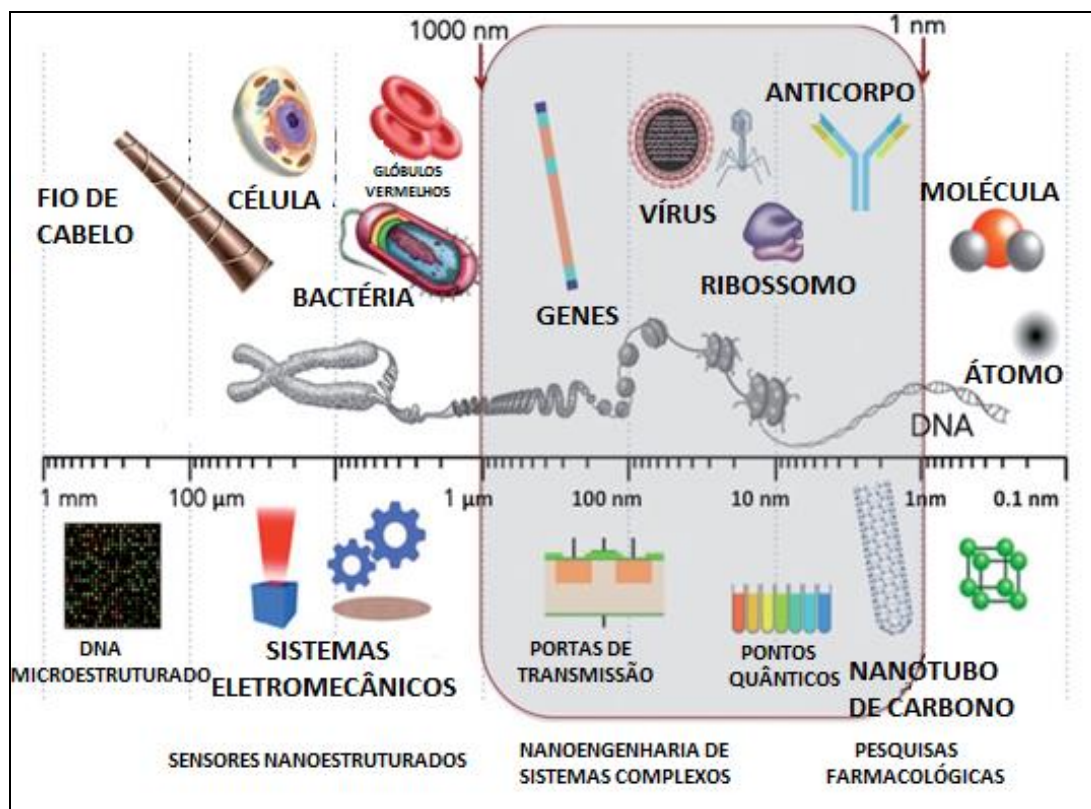
Segundo Silva (2003), as aplicações dessas tecnologias do pequeno à dimensão humana estão, certamente, num estágio muito inicial. No entanto, evidências de seu desenvolvimento apontam-nas como dominantes nas próximas décadas.

2.1 COMPREENDENDO A NANOESCALA

O prefixo “nano” deriva da palavra grega anão, ou seja, algo menor do que aquilo que comumente se é visto. Um nanômetro equivale a um bilionésimo de metro, ou seja, 1×10^{-9} m. Para melhor compreensão da escala nanométrica, um fio de cabelo humano que possui um diâmetro aproximado de 80.000 nm, uma célula vermelha do sangue possui aproximadamente 7000 nm de diâmetro, uma molécula de água, cerca de 0,3 nm, tendendo para um tamanho atômico 0,2 nm (FUNDACENTRO, 2018; *THE ROYAL SOCIETY*, 2004).

Estas estimativas são relevantes para termos o entendimento da ação das partículas em escala nanométricas de diversos materiais e suas prováveis interações com sistemas biológicos.

Figura 1 – Quadro comparativo micro e nanoescala

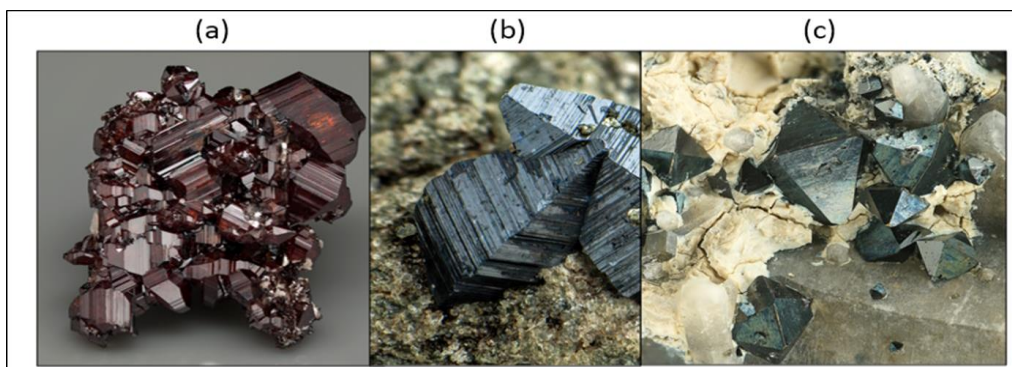


Fonte: adaptado de MUNHOZ, POMPEO E MEZERVILLE et al. (2017)

2.2 O DIÓXIDO DE TITÂNIO

O TiO_2 é um material de que possui uma gama vasta de aplicações, essas aplicações fazem com que este material seja amplamente utilizado em diversos processos e segmentos industriais, por exemplo, na indústria alimentos, cerâmica, farmacêutica, aeronáutica, aeroespacial, tintas, cosméticos, energética e seu próprio material de origem, na forma de cristais é utilizado pela indústria de joias para fabricação de pedras preciosas que simulam o diamante (Figura 3). Dentro de suas características destacam-se suas propriedades fotocatalisadoras, refletoras de radiação infravermelha, leveza e, na forma pó, como pigmento devido as suas características relacionadas a intensidade da cor branca, como matéria prima para desenvolvimento protético, corante alimentar, etc. (TEILAS et al., 2014).

Figura 2 - Formas minerais de TiO_2 : (a) rutilo; (b) atanase; (c) brookite



Fonte: adaptado de HUDSON INSTITUTE OF MINERALOGY (2019)

O minério em cada uma de suas formas apresenta características específicas e aplicabilidades correspondentes dos manejos industriais. Isso faz com que alguns minerais de titânio se destaquem mediante a sua demanda e própria aplicabilidade relacionada a suas propriedades físico-químicas (TEILAS et al., 2014). De modo geral para que o minério seja utilizado, ele precisa passar por processos de sintetização química para adquirir suas características básicas dentro de demandas específicas que se apresentam nos processos industriais. As formas de sintetização química estão diretamente relacionadas com as características cristalinas dos materiais pós-síntese e consequentemente a características morfológicas das partículas (LUZ e LINS, 2005).

Existem diversas formas de dióxido de titânio nanoestruturado. Pode-se referenciar os processos em fase gasosa com precursores sólidos, líquidos ou vapores, processos em fases líquidas onde destacamos os processos mais comumente utilizados para se produzir nanomateriais conhecidos como *top – down* e *bottom – up*.

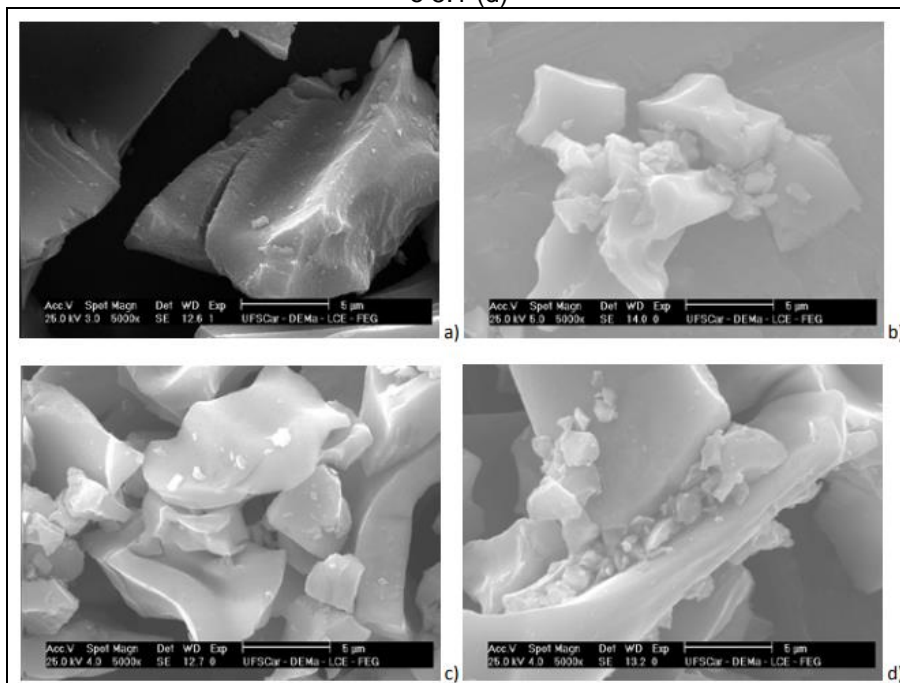
O termo *top-down* refere-se à abordagem de síntese para a fabricação de nanomateriais que usa um processo de redução e/ou decomposição do material em dimensões menores, valendo-se de um processo de moagem ou atrito. Já termo *bottom up* designa uma estratégia de síntese de produção por montagem atômica ou composições moleculares, para qual podem ser utilizados diversos métodos, como química molhada, condensação de gases inertes, sol-gel, CVD (*Chemical Vapour Deposition*), etc. (BERTI e PORTO, 2016, p. 48).

Com o aumento de demanda dos materiais nanoestruturados, faz-se necessária a compreensão dos processos para compreender que os processos de síntese química tendem a uma evolução, tanto no aspecto científico, como produtivo. Porém, deve – se ter em mente que dentro desses processos, fatores como a segurança e saúde dos trabalhadores deverão ser lembrados, bem como acompanharem tais evoluções (BERTI e PORTO, 2016).

2.2.1 Aspectos morfológicos

As variações morfológicas das partículas de TiO_2 , irão depender de diversos fatores, como suas características físico-químicas, sua aplicabilidade produtiva e sua interação e/ou influência com demais compostos químicos aos quais ela será submetida em processos de síntese química. Ilustra-se, para fins de argumentação, as características morfológicas da nanopartículas de TiO_2 , através de um conjunto de micrografias por microscopia eletrônica de varredura - MEV obtidas pelo método Pichini (Figura 4), com variação de proporção entre o ácido e o cátion metálico em seu processo de sintetização (RIBEIRO et al., 2010).

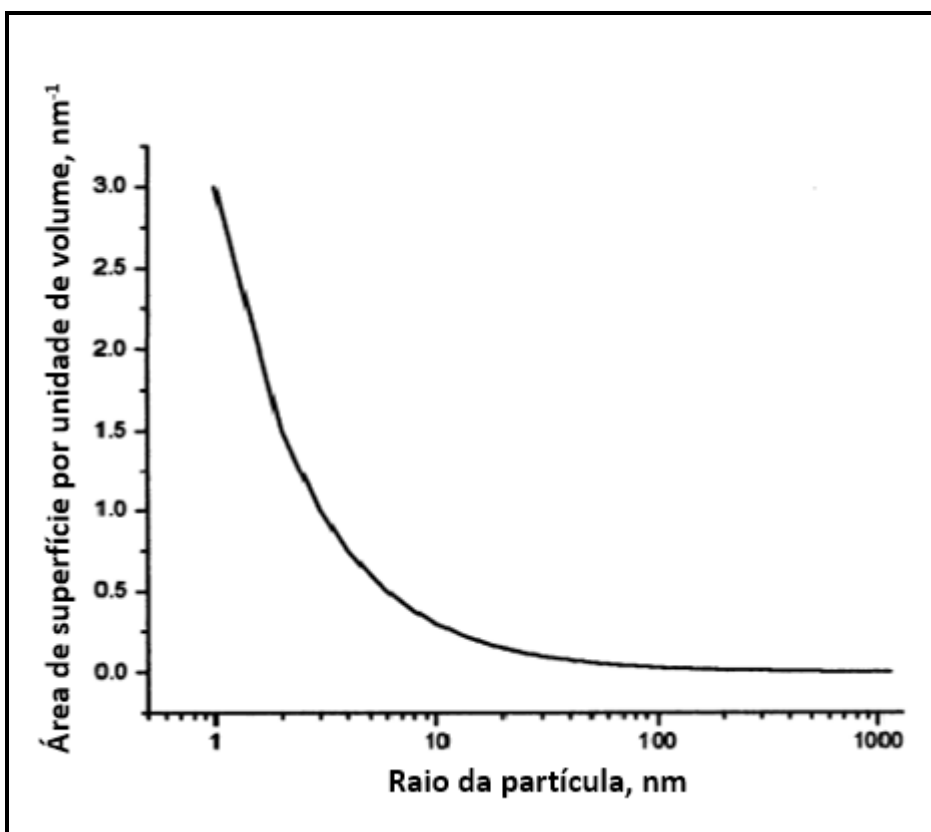
Figura 3 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura da amostra de TiO_2 obtido pelo método Pechini com proporção entre o ácido cítrico e o cátion metálico de 2:1 (a), 3:1 (b), 4:1 (c) e 5:1 (d)



Fonte: RIBEIRO et al., (2010)

É evidente que a variação de processos de síntese química, mesmo os controlados, irão gerar características distintas na morfologia das partículas de TiO_2 , esta variação implica diretamente no comportamento destas partículas no que refere a contenção de energias em relação ao mesmo volume de partículas em escalas macro, ou seja, o mesmo volume de partículas TiO_2 em escala nano representará uma energia físico-química maior do que o mesmo volume em escala macro (Figura 5). Essa variação também se dará quando comparados o mesmo volume de materiais nanoestruturados que possuírem variações morfológicas (LAU e PIAH, 2011; RIBEIRO et al., 2010).

Figura 4- Relações superfície-volume de nanocompósitos em função do tamanho das nanopartículas



Fonte: LAU e PIAH (2011)

Um aspecto relevante a ser abordado é que as partículas em escala nanométrica começam a se valer da mecânica quântica, ou seja, possuir características e propriedades novas, físicas, químicas e mecânicas que diferem de suas características em escala macro. Esta característica origina-se nas dimensões

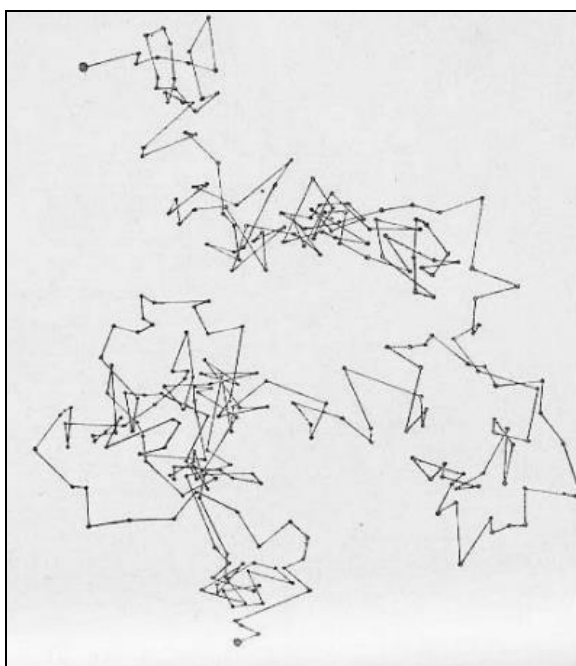
destes objetos onde os efeitos quânticos tornam – se mais evidentes, como a constatação de quanto menor for o tamanho de uma molécula e/ou partícula, mais importante são seus efeitos de superfície devido ao aumento da proporção entre a área (MELO e PIMENTA , 2004).

2.2.2 Características em suspensão

Em escalas nanométricas, algumas partículas, não apenas as de TiO_2 , assumem um comportamento de um gás na forma de pó aumentando o risco de dispersão no ar na forma de aerossóis. Sua importância se dá em relação a exposição de um trabalhador a uma diversa gama de compostos químicos que apresentem comportamentos, em sua grande maioria, incertos devido carência de estudos científicos sistematizados em relação à exposição do trabalhador e os efeitos à saúde humana (MAMANI, 2009; SILVA e LIMA, 2006).

Uma das características destes materiais é de assumirem uma movimentação browniana (Figura 6) quando em suspensão coloidal, ou seja, uma movimentação aleatória e não sistematizada sem a influência da força gravitacional e predominando, por exemplo, as forças de Van der Waals e forças eletrostáticas, devido a carga superficial das partículas (MAMANI, 2009; SILVA e LIMA, 2006).

Figura 5- Movimento Brawniano



Fonte: SILVA e LIMA (2006, apud PERRIN, p. 26)

2.2.3 Rotas de exposição

As principais rotas de exposição a nanomateriais são a inalatória, dérmica, ingestão ou injeção (Figura 7). Essas rotas de exposição são de extrema relevância para a análise situacional das atividades de trabalho e para a análise do risco do indivíduo ocupacionalmente exposto ao agente, neste caso a nanopartículas de TiO_2 (BERTI e PORTO, 2016).

Figura 6— Rotas de exposição a nanomateriais



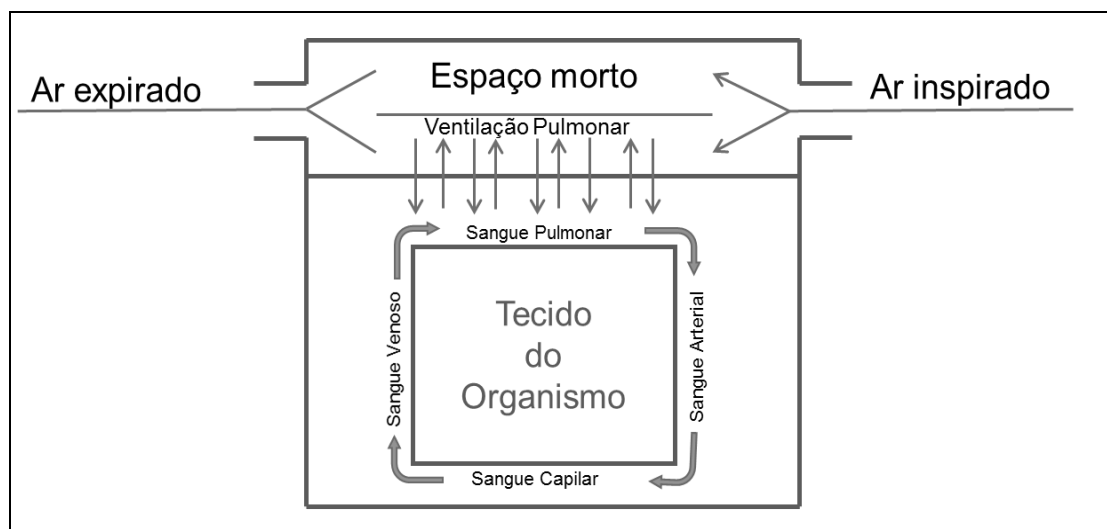
Fonte: Arquivo pessoal

Embora as rotas ou vias de exposição das nanopartículas sejam similares as de muitos materiais em escala macro, não se deve interpretar essa similaridade com a cinética e dinâmica desses substanciais no organismo humano e seus efeitos tóxicos. A rota inalatória e a rota dérmica a exemplo dos demais agentes químicos, classificam – se atualmente como as principais rotas de exposição aos agentes de risco em escala nano (BERTI e PORTO, 2016; CHANG et al., 2013; TORLONI e VIEIRA, 2003).

O fato de serem tecnologias relativamente novas e a exposição dos trabalhadores ainda ser limitada não se possui evidências epidemiológicas suficientes para se determinar órgãos alvo, devido ao próprio tamanho das partículas que podem se aproximar de tamanhos em escala atômica. Sendo assim, ao se pensar em exposição ao agente de risco TiO_2 , por rota inalatória, pode-se correlacionar essa

rota como consequência do fluxo respiratório humano (Figura 8) que faria o transporte para o interior do sistema respiratório e mesmo com sua cinética incerta, pelo tamanho da partícula, seria capaz de chegar facilmente nas regiões alveolares dos pulmões e corrente sanguínea (CHANG et al., 2013; MESQUITA, GUIMARÃES e NEFUSSI, 1988; SANTOS, 2014).

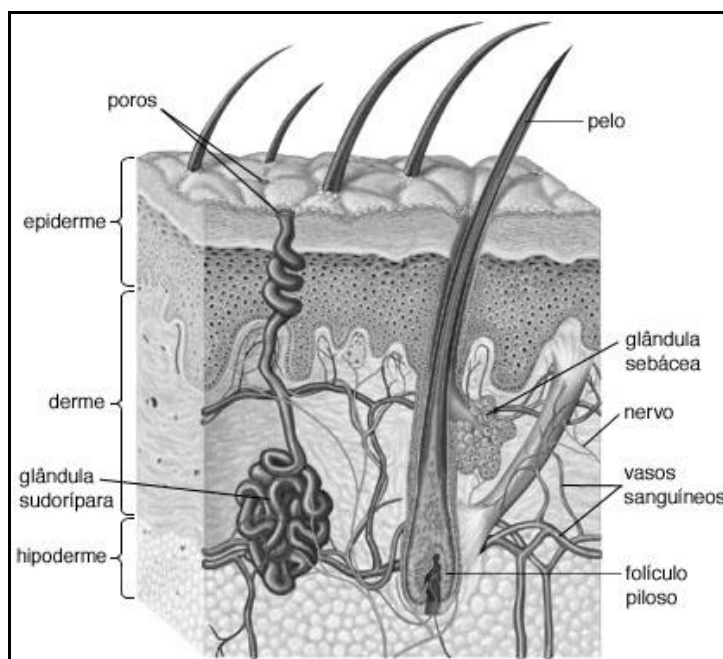
Figura 7 - Fluxo respiratório humano



Fonte: Adaptado de MESQUITA, GUIMARÃES e NEFUSSI (1988)

Em relação a exposição ao agente de risco TiO_2 , por rota dermal, pode-se correlacionar o tamanho da partícula com a possibilidade de a mesma penetrar na pele através dos folículos capilares, conseguindo atingir o folículo piloso, um dos anexos da derme, que é extremamente vascularizado na região proliferativa (zona de divisão celular), alcançando a corrente sanguínea (Figura 9), entre outras possibilidades (HARRIS, 2009; SANTOS, 2014).

Figura 8 – Estrutura da pele



Fonte: ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA (2010)

As barreiras imunológicas da pele, pulmões ou trato gastrointestinal podem ser vencidas devido ao tamanho das nanopartículas podendo causar problemas sistêmicos devido a sua translocação para a corrente sanguínea e conseqüentemente diversos órgãos, sistema linfático, tecidos, células, sendo que o tamanho das partículas influenciará diretamente sua translocação (SANTOS, 2014).

2.3 NANOPARTÍCULAS DE TiO_2 – UMA REFLEXÃO SOBRE O POTENCIAL CARCINOGENÉTICO

Segundo o Ministério da Saúde, o câncer relacionado ao trabalho é definido como decorrente da exposição a agentes carcinogênicos presentes no ambiente de trabalho, mesmo após a cessação da exposição (BRASIL, 2018). Esta definição elucida as questões relacionadas ao tempo de latência, do surgimento de uma patologia em um indivíduo ocupacionalmente exposto, que pode demorar anos, e o estabelecimento do nexo causal em momento futuro (BRASIL, 2018). Devido ao tempo de latência e poucas informações epidemiológicas, tanto o potencial carcinogênico, assim como os respectivos nexos causais ainda são desconhecidos em humanos. Sendo assim, faz-se importante a análise do histórico das informações

já existentes para uma reflexão sobre as possíveis implicações que os materiais podem ter nas escalas nanométricas.

As partículas de TiO_2 , em escala macro são classificadas como A4 segundo níveis de carcinogenicidade estabelecidos pela *ACGIH* (Tabela 1), onde se atribui como um potencial carcinogênico humano, mas com sua classificação inconclusiva por falta de dados que ratifiquem a suspeita, mesmo após estudos *in vitro* e *in vivo* (*ACGIH*, 2016).

Tabela 1 - Classificação de carcinogenicidade *ACGIH*

| |
|--|
| A1 – Carcinogênico para humanos |
| A2 – Carcinogênico para animais |
| A3 – Carcinogênico para animais em condições especiais |
| A4 – Não classificável como carcinogênico para humanos |
| A5 – Não suspeito de carcinogênico para humanos |

Fonte: adaptado de *ACGIH* (2016)

Segundo a *IARC* (Tabela 2), as partículas macro de TiO_2 são classificadas como 2B em escalas de níveis de carcinogenicidade, como possível carcinogênico para humanos (*IARC*, 2019).

Tabela 2 - Classificação de carcinogenicidade *IARC*

| |
|--|
| Grupo 1 – Carcinogênico para humanos |
| Grupo 2A – Provavelmente carcinogênicos para humanos |
| Grupo 2B – Possivelmente carcinogênicos para humanos |
| Grupo 3 – Não classificável quanto a sua carcinogenicidade para os seres humanos |
| Grupo 4 – Provavelmente não carcinogênico para humanos |

Fonte: Adaptado de *IARC* (2019)

As classificações em escala macro apenas norteiam a possibilidade de maiores efeitos deletérios a partir de estudos com partículas em escala nano, devido ao aumento do potencial da energia das partículas e suas alterações físico – químicas e respectivamente em suas interações com sistemas biológicos (KLAASSEN e WATKINS III, 2012; LAU e PIAH, 2011; OGA, CAMARGO e BATISTUZZO, 2008). Essas constatações aumentam as incertezas referentes ao potencial do dano à saúde humana, principalmente em ocasião da exposição ocupacional.

Quando se fala de efeitos deletérios no organismo, causado por uma substância química exógena, via de regra, analisa-se seu MOA – Modo de Ação de uma determinada substância química no organismo humano (KLAASSEN e WATKINS III, 2012). No caso das nanopartículas, sabe-se pouco em relação às suas características cinéticas e dinâmicas no organismo e respectivamente seu MOA e possíveis efeitos toxicológicos que poderão ocorrer por exposição a determinada substância, sendo assim, prejudicada a compreensão dos aspectos toxicocinéticos e toxicodinâmicos (KLAASSEN e WATKINS III, 2012; CHANG et al., 2013; ROCHA, 2018).

As interações químicas ocorrem por meio de diversos mecanismos, dentre eles a biotransformação, ligações proteicas, alterações na absorção e na excreção de uma ou mais substâncias que podem estar interagindo no organismo, estas interações que geram a reação do organismo entre substâncias tóxicas podem ser aumentadas ou diminuídas dependendo de seu sítio de ação (KLAASSEN e WATKINS III, 2012). Outro fator importante a ser analisado é a susceptibilidade individual, ou seja, deve-se observar as características específicas dos indivíduos expostos em dar respostas biológicas diferentes mesmo estando exposto a mesma fonte geradora do risco (OGA, CAMARGO e BATISTUZZO, 2008).

O MOA em nanopartículas possui um elevado grau de complexidade, devido a capacidade das nanopartículas serem transportadas pelo compartimento central do indivíduo, podendo se depositar em diversos locais e seus microssistemas, por exemplo, pulmões, cérebro, rins e fígado, áreas lipídicas, moléculas, células, DNA, etc. (Tabela 3) (CHANG et al., 2013; KLAASSEN e WATKINS III, 2012; ROCHA, 2018).

Tabela 3 - Combinação efeitos de nanopartículas de TiO₂ em vários órgãos (*in vivo*)

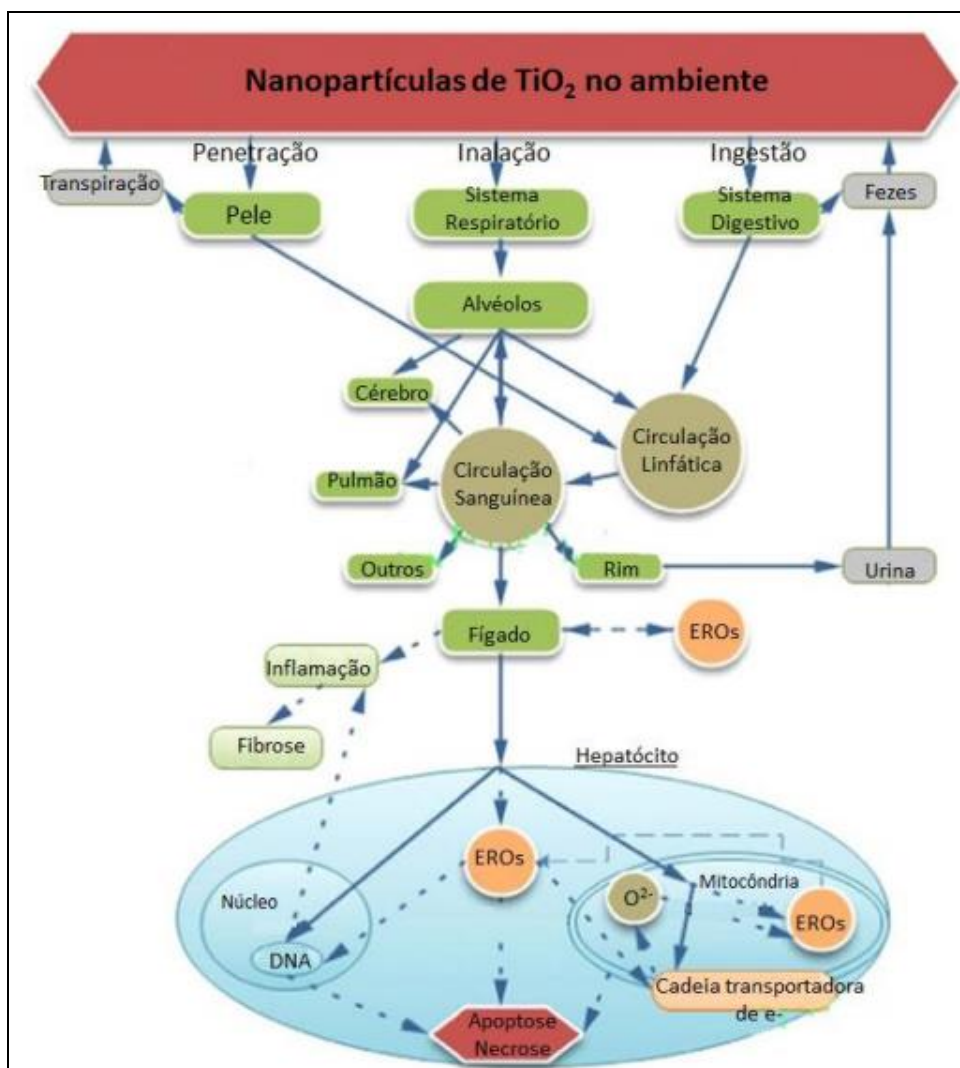
| Rota exposta | Fígado | Baço | Rim | Pulmão | Cérebro | Coração | Total | % b |
|--------------------|--------|------|------|--------|---------|---------|-------|-----|
| Trato digestivo | 3/0 | 0/1 | 3/0 | 0/1 | 1/0 | 0/1 | 7/3 | 70 |
| Trato respiratório | 4/0 | 1/1 | 2/1 | 12/3 | 1/1 | 0/2 | 20/8 | 71 |
| Intraperitoneal | 7/2 | 1/1 | 5/1 | 2/2 | 1/0 | 2/1 | 18/7 | 72 |
| Pele | 1/0 | 1/0 | 1/0 | 1/0 | 0/1 | 0/1 | 4/2 | 67 |
| Veia caudal | 1/0 | 0/0 | 2/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 3/0 | 100 |
| Total ^a | 16/2 | 3/3 | 13/2 | 15/6 | 3/2 | 2/5 | 52/20 | - |
| % ^b | 89 | 50 | 87 | 71 | 60 | 29 | 72 | - |

^a Número de estudos positivos/negativos em ratos e camundongos^b Porcentagem de estudos positivos

Fonte: adaptado de CHANG et al., (2013).

A toxicidade inicia-se com a liberação do toxicante para seu alvo ou interações com alvos moleculares endógenos que iniciam uma série de distúrbios celulares, gerando produtos de biotransformação, por exemplo, o peróxido de hidrogênio, causando apoptose, ou seja, morte celular, ativando mecanismos de defesa do organismo, como os macrófagos que fagocitam os pequenos fragmentos celulares, atuando sobre grupos enzimáticos específicos. A lesão e o dano celular se estabelecem de maneira progressiva, na maioria das vezes, com difícil reparação causando a necrose (morte) celular e com mecanismos de reparação que não atende as demandas, não conseguindo uma efetiva reparação para reversão da dinâmica do toxicante sobre o sistema biológico (Figura 10). A insuficiência de vários mecanismos de reparo incluindo o do DNA, podem ocasionar um processo de explosão clonal de células defeituosas, originando neoplasias e evoluindo para o câncer (KLAASSEN e WATKINS III, 2012; OGA, CAMARGO e BATISTUZZO, 2008; ROCHA, 2018)

Figura 9 - Distribuição das nanopartículas de dióxido de titânio no organismo



Legenda: Traços sólidos representam o meio pela qual as nanopartículas de TiO_2 entram no organismo; os tracejados representam as reações estimuladas pelas nanopartículas; os EROs representam a criação de espécies reativas de oxigênio, dentro delas, o peróxido de hidrogênio.

Fonte: ROCHA (2018, apud HONG; ZHENG, 2016, p. 2).

Efeitos genotóxicos e mutagênicos não são as únicas constatações feitas através de estudos com camundongos e ratos, mas também efeitos tóxicos no sistema imunológico gerado pelas propriedades físico-químicas das partículas nano (CHANG et al., 2013). Em humanos o mecanismo de ação de doenças autoimune, que em síntese é a produção de anticorpos que atuam contra a células, tecidos ou órgãos do próprio corpo, causam alterações estruturais nos órgãos linfoides ou nas membranas das células imunes ou mudanças nos órgãos linfoides ou no soro circulante (KLAASSEN e WATKINS III, 2012).

Segundo CHANG et al., (2013), estudos relacionados à compreensão da imunotoxicologia das partículas nano de TiO_2 , em camundongos e ratos demonstraram que estudos positivos foram os mais baixos, uma vez da escolha do baço, para este fim, apenas 14% (quatorze por cento) do total da amostra.

2.4 NANOPARTÍCULAS DE TiO_2 – LIMITES DE EXPOSIÇÃO

No Brasil, segundo a NR 15 – Norma Regulamentadora que trata sobre atividades e operações insalubres, é comumente utilizada a sigla LT – Limite Tolerância, esclarecido no item 15.1.5:

“Entende-se por "Limite de Tolerância", para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral. ” (BRASIL, 2019)

Sendo que, a NR 9 – Norma Regulamentadora que trata sobre programas de prevenção de riscos ambientais, abre um precedente para utilização dos valores do LEO estabelecidos pela *ACGIH*, conforme citado item 9.3.5.1 alíneas c.

“Deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações:

...c) quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes os valores limites de exposição ocupacional adotados pela *ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos. ” (BRASIL, 2019)

Segundo a *ACGIH* (2016), o TiO_2 em escala macro possui um LEO – Limite de Exposição Ocupacional de 10 mg/m^3 média ponderada no tempo de 08 horas, com seu nível de ação de 5 mg/m^3 .

A *ACGIH* acredita que particulados, mesmo quando inertes e não classificados de outras maneiras, quando possuem características de serem insolúveis ou de baixa solubilidade em água ou, preferencialmente em fluidos aquosos do pulmão, mesmo

com baixa toxicidade, mediante dados científicos validados, podem causar efeitos adversos e recomenda que as concentrações ambientais sejam mantidas abaixo de 3 mg/m^3 , para partículas na fração respirável, e de 10 mg/m^3 para frações inaláveis até que se estabeleça um LEO para aquela substância específica, classificando-a como PNOS – Partículas (insolúveis ou de baixa solubilidade) Não Especificadas de Outra Maneira (ACGIH, 2016).

No Brasil, não se tem limite estabelecido para TiO_2 em nenhuma de suas escalas, quando referencia-se a ACGIH, apenas encontra-se referência a partículas macro, ou seja, mesmo enquadrando-as como PNOS subestima-se os efeitos da exposição em partículas na escala nano, principalmente as menores que 100 nanômetros (BRASIL, 2019; ACGIH, 2016; LAU e PIAH, 2011).

Um estudo realizado pelo *NIOSH – National Institute Safety and Health* apresentou uma avaliação quantitativa do risco utilizando o conceito de dose – resposta, em estudos com animais, analisando partículas finas e ultrafinas (incluindo a nanoescala) aplicado apenas para exposições ocupacionais e por inalação recomendando limites de exposição de $2,4 \text{ mg/m}^3$ para partículas finas e $0,3 \text{ mg/m}^3$ para partículas ultrafinas de TiO_2 , como concentrações médias ponderadas de até 10 (dez) horas diárias e uma jornada de trabalho com 40 (quarenta) horas semanais. A partir de seu estudo, a *NIOSH* determinou que as partículas ultrafinas, “nanoengenheiradas”, enquadram-se como um agente com potencial carcinogênico, porém sem dados suficientes para sua classificação, colocando-se aberta à comunidade científica para contribuições e evolução do estudo referido (EASTLAKE ZUMWALDE e GERACI, 2016).

Segundo a *OSHA – Occupational Safety and Health Administration* (2019), o limite de exposição admissível (PEL) é de 15 mg/m^3 para TiO_2 como pó, em concentrações médias ponderadas de até 8 (oito) horas diárias, também para partículas macro.

2.5 NANOPARTÍCULAS DE TiO_2 – GERENCIAMENTO DO RISCO

O cerne de todo processo de gerenciamento de riscos é a prevenção, esta precisa ser considerada para que todas as partes interessadas na gestão dos riscos se

envolvam com princípios avaliação e supervisão das novas tecnologias, neste caso as nanotecnologias, e todos os subsistemas de desenvolvimentos que se agregam a ela como a ciência dos materiais em escala nano. Esta necessidade não se aplica apenas às nanopartículas de TiO_2 , mas aos desafios de gerenciamento e gestão aos quais elas se integram, uma vez que, possuem uma vasta aplicabilidade industrial (KLAASSEN e WATKINS III, 2012; ICTA, 2007).

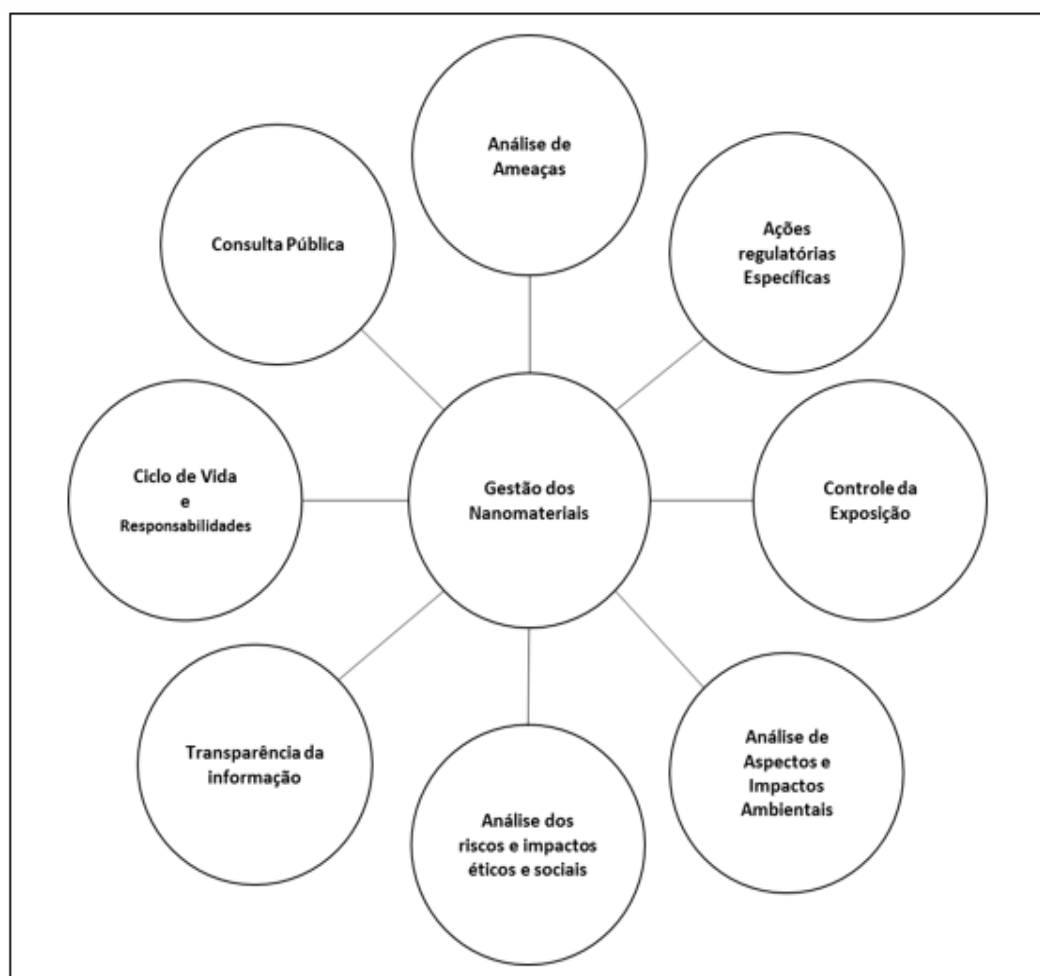
A Comissão Europeia em sua Diretiva 89/ 391/ CEE, de 12 de junho de 1989, discorre sobre as responsabilidades dos empregadores de assegurarem a segurança e a saúde dos trabalhadores de maneira global em relação aos aspectos relacionados com o trabalho enfatizando os princípios de prevenção e a necessidade de serem geridos nos ambientes de trabalho e demais dimensões correlatas conforme a seguir:

- Evitar os riscos ou eliminá-los;
- Avaliar os riscos que não possam ser evitados ou eliminados;
- Combater os riscos na origem;
- Adaptar o trabalho ao homem, especialmente no que se refere à concepção dos postos de trabalho, bem como à escolha dos equipamentos de trabalho e dos métodos de trabalho e de produção;
- Ter em conta o estado de evolução da técnica e sua influência e impacto nas ações de prevenção do risco;
- Substituir o que é perigosa pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;
- Planejar a prevenção de modo coerente que integre a técnica, a organização do trabalho, as condições de trabalho, as relações sociais e a influência dos fatores ambientais no trabalho;
- Priorizar às medidas de proteção coletiva em relação às medidas de proteção individual;
- Instruir adequadamente os trabalhadores.

Em janeiro de 2007, o *ICTA - International Center for Technology Assessment* e a *Friends of de Earth* em *Whashington, DC*, juntamente com ONGs acreditadas sobre nanotecnologia, fomentaram uma série de debates nas esferas da saúde, trabalho, sociedade civil, assim com ambientalistas e organizações de base Norte Americanas

sobre princípios fundamentais para a avaliação e supervisão da nanotecnologia, pautados pelo projeto *NanoAction* do *International Center for Technology Assessment*, que originou um documento sistematizado sobre os princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais (Figura 11). Essencialmente aborda-se ações preventivas através de mecanismos de supervisão envolvendo as características típicas dos materiais, proteção da saúde pública e a segurança dos trabalhadores (ICTA, 2007).

Figura 10 - Ações básicas para gestão de nanomateriais



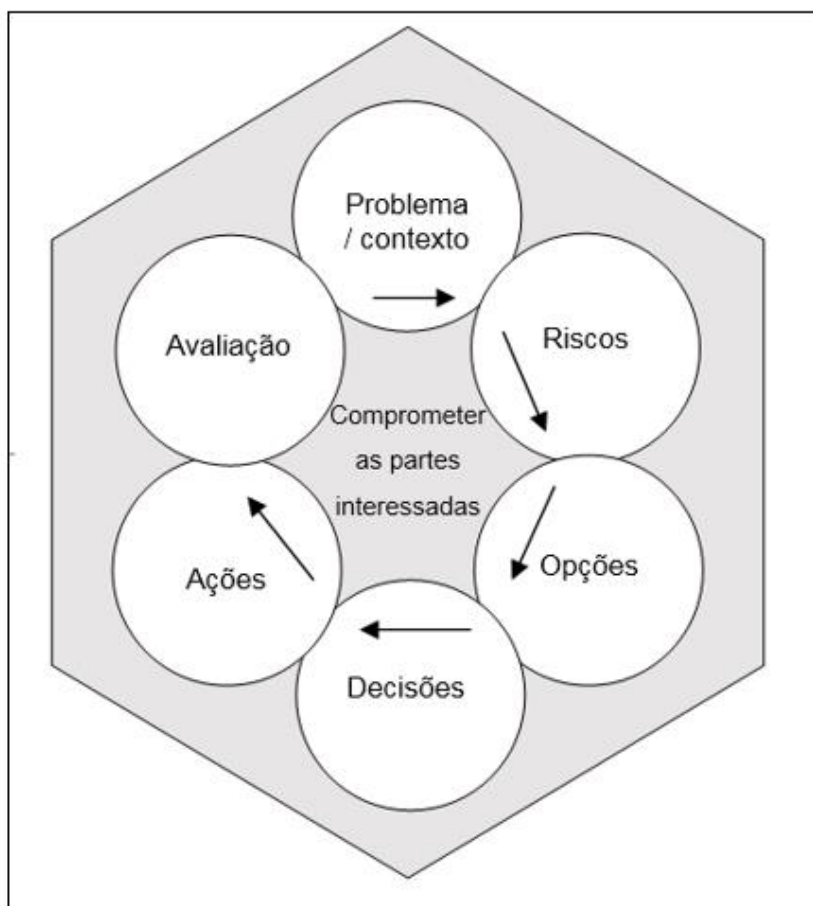
Fonte: Adaptado de *NanoAction* ICTA (2007)

Uma primeira necessidade em relação a análise de risco é compreendê-lo e a maioria dos parâmetros necessários para caracterizá-lo e consequentemente geri-lo de modo a mitigá-lo, neutralizá-lo ou eliminá-lo. Sendo assim, faz-se necessária não apenas a aplicação de técnicas de gerenciamento, mas uma detalhada análise de

cenários e quais as dimensões que ele, o risco, assumirá e de todos os envolvidos direta ou indiretamente a ele (KLAASSEN e WATKINS III, 2012; ICTA, 2007).

O gerenciamento do risco para saúde ambiental, está compreendido em seis etapas: a formulação do problema no contexto amplo da saúde pública; análise dos riscos envolvidos; definição das opções para o problema apresentado; tomada de decisões de redução dos riscos; implementação das ações; e avaliação da efetividade das ações tomadas com o engajamento de todos as partes interessadas (Figura 12) (KLAASSEN e WATKINS III, 2012).

Figura 11 - Esquema de gerenciamento de risco para saúde ambiental



Fonte: Adaptado de KLAASSEN e WATKINS III, (2012)

2.5.1 Metodologias quantitativas

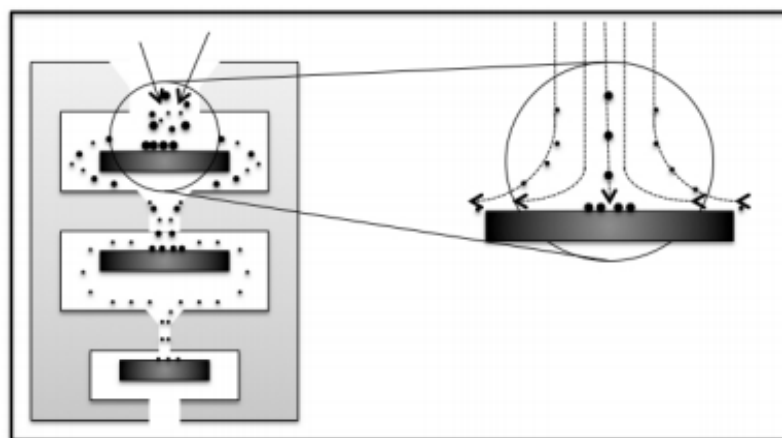
Ainda são escassos os estudos sobre a quantificação de nanopartículas em suspensão em um ambiente ocupacional a serem coletadas diretamente em trabalhadores através de métodos gravimétricos para contagem de aerossóis. O

mais próximo deste método seria o por comportamento inercial, funcionando por impactação escalonada por estágios em linha ou andares, onde as partículas sofrem redução a cada estágio, devido a inércia das partículas maiores e depois a deposição de diâmetros de partículas menores (FIGUEIREDO, 2012).

Esse método de separação de partículas por diâmetro aerodinâmico possui uma limitação de aplicação, pois nos sistemas tipicamente utilizados e produzidos, apenas realizam a análise em escala micrométrica entre 0,3 e 10 μm . Porém, a lógica empregada em *cascade impactor* (Figura 13), após um aprimoramento, pode se apresentar como uma alternativa para ambientes onde se tenha uma tramitação de partículas entre as escalas micrométricas e nanométricas, com o objetivo de investigação e classificação, como atualmente é praticado em metodologias vigentes onde as partículas se classificam em frações inaláveis, torácicas e respiráveis, consecutivamente em relação a seus diâmetros de corte entre 100 μm , 10 μm , 4 μm (TORLONI e VIEIRA, 2003; FIGUEIREDO, 2012).

Um fator limitante é o tamanho das partículas em escala nano que podem ser pequenas demais para serem capturadas e possíveis desvios devido a diferenciação das características físico-químicas das partículas em escala nano (FIGUEIREDO, 2012; MELO e PIMENTA, 2004)

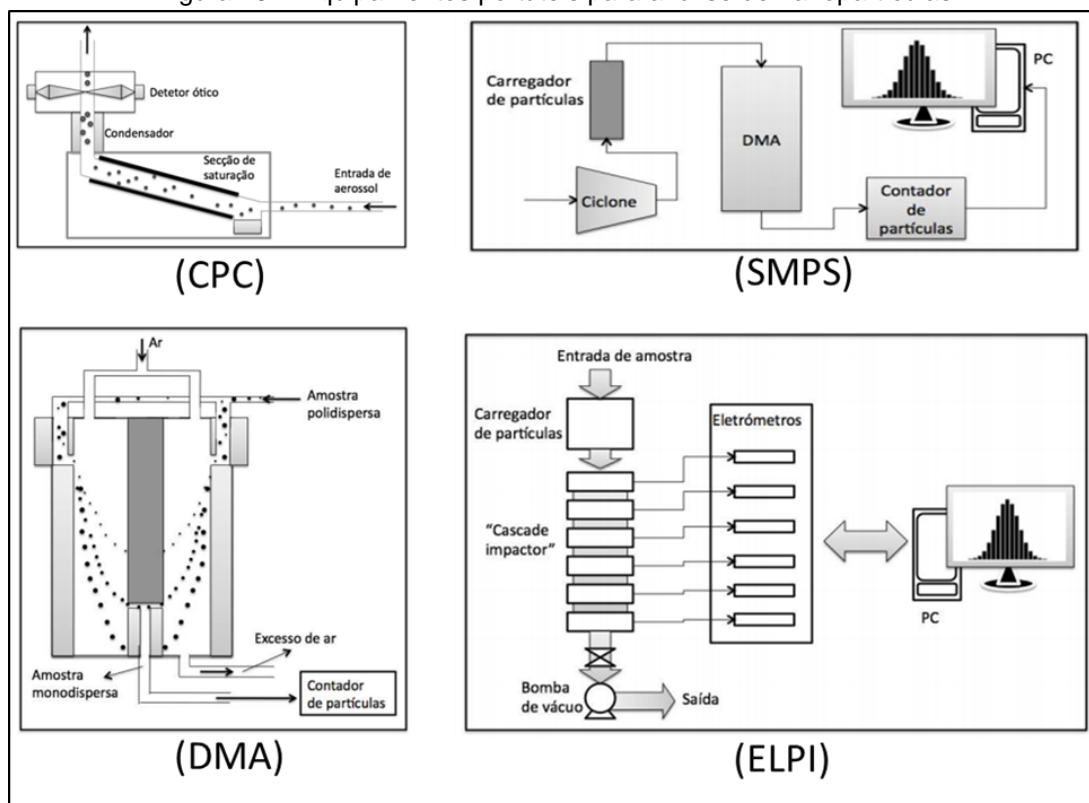
Figura 12 – Diagrama esquemático de um separador de partículas inercial



Fonte: adaptado de FIGUEIREDO (2012)

Segundo Figueiredo (2012), os principais equipamentos portáteis para análise de nanopartículas são: contadores de partículas (CPC), medidores de partículas com base na mobilidade elétrica (DMA e SMPS) e no comportamento inercial (ELPI) e medidores de área superficial (DC) (Figura 14).

Figura 13 - Equipamentos portáteis para análise de nanopartículas

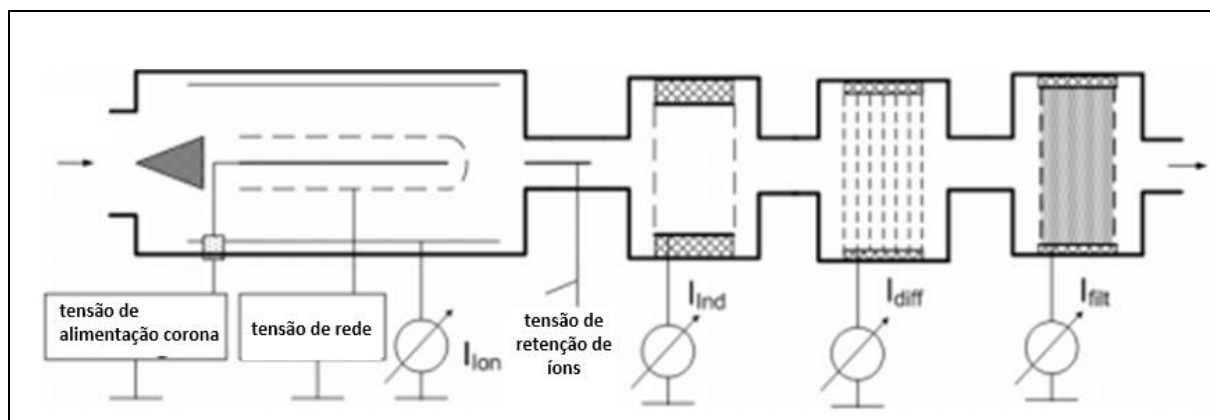


Legenda: CPC – Condensation Particle Counter; DMA – Differential Mobility Analyzer; SMPS – Scanning Mobility Particle Sizer; ELPI – Electrostatic Low Pressure Impactor.

Fonte: adaptado de FIGUEIREDO (2012)

Atualmente já existem analisadores ambientais para nanopartículas que quantificam as partículas no ambiente e fazem referência média ao diâmetro das partículas, ou seja, uma estimativa de sua área superficial (Figura 15). Neste tipo de equipamento as partículas sofrem uma carga elétrica por intermédio de um carregador tipo corona, passando depois por um filtro onde ficam retidas, passando anteriormente por uma tensão de baixa voltagem que recolhem os íons livres fazendo com que as partículas carregadas sejam precipitadas num filtro eletricamente isolado (FIERZ, BUSTSCHERS e STEIGMEIR, 2007; FIGUEIREDO, 2012).

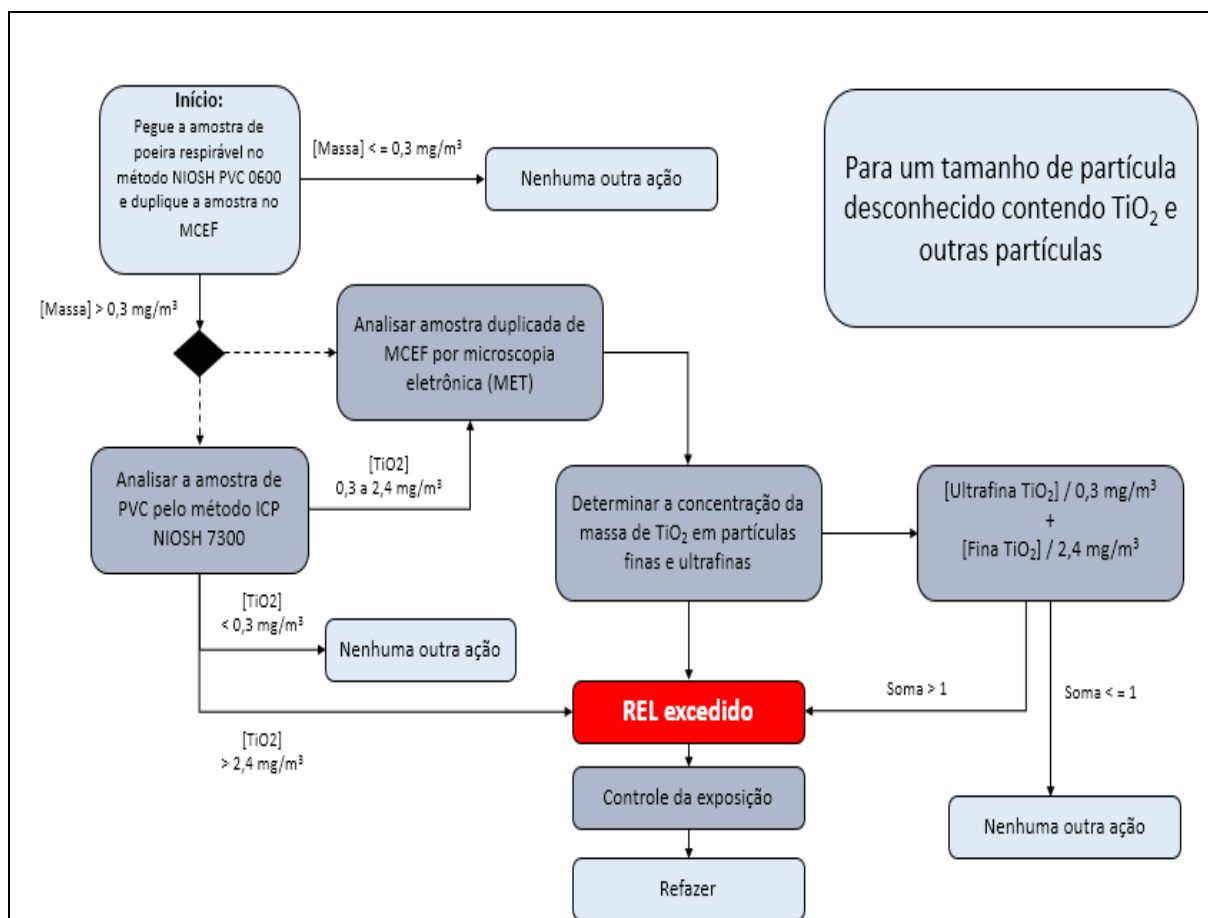
Figura 14 - Esquema de funcionamento de um *DiSC* - *Diffusion Size Classifier*



Fonte: FIERZ, BUSTSCHERS e STEIGMEIR (2007).

Como amplamente discutido a demanda pela informação referente as características morfológicas das partículas fez com que ocorresse um aprimoramento tecnológico para o controle dos ambientes onde existam nanopartículas em forma de aerossóis. Os métodos quantitativos não são um fim em si mesmos em relação à segurança nas atividades envolvendo nanopartículas, porém, irão auxiliar nos processos de gerenciamento do risco indubitavelmente (FIGUEIREDO, 2012; LAU e PIAH, 2011; RIBEIRO et al., 2010).

O *NIOSH*, 2011 estabeleceu um protocolo de qualificação der risco a partir de referências quantitativas para a tomada de decisão referente as partículas finas e ultrafinas de TiO_2 (Figura 16).

Figura 15 - Protocolo de avaliação da exposição a partículas de TiO_2 

Fonte: Adaptado de NIOSH (2011)

2.5.2 Metodologias qualitativas

As metodologias qualitativas são fundamentais para qualquer ação preventiva relacionada à gestão risco, principalmente quando as informações que se tem de um determinado processo é restrita, assim como a exposição de um trabalhador a um determinado tipo de material e em especial na escala nanométrica. Como retratado, em escala nanométrica tem-se uma série de parâmetros qualitativos a serem percebidos em relação à partícula e demais peculiaridades que se apresentam com as novas formas de produção, novas tecnologias e suas aplicações que envolvem o trabalhador por alterações significativas em seus respectivos postos de trabalho e todas as suas variáveis (EASTLAKE, ZUMWALDE e GERACI, 2016).

Essa realidade trouxe à tona a necessidade do desenvolvimento de métodos sistêmicos que pudessem suprir uma primeira ação de gerenciamento e controle da exposição com a finalidade de salvaguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores expostos a nanopartículas, onde destaca-se a metodologia de controles por faixas de risco, conhecidos como *Control Banding (CB)*. Esta ferramenta é aplicada para classificar e recomendar medidas de controle de exposição a substâncias potencialmente perigosas e com informações toxicológicas limitadas. Algumas informações são fundamentais para a aplicação da ferramenta e suas variáveis, como: conhecimento do potencial de perigo; probabilidade de exposição e capacidade de verificar a eficácia das medidas de controles existentes (EASTLAKE, ZUMWALDE e GERACI, 2016).

Atualmente existem várias metodologias desenvolvidas para o controle por faixa de riscos aplicáveis para avaliações qualitativas relacionados ao gerenciamento de risco relacionado ao uso de nanopartículas em ambientes de trabalho, dentre elas destacam – se: *Stoffenmanager nano*, *CB Nanotool*, *Precautionary Matrix*, *ANSES*, *Nanosafes*, *ISO/TS 12901-2* e *Guidance* (BERTI e PORTO, 2016; FUNDACENTRO, 2018).

Existe uma similaridade em suas aplicações e medidas de gerenciamento dos riscos, sendo assim será detalhada a ferramenta *CB Nanotool* aplicada pela *NIOSH/CDC* e desenvolvida inicialmente na indústria farmacêutica desde a década de oitenta que tem como base o modelo de biossegurança para análise de risco e investigação do potencial de novas drogas para as quais não haviam valores para limite de exposição (NIOSH, 2009; PAIK, ZALK e SWUSTE, 2008).

Para a aplicação da ferramenta, faz-se necessário o levantamento de informações que qualificam e auxiliam na aplicação do método, essas informações contribuem para a determinação de um score, uma pontuação, que correlaciona severidade/fator de gravidade com a determinação da probabilidade, segundo *CB Nanotool*, são elas:

a) Para a determinação da severidade:

- Reatividade Superficial;
- Forma da partícula;

- Diâmetro da partícula;
 - Solubilidade;
 - Carcinogenicidade conhecida para humanos ou animais;
 - Perigo para a reprodutividade;
 - Mutagenicidade;
 - Perigo para a pele;
 - Capacidade de provocar asma;
 - Toxicidade do material de origem;
 - Carcinogenicidade do material de origem;
 - Toxicidade para a reprodução do material de origem;
 - Mutagenicidade do material de origem;
 - Capacidade de o material de origem provocar asma.
- b) Para a determinação da probabilidade:
- Quantidade estimada de material utilizado durante a tarefa;
 - Pulverulência – capacidade e/ou probabilidade do material de dispersar no ar;
 - Número de funcionários com exposição similar;
 - Frequência de operação;
 - Tempo de duração da operação (NIOSH, 2009; PAIK, ZALK e SWUSTE, 2008).

O valor máximo dos escores de severidade e probabilidade não superam 100 pontos e devem servir para determinar o nível global de risco (Figura 17). Com base no cruzamento entre os escores de severidade e probabilidade são sugeridas medidas de controle de engenharia de acordo com o nível global de riscos – RL1 a RL4, respectivamente ventilação geral, exaustores ou ventilação local exaustora, contenção ou no nível mais elevado a consulta a um especialista.

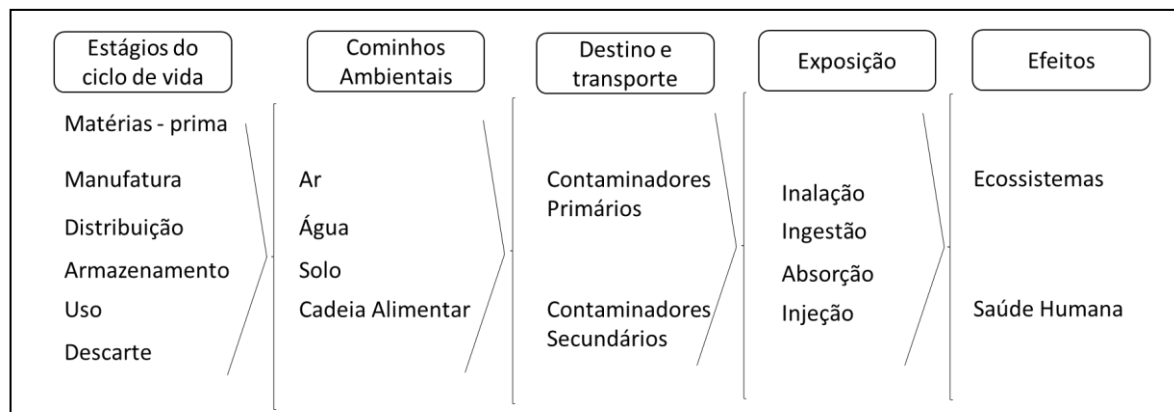
Figura 16 - Determinação das pontuações do nível de risco (RL) com base no escore de gravidade (eixo y) e no escore de probabilidade (eixo x) para o *CB Nanotool*.

| | | Probabilidade | | | |
|--|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | Extremamente Improvável (0 – 25) | Menos Provável (26 – 50) | Possível (51 – 75) | Provável (76 – 100) |
| Severidade | Muito alta (76 – 100) | RL 3 | RL 3 | RL 4 | RL 4 |
| | Alta (51 – 75) | RL 2 | RL 2 | RL 3 | RL 4 |
| | Média (26 – 50) | RL 1 | RL 1 | RL 2 | RL 3 |
| | Baixa (0 – 25) | RL 1 | RL 1 | RL 1 | RL 2 |
| Controle por bandas (<i>Control Banding</i>) | | | | | |
| RL 1 | Ventilação Geral | | | | |
| RL 2 | Capelas de exaustão ou ventilação de exaustão local | | | | |
| RL 3 | Contenção | | | | |
| RL 4 | Procurar orientação especializada | | | | |

Fonte: PAIK, ZALK e SWUSTE (2008)

Outras abordagens, estão relacionadas com a análise do ciclo de vida do impacto ambiental de nanomateriais materiais que consiste em análises detalhadas pautadas em variáveis essenciais relacionadas à exposição, a toxicidade e o risco como a *CEA* (*Comprehensive Environmental Assessment* – Avaliação Ambiental Completa) que considera o meio ambiente, caminhos ambientais, o destino e as formas de transporte, rotas de exposição e os efeitos para a saúde humana e ecossistemas naturais (Figura 18). É uma análise que estruturalmente visa identificar o desconhecido e o que é importante ser conhecido em relação à exposição e o quão significativa ela se mostra e quais as preocupações que devem ser levantadas em relação ao meio ambiente em relação a presença de nanomateriais (BERTI e PORTO, 2016).

Figura 17 - Etapas da metodologia CEA para avaliação do impacto ambiental do nanomaterial



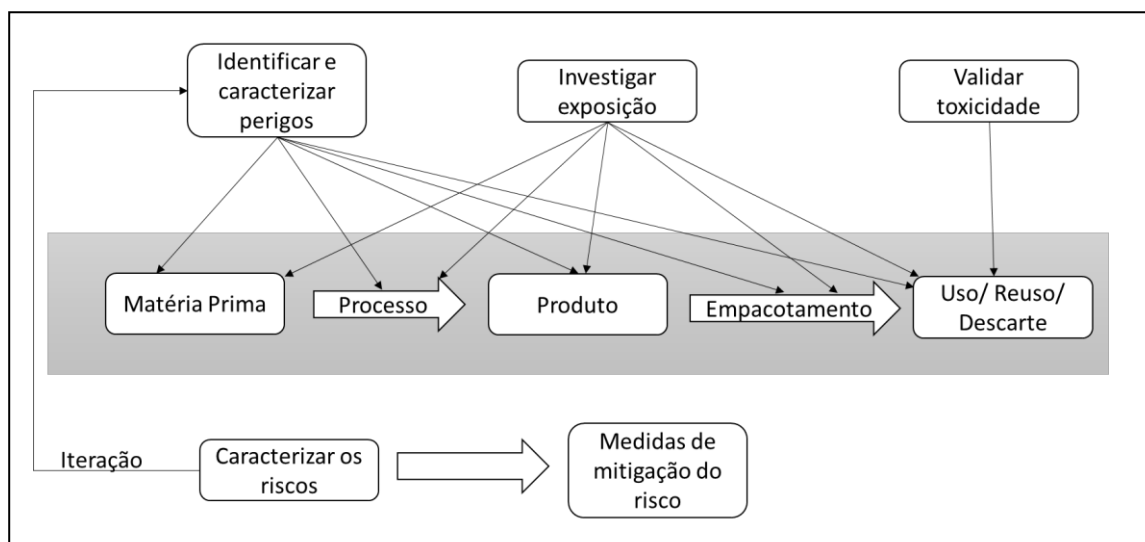
Fonte: Adaptado de BERTI e PORTO (2016)

Semelhantemente a análise de risco do ciclo de vida de nanomateriais – *Nano LCRA* aborda a análise do risco focada no ciclo de vida do nanomaterial (Figura 19). Fundamentalmente a *LCRA* está focada em um gerenciamento adaptativo focado em duas premissas que são adaptar e aprender, ou seja, pauta-se nas possibilidades de aprendizado sobre as incertezas apresentadas, possibilitando a oportunidade de crescentes entendimentos para o desenvolvimento de novos conceitos e ideias para o gerenciamento de risco dos nanomateriais, visando a saúde e a segurança em todo seu ciclo de vida (BERTI e PORTO, 2016).

Para executar a análise de riscos adaptativa *Nano LCRA* são definidos dez passos:

1. Descrição do ciclo de vida do produto;
2. Identificação dos materiais e avaliação do seu potencial de periculosidade;
3. Condução de uma avaliação qualitativa de exposição para os materiais em cada fase do ciclo de vida do produto;
4. Identificação da fase do ciclo de vida em que ocorre a exposição;
5. Validação do potencial de toxicidade humana e não humana em fases-chave do ciclo de vida;
6. Análise do potencial dos riscos para fases selecionadas do ciclo de vida (controle por faixas);
7. Identificação de incertezas-chave e falta de dados;
8. Desenvolvimento de estratégias de mitigação e de gerenciamento de riscos e dos próximos passos para proteção da exposição e risco;
9. Coleta e reunião de informações adicionais;
10. Iteração do processo, revisão de suposições, revalidação e ajustes dos passos de gerenciamento dos riscos. (BERT e PORTO, 2016 p. 152)

Figura 18 - Fluxo de análise adaptativa do risco Nano LCRA para o controle do ciclo de vida de produção do nanomaterial



Fonte: Adaptado de BERT e PORTO (2016)

2.5.3 Controles de engenharia

Para exemplificar os possíveis controles de engenharia existentes, será adotado como referência os métodos citados aplicados pela *NIOSH/CDC* na ferramenta *CB Nanotool* em relação aos resultados finais de classificação de riscos, ou seja, o *RL – Risk Level* correspondente (NIOSH, 2009; PAIK, ZALK e SWUSTE, 2008).

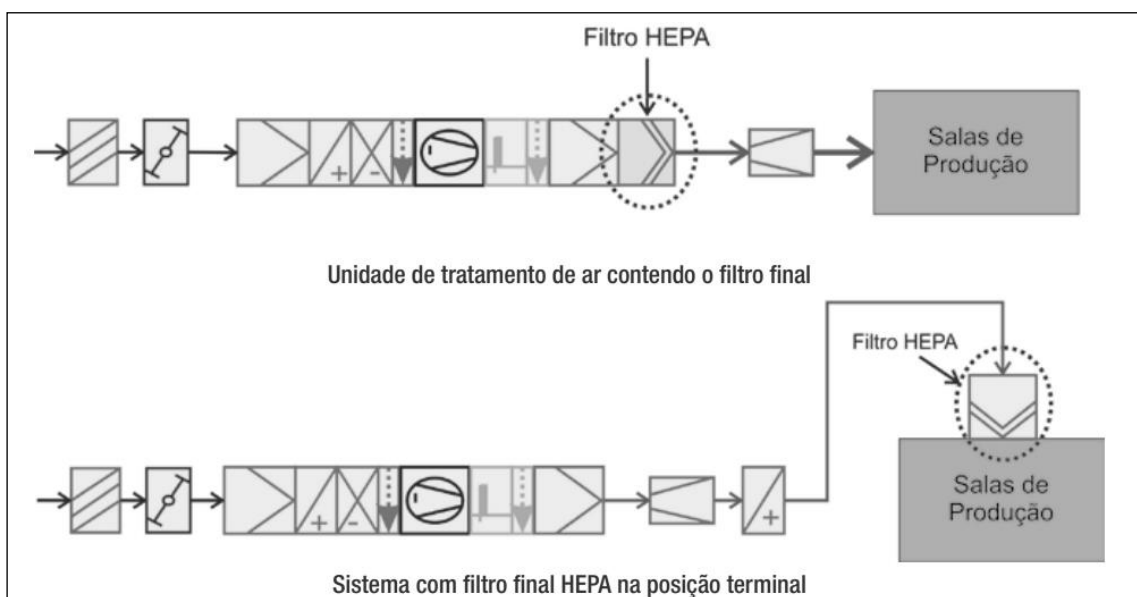
2.5.3.1 Ventilação Geral Diluidora – RL 1

Segundo Silva, 2016 a ventilação geral pode ocorrer de duas maneiras, a primeira de modo natural e a segunda de modo mecanizado. A de modo natural não se aplica a áreas limpas devido à necessidade da manutenção e controle da higiene e sanitário do ambiente. As classificações das exigências sanitárias do ambiente irão depender do tipo de processo a ser realizado, sua regulamentação e exigências de controles pré-estabelecidos (ANVISA, 2013; SILVA, 2016).

A exaustão geral diluidora tem maior aplicação em atividades que exigem níveis mais rigorosos de controle (Figura 20). Seu funcionamento, em vias gerais tem como

característica insuflar ar em um ambiente ocupacional ou exauri-lo, podendo realizar simultaneamente as duas ações com a finalidade de promover o controle de poluentes, por exemplo, aerodispersóides que podem oferecer riscos à saúde humana, onde enquadram-se as nanopartículas (ANVISA, 2013; SILVA, 2016).

Figura 19 - Exemplo de tratamento de ar em um sistema de ventilação geral diluidora

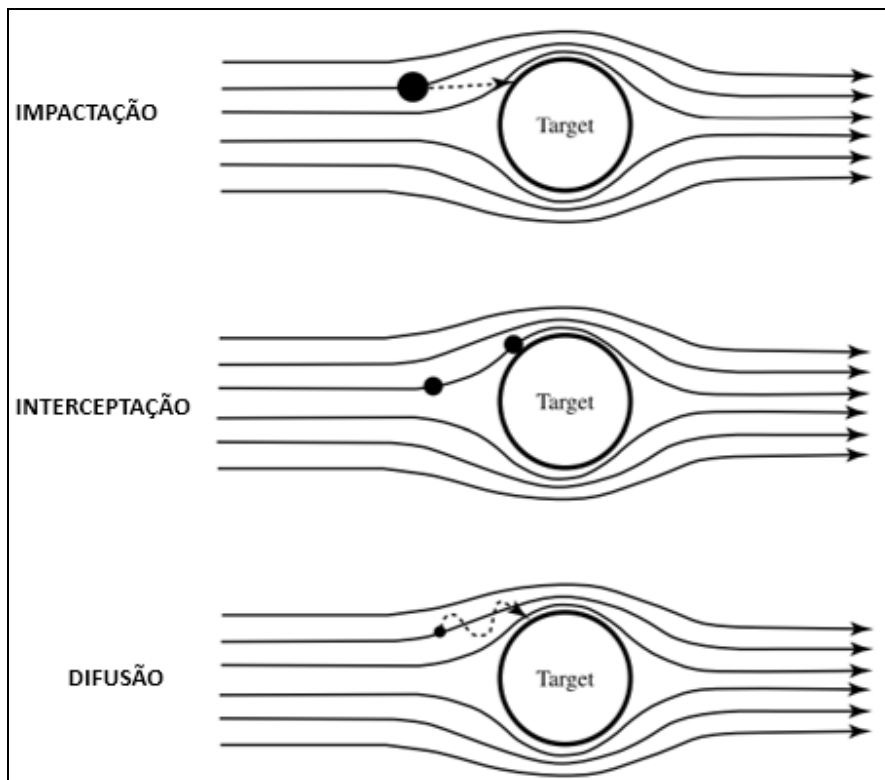


Fonte: ANVISA (2013)

2.5.3.2 Cabine ventilada ou ventilação exaustora local – RL 2

As cabines se mostram eficientes em relação à proteção com as nanopartículas quando equipadas com filtros *HEPA* - *High Efficiency Particulate Air Filters*, que são eficazes para filtrar e remover de partículas nanométricas do ambiente. Predominantemente a retenção das partículas ocorre pelo fenômeno de difusão, devido ao próprio comportamento browniano assumido por partículas pequenas presentes no ambiente, fenômeno físico que ocorre com as nanopartículas (Figura 21).

Figura 20 - Fenômenos de retenção de partículas por elementos filtrantes



Fonte: Adaptado de SCHENELLE e BROWN (2002)

Embora os filtros *HEPA* demonstrem efetividade com nanopartículas, não são os únicos sistemas a apresentarem efetividade no gerenciamento dos riscos envolvendo nanopartículas (Figura 22), a exemplo da categoria *ULPA* – *Ultra Low Penetration Air Filters* e dos novos filtros, *EPA* – *Efficient Air Filters* (ANVISA, 2013; BS EN 1822-1:2009).

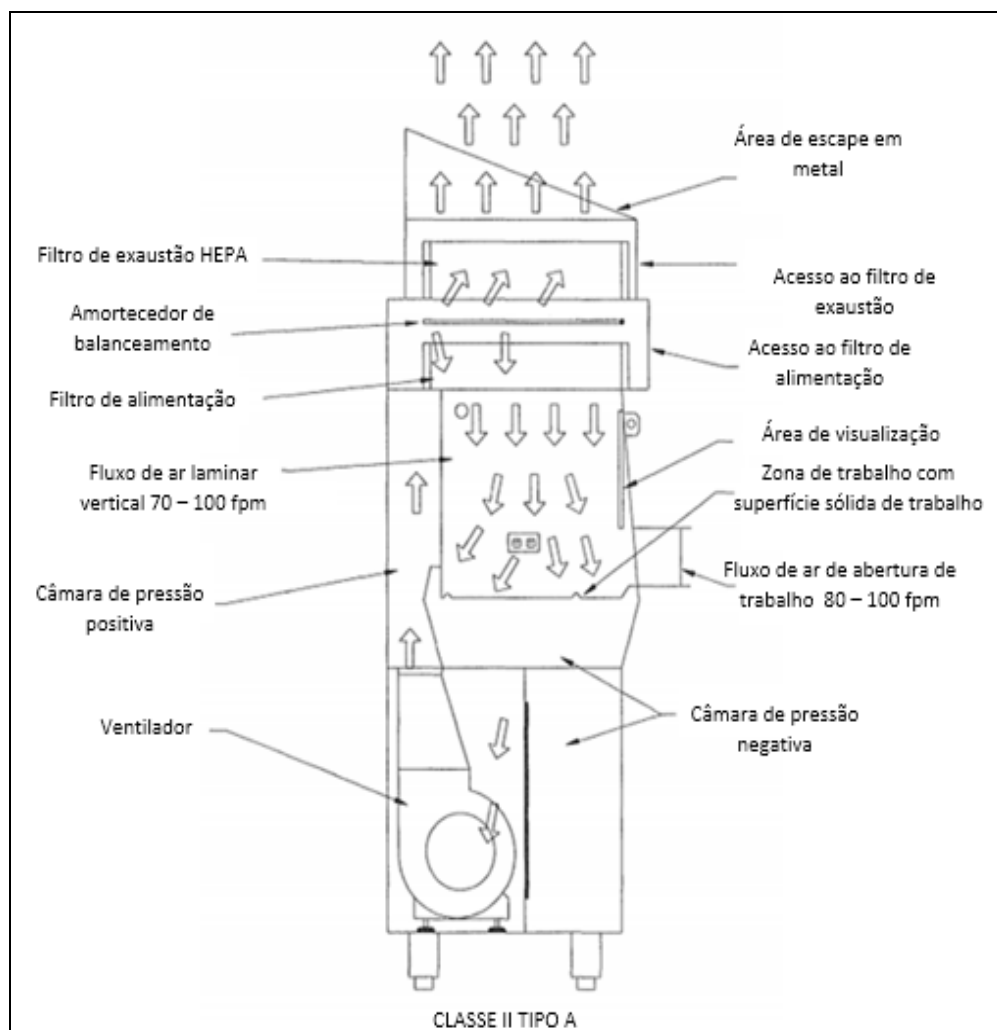
Figura 21 - Classificação dos filtros *EPA*, *HEPA* e *ULPA*

| Grupos dos filtros Classe de filtros | Valor integral | | Valor local ^{a b} | |
|--|----------------|----------------|----------------------------|------------------|
| | Eficiência (%) | Penetração (%) | Eficiência (%) | Penetração (%) |
| E 10 | ≥ 85 | ≤ 15 | --- ^c | --- ^c |
| E 11 | ≥ 95 | ≤ 5 | --- ^c | --- ^c |
| E 12 | ≥ 99,5 | ≤ 0,5 | --- ^c | --- ^c |
| H 13 | ≥ 99,95 | ≤ 0,05 | ≥ 99,75 | ≤ 0,25 |
| H 14 | ≥ 99,995 | ≤ 0,005 | ≥ 99,975 | ≤ 0,025 |
| U 15 | ≥ 99,999 5 | ≤ 0,000 5 | ≥ 99,997 5 | ≤ 0,002 5 |
| U 16 | ≥ 99,999 95 | ≤ 0,000 05 | ≥ 99,999 75 | ≤ 0,000 25 |
| U 17 | ≥ 99,999 995 | ≤ 0,000 005 | ≥ 99,999 9 | ≤ 0,000 1 |
| ^a Veja 7.5.2 e EN 1822-4 ^b Valores de penetração locais inferiores aos indicados na tabela podem ser acordados entre fornecedor e comprador ^c Os filtros do Grupo E (classes E10, E11 e E12) não podem e não devem ser testados quanto a vazamentos para fins de classificação. | | | | |

Fonte: BS EN 1822-1:2009

Para preservação da efetividade dos elementos filtrantes apresentados, faz-se necessária a manutenção dos sistemas e equipamentos que os conjugam. Uma análise periódica e sistematizada deve ocorrer para garantir a manutenção da qualidade do ar, sua salubridade e consequentemente a saúde do trabalhador. Esses filtros devem ser testados amplamente contra vazamentos com periodicidade de sua execução definida através de procedimentos e testes de efetividade (ANVISA, 2013).

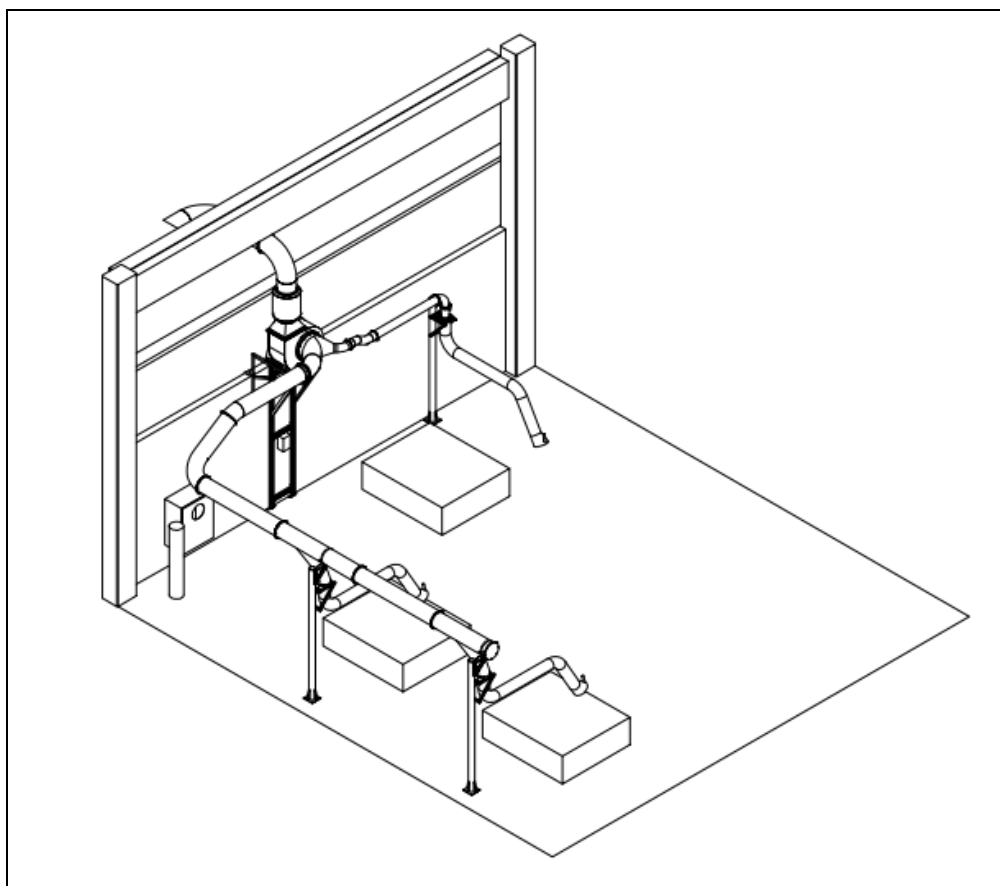
As cabines de trabalho manuais com nanopartículas possuem características e formas variadas, sendo a mais adequada para contenção de materiais a de fluxo de ar unidirecional ou cabine de fluxo de ar de proteção (Figura 23).

Figura 22 - Modelo de cabine ventilada com filtragem *HEPA*

Fonte: ACGIH (1998)

A ventilação local exaustora é composta por um sistema de captação de aerodispersóides que visa proteger a saúde do trabalhador antes que os mesmos consigam se dispersar no ar no local de trabalho e antes que alcancem a zona respiratória do trabalhador. Esse sistema também auxilia na manutenção da qualidade do ar local, influência nas trocas térmicas do ambiente e controle da poluição, uma vez que o contaminante do ar passa por filtros que os contêm evitando sua dispersão no meio ambiente (Figura 24). Em linhas gerais ela é composta pelos seguintes itens: captor, sistema de dutos, ventilador e equipamento de controle de poluição do ar e sistemas de filtragem *HEPA*, etc. (SILVA, 2016; NEUENHAUS, 2012).

Figura 23 - Exemplo de um sistema de ventilação local exaustora

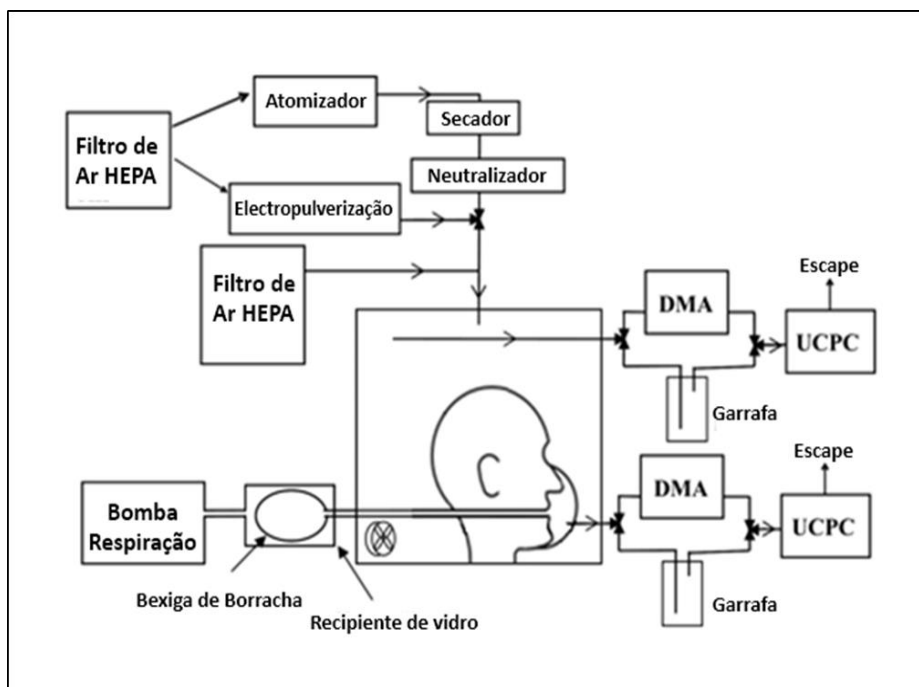


Fonte: NEUENHAUS (2012)

A complementação da proteção do trabalhador, seja em cabine ou ventilação exaustora localizada demanda a proteção respiratória e dermal.

Segundo Rengasamy e Eimer (2011), a proteção respiratória, não depende apenas da eficiência de filtração do respirador, mas também do vazamento do selo facial”, pois existe uma preocupação em relação a vedação e fatores vazamentos das nanopartículas com tamanhos menores do que 100 (cem) nanômetros na zona respiratória dos trabalhadores. Em seus estudos foram analisadas as seguintes máscaras N95 e P100 aprovadas pelo *NIOSH* e máscaras faciais *FFP2* e *FFP3*, certificadas pela UE – União Europeia. As máscaras foram ajustadas em um manequim mantido em uma câmara fechada onde se condicionou os tamanhos das partículas suspensas em formas de aerossóis, comparando suas respectivas concentrações e tamanhos no interior das máscaras (Figura 25).

Figura 24 - Diagrama de configuração experimental para medir a penetração de nanopartículas e *TIL* através de *FFRs* sob condições respiratórias simuladas.



Fonte: RENGASAMY e EIMER (2011)

Em análise aos resultados apresentados e divulgados pelo *NIOSH*, existe a recomendação expressa do cumprimento do programa de proteção respiratório estabelecido pela *OSHA – Occupational Safety and Health Administration* para melhoria das ações e escolha da proteção respiratória mais adequada (OSHA, 2011; RENGASAMY e EIMER, 2011).

No que tange às luvas e vestimentas, entende-se que as que possuem características de impermeabilidade, por exemplo, luvas com nitrílicas e vestimentas a base de polietileno de alta intensidade, atendam a demanda de paramentação para a manipulação de nanomateriais, porém, deve-se atentar que não se aplica qualquer vestimenta com características correlatas à segurança química existente no mercado. Demandando uma análise técnica especializada para esta especificação (AIHA, 2015).

2.5.3.3 Sistema de contenção – RL 3

O sistema de contenção representa um conjunto de ações a serem tomadas com a finalidade de aumentar o controle das áreas onde ocorrem a manipulação de nanopartículas aplicando o conceito de sala limpa com paramentação do

trabalhador, antecâmara e controle de acesso, estabelecimento de procedimentos operacionais, padrões detalhados contemplando o mapeamento do processo, o ciclo de vida do material durante as tarefas, as medidas preventivas e de segurança não apenas industrial mas também de caráter ocupacional. Neste nível de risco, todas as medidas relacionadas no RL 1 e RL 2 devem ser observadas integralmente, além da complementação de segurança relacionada à proteção individual do trabalhador (ANVISA, 2013; NIOSH, 2009; PAIK, ZALK e SWUSTE, 2008).

2.5.3.4 Contratação de serviço especializado – RL 4

As variáveis relacionadas ao gerenciamento dos processos envolvendo a as nanopartículas e a classificação da severidade e probabilidade em seus maiores níveis demandam a contratação de serviços especializados com a finalidade de se criar um comitê multidisciplinar para o correto gerenciamento do risco, uma vez classificado como grave e iminente em relação aos danos potenciais que podem ser causados a todas as partes interessadas, como as organizações, os trabalhadores e a sociedade, etc. Neste nível os projetos envolvendo variações de pressão dos ambientes, investimentos em sistemas de monitoração, quantificação e análise de partículas devem ser analisados, assim como a gestão do risco a segurança e saúde dos trabalhadores e aspectos e impactos ambientes em caso de acidentes (NIOSH, 2009; PAIK, ZALK e SWUSTE, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o fomento do presente estudo, fez-se uso de questionários e demais ações abaixo descritas:

- Primeiro questionário - composto por 10 (dez) questões com caráter investigativo, a profissionais e estudantes das áreas de Engenharia de Segurança do Trabalho, Medicina do Trabalho, Enfermagem do Trabalho, Técnica em Enfermagem e Segurança do Trabalho, a respeito do nível de conhecimento sobre os nanomateriais e seus respectivos riscos e processos envolvendo nanopartículas de TiO_2 , e demais dados (ANEXO);
- Segundo questionário - composto por 16 (dezesesseis) questões foi direcionado à área técnica responsável pela gestão do risco ocupacional do laboratório de nanotecnologia em análise, de modo a investigar as características fundamentais do material em estudo, nanopartículas de TiO_2 , suas aplicações futuras e características fundamentais para a aplicação de método qualitativo de controle por bandas - *Control Banding*, pautando o levantamento das informações no modelo de aplicação segundo *CB Nanotool* e demais dados (ANEXO). Em relação as informações relacionadas a carcinogenicidade, mutagenicidade, perigo para reprodução, pele e indução à asma, tanto das nanopartículas de TiO_2 , como de seu material de origem devem ser amplamente pesquisados em bases confiáveis para obtenção de parâmetros para tomada de decisão e enquadramentos para a suas aplicações na modelagem por bandas (ANEXO);
- Vista técnica - para o desenvolvimento do trabalho foi realizada visitas técnica ao laboratório para verificação de seus sistemas de proteção coletiva e reuniões com os responsáveis pela gestão do laboratório, assim como com a área de gestão do risco ocupacional citada, onde realizou-se, sob autorização, o levantamento fotográfico específico de alguns sistemas de processamento e manipulação dos nanomateriais, incluindo as futuras partículas de TiO_2 .

- Uso do referencial teórico e bibliografias complementares – foram organizados, sistematizados e consultados de modo a suportar informações para tomada de decisão em relação ao material de origem em escala macro e em escala nano e trazer referências na aplicação dos escores de severidade da ferramenta *CB NanoTool*.

- Aplicação da ferramenta *CB Nanotools* - O método divide-se em dois escores, sendo um de severidade e outro de probabilidade que são classificados em uma matriz de referência denominada como nível global e/ou geral de riscos. Através do cruzamento obtido entre a severidade e a probabilidade determina-se o *RL – Risk Level* da atividade em análise. A partir do RL, pode-se analisar a medida de controle mínima a ser implementada como medida de precaução e proteção coletiva do ambiente e consequentemente do trabalhador.

Os escores tanto de severidade, como de probabilidade são obtidos a partir da soma dos escores dos dados que compõem a análise qualitativa e quantitativa e/ou estimada de cada subitem (Tabela 4).

Tabela 4 - Nível global e/ou geral de riscos

| ESCORE DE SEVERIDADE | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------|-----------------------|
| Nanomaterial | Dados versus Escore em pontos () | | | | |
| Reatividade Superficial | Alta (10) | Média (5) | Baixa (0) | Desconhecida (7,5) | |
| Forma da Partícula | Tubular ou fibroso (10) | Anisotrópicas (5) | Compactas ou esféricas (0) | Desconhecida (7,5) | |
| Diâmetro da Partícula | 1 a 10 nm (10) | 11 a 40 nm (5) | 41 – 100 nm (0) | Desconhecida (7,5) | |
| Solubilidade | Insolúvel (10) | Solúvel (5) | | Desconhecida (7,5) | |
| Carcinogenicidade | Sim (6) | Não (0) | | Desconhecida (4,5) | |
| Perigo para reprodução | Sim (6) | Não (0) | | Desconhecida (4,5) | |
| Mutagenicidade | Sim (6) | Não (0) | | Desconhecida (4,5) | |
| Perigo para pele | Sim (6) | Não (0) | | Desconhecida (4,5) | |
| Provoca Asma | Sim (6) | Não (0) | | Desconhecida (4,5) | |
| Material de origem | Dados versus Escore em pontos () | | | | |
| Limite | <10 µgm ³ (10) | 10 a 100 µgm ³ (5) | 101 µgm ⁻³ a 1mgm ³ (2,5) | >1mgm ³ (0) | Desconhecido (7,5) |
| Carcinogenicidade | Sim (4) | | Não (0) | | Desconhecida (3) |
| Toxicidade para reprod. | Sim (4) | | Não (0) | | Desconhecida (3) |
| Mutagenicidade | Sim (4) | | Não (0) | | Desconhecida (3) |
| Toxicidade para pele | Sim (4) | | Não (0) | | Desconhecida (3) |
| Provoca Asma | Sim (4) | | Não (0) | | Desconhecida (3) |

Continua...

| ESCORE DE PROBABILIDADE | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Dados versus Escore em pontos () | | | | | |
| Qtd. usada de produto durante a tarefa | >100 mg (25) | 11 a 100 mg (12,5) | 0 a 10 mg (6,25) | Desconhecida (18,75) | |
| Pulverulência | Alta (30) | Média (15) | Baixa (7,5) | Não Pulverul. (0) | Desconhecido (22,5) |
| ESCORE DE SEVERIDADE | | | | | |
| *NTES | > 15 (15) | 11 a 15 (10) | 6 a 10 (5) | 1 a 5 (0) | Desconhecido (11,25) |
| Frequência de Operação | Diária (15) | Semanal (10) | Mensal (5) | - de 1x mês (0) | Desconhecido (11,25) |
| Duração da Operação | > 4 horas (15) | 1 a 4 horas (10) | 30 a 60 min. (5) | - de 30 min. (0) | Desconhecido (11,25) |
| *NTES – Número de trabalhadores com exposição similar | | | | | |

Fonte: Arquivo pessoal

Conclusão.

Após a somatória dos subitens dos escores de severidade e probabilidade, os valores obtidos devem ser utilizados como parâmetros de classificação do nível severidade e o nível de probabilidade de exposição (Tabela 5).

Tabela 5 – Níveis de severidade e Probabilidade

| CLASSIFICAÇÕES DE NÍVEIS DE SEVERIDADE E PROBABILIDADE | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Banda (faixa) | Dados versus Escore em pontos () | | | |
| | Baixa | Média | Alta | Extrema |
| Severidade | Severidade (0 a 20) | Severidade (26 a 50) | Severidade (51 a 75) | Severidade (76 a 100) |
| | Extremamente | Pouco | | Extremamente |
| Probabilidade | Improvável (0 a 25) | Provável (26 a 50) | Provável (51 a 75) | Provável (76 a 100) |

Fonte: Arquivo pessoal

Uma vez que os parâmetros de classificação dos níveis de severidade e probabilidade foram definidos os mesmos devem ser aplicados em tabela de classificação de nível global e/ou geral de riscos, identificando os escores e fazendo o cruzamento cartesiano entre a severidade, de maneira horizontal, com a probabilidade, de maneira vertical (Figura 26). O ponto de intersecção entre os dois será usado para determinar o RL – *Risk Level* correspondente e a partir dele identificar o nível de controles de engenharia sugerido.

Figura 25 - Exemplo de aplicação da tabela de classificação global de riscos

| | | Probabilidade | | | |
|--|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Severidade | | Extremamente Improvável (0 – 25) | Menos Provável (26 – 50) | Possível (51 – 75) | Provável (76 – 100) |
| | Muito alta (76 – 100) | RL 3 | RL 3 | RL 4 | RL 4 |
| | Alta (51 – 75) | RL 2 | RL 2 | RL 3 | RL 4 |
| | Média (26 – 50) | RL 1 | RL 1 | RL 2 | RL 3 |
| | Baixa (0 – 25) | RL 1 | RL 1 | RL 1 | RL 2 |
| Controle por bandas (<i>Control Banding</i>) | | | | | |
| RL 1 | Ventilação Geral | | | | |
| RL 2 | Capelas de exaustão ou ventilação de exaustão local | | | | |
| RL 3 | Contenção | | | | |
| RL 4 | Procurar orientação especializada | | | | |

Fonte: Adaptado de PAIK, ZALK e SWUSTE (2008)

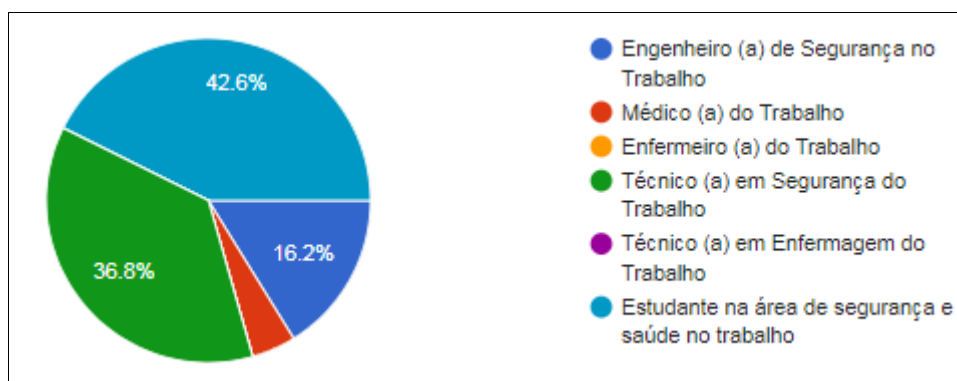
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Primeiro questionário

Aplicado à profissionais da área de segurança e saúde no trabalho e estudantes da área. Participaram da pesquisa a uma amostra de 68 (sessenta e oito) pessoas, dentre elas profissionais e estudantes ligados as áreas de segurança e saúde ocupacional de diversas regiões, sendo que, de maneira aproximada, 43% (quarenta e três por cento) de estudantes, 37% (trinta e sete por cento) de profissionais da área técnica em segurança do trabalho, 16% (dezesesseis por cento) de engenheiros de segurança do trabalho e 4% (quatro por cento) de médicos de segurança do trabalho.

Os gráficos de 1(um) a 9 (nove) apresentam os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário para profissionais e estudantes da área de segurança e saúde ocupacional (ANEXO).

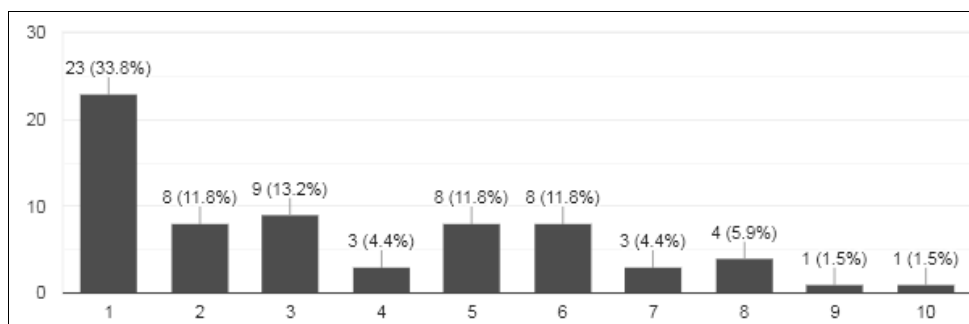
Gráfico 1 – Distribuição da amostra por área de atuação



Fonte: Arquivo pessoal

Dos participantes da pesquisa, a partir dos dados arredondados, 63% (sessenta e três por cento) demonstraram um baixo nível de entendimento sobre nanomateriais, 28% (vinte e oito por cento) demonstraram um entendimento regular para bom e apenas 9% (nove por cento) demonstraram um entendimento bom para ótimo (Gráfico 2).

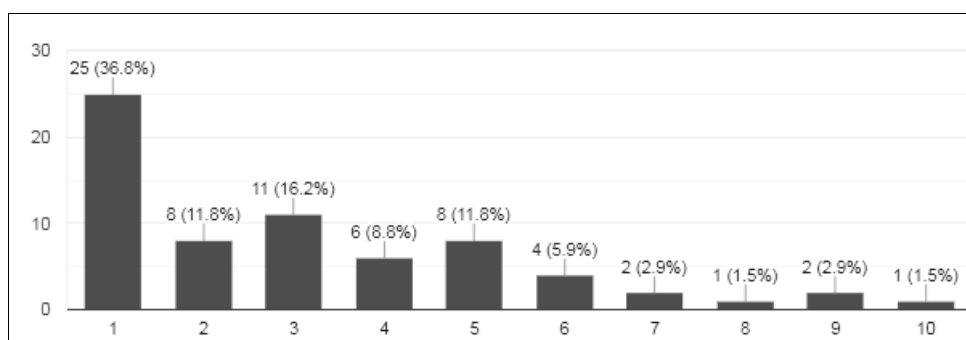
Gráfico 2 – Nível de entendimento sobre envolvendo nanomateriais



Fonte: Arquivo pessoal

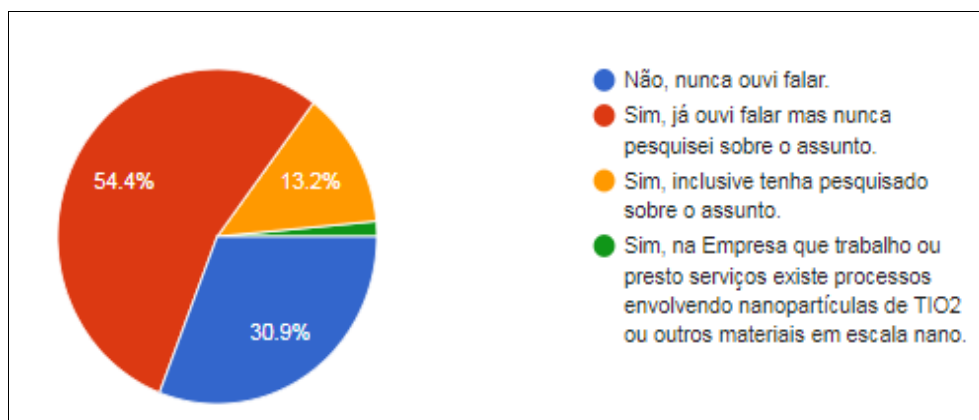
Em relação ao nível de conhecimento envolvendo riscos com nanomateriais, 73% (setenta e três por cento) demonstraram um baixo nível de conhecimento sobre os riscos envolvendo nanomateriais, 21% (vinte por cento) demonstraram um entendimento regular para bom e apenas 6% (seis por cento) demonstraram um entendimento bom para ótimo (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Nível de conhecimento sobre os riscos envolvendo nanomateriais



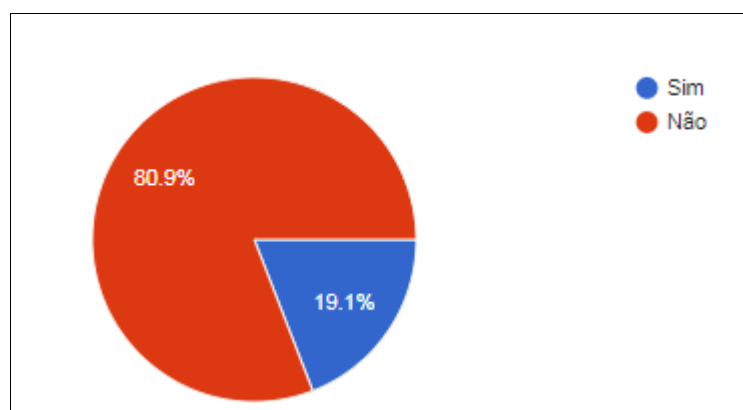
Fonte: Arquivo pessoal

Sobre o nível de conhecimento envolvendo as nanopartículas de TiO_2 , dos que nunca ouviram falar e os que ouviram mais nunca pesquisaram sobre o assunto, somam 85% (oitenta e cinco por cento) dos participantes, 13% dos participantes já ouviram falar e pesquisaram sobre o assunto e apenas 2% (dois por cento) já trabalharam ou prestaram serviços envolvendo nanopartículas de TiO_2 ou outros materiais em escala nanométrica (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Nível de conhecimento envolvendo nanopartículas de TiO_2 

Fonte: Arquivo pessoal

Apenas 19% (dezenove por cento) demonstraram ter algum conhecimento sobre medidas de controle ou gerenciamento dos riscos envolvendo nanopartículas de TiO_2 ou outros materiais em escala nanométrica, sendo que, 81% (oitenta e um por cento) alegaram não ter conhecimento em relação a medidas de controle e gerenciamento dos riscos (Gráfico 5).

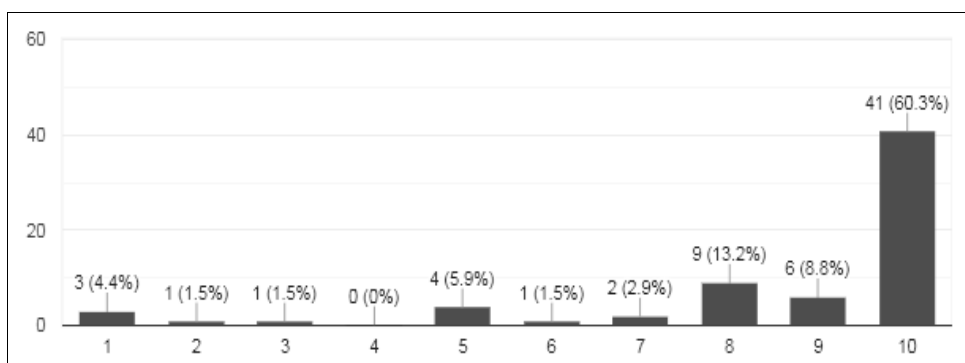
Gráfico 5 – Nível de conhecimento envolvendo medidas de controle ou gerenciamento de riscos com nanopartículas de TiO_2 ou outros materiais

Fonte: Arquivo pessoal

No que tange a importância do conhecimento sobre nanopartículas de não apenas de TiO_2 , mas incluindo outros materiais em escala nanométrica e da importância das medidas de gerenciamento de riscos, 7% (sete por cento) se posicionaram como de pouca importância, 10% (dez por cento) se posicionaram como de média importância e 83% (oitenta e três por cento) se posicionaram que é de alta

importância o conhecimento sobre o nanomateriais e suas medidas de gerenciamento de riscos (Gráfico 6).

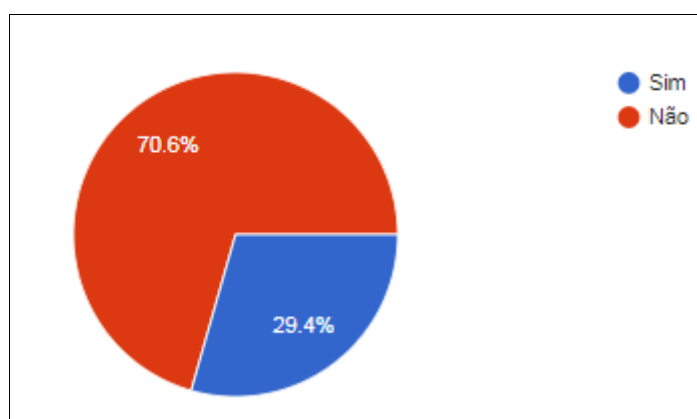
Gráfico 6 – Nível de importância envolvendo o conhecimento sobre nanopartículas de TiO_2 ou outros materiais e de medidas de gerenciamento de riscos



Fonte: Arquivo pessoal

Cerca de 71% (setenta e um por cento) dos participantes não tiveram o tema abordado em nenhum momento de sua formação e apenas 29% (vinte e nove por cento) ouviram falar sobre o tema em algum momento de sua formação (Gráfico 7).

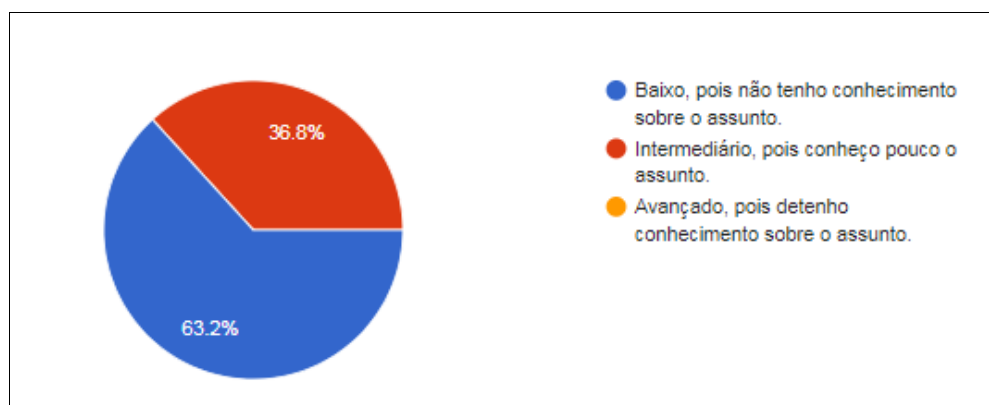
Gráfico 7 – Abordagem do tema envolvendo nanopartículas de TiO_2 ou outros materiais em algum momento da formação profissional



Quando questionados se teriam como atender a uma demanda envolvendo riscos com nanomateriais e não apenas com nanopartículas de TiO_2 , 63% (sessenta e três por cento) classificaram seu nível de capacitação atual como baixo, por não terem nenhum conhecimento do assunto e 37% (trinta e sete por cento) classificaram seu nível de capacitação atual como intermediário, por conhecer pouco o assunto e

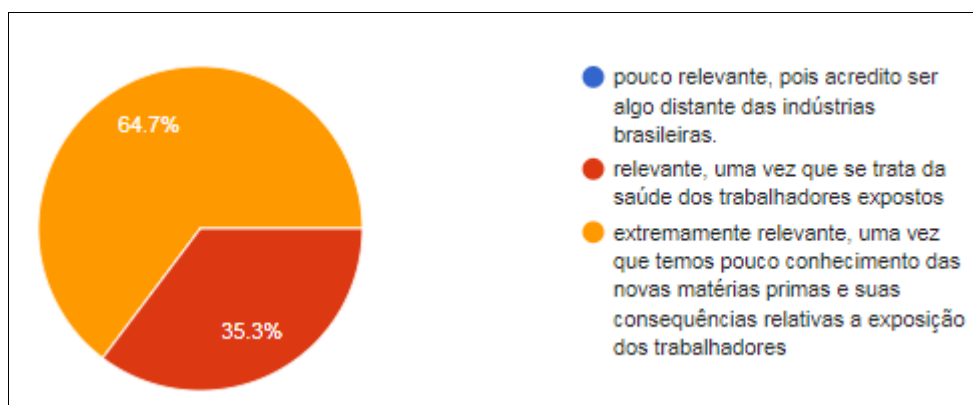
nenhum dos participantes da pesquisa classificou seu nível de conhecimento como avançado demonstrando conhecimento sobre o assunto (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Nível de capacitação profissional para atender uma demanda profissional envolvendo riscos com nanomateriais



Sobre a relevância do tema proposto envolvendo os riscos sobre o uso de nanopartículas de TiO_2 , 65% (sessenta e cinco por cento) dos participantes classificaram o tema como de extrema relevância, uma vez que se tem pouco conhecimento das novas matérias primas e suas consequências relativas a exposição dos trabalhadores e 35% (trinta e cinco por cento) classificaram o tema como relevante, uma vez que trata da saúde dos trabalhadores expostos (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Nível de relevância do tema proposta para sua vida profissional



Em relação a amostra pesquisada, apenas um participante relatou experiência na área de gerenciamento de risco envolvendo nanopartículas o que reafirma a relevância da ampliação do desenvolvimento do tema que, ainda é pouco conhecido por profissionais e estudantes da área de segurança e saúde no trabalho.

3.2 Segundo questionário

Aplicado à profissionais técnicos da área de laboratório e segurança e saúde no trabalho. Os resultados apresentados foram sistematizados para facilitar a compreensão da aplicação da ferramenta *CB Nanotool* (Tabela 6).

Tabela 6 – Características do nanomaterial e pontuação do *Control Banding*

| CARACTERÍSTICA DO NANOMATERIAL E PONTUAÇÃO <i>CB NANOTOOL</i> () | |
|--|---|
| Reatividade Superficial | Baixa (0) |
| Forma da Partícula | Tubular ou fibroso (10) |
| Diâmetro da Partícula | 11 a 40 nm (5) |
| Solubilidade | Insolúvel (10) |
| Duração da Operação | 30 a 60 min. (5) |
| *NTES | 1 a 5 (0) |
| Qtd. usada de produto durante a tarefa | 11 a 100 mg (12,5) |
| Pulverulência | Desconhecida (22,5) |
| Frequência de Operação | Semanal (10) |
| Potencial de formação de aerossóis secos | Baixo (Informação adicional sem classificação) |
| *NTES – Número de trabalhadores com exposição similar | |

Fonte: Arquivo pessoal

Outras informações foram levantadas, tais como:

- Utilização de capela de exaustão com filtragem tipo *HEPA*;

- Uso do *Control Banding* como ferramenta de análise qualitativa aplicada no laboratório para partículas em escala micrométrica.

3.3 Vista técnica

Em ocasião da visita técnica, foi delimitada a aplicação das nanopartículas de TiO_2 , que serão estudadas e manipuladas por auxiliares de laboratório, sob a coordenação de um engenheiro químico responsável, para a aplicação em medicamentos como a benzofenoma, acetonitrila e algumas misturas específicas de princípios ativos de medicamentos de linha para oncologia. Observou-se o controle de engenharia que será empregado para a manipulação das nanopartículas de TiO_2 confirmando as informações prévias enviadas em questionário, constatando a existência de uma capela e sistema filtragem tipo *HEPA* (Figura 27).

Figura 26 – Capela com sistema filtragem tipo *HEPA*



Fonte: Cortesia Laboratório Alfa (2019)

O laboratório possui cerca de 230 m² (duzentos e trinta) de área construída, climatizado com sistema de exaustão central. Com jornada de trabalho regular de 40

horas semanais (quarenta horas), funcionando regularmente de segunda a sexta – feiras.

Quanto à visitação e o levantamento dos dados sobre o futuro uso das nanopartículas de TiO_2 , percebe-se o desafio da equipe técnica do laboratório em face a novas formas e maneiras de exposição dos trabalhadores, sobre as formas de gerenciamento dos riscos inerentes as novas atividades que surgirão brevemente. As informações levantadas contribuíram para alguns fatores relevantes, dentre eles: diálogo sobre uma nova realidade operacional que demandará ações conjuntas entre as áreas técnicas de laboratório e área responsável pelo gerenciamento dos riscos com materiais em escala nanométrica; o despertar sobre as particularidades dos materiais em face a um grande lastro de desenvolvimento proposto a uma nova área de operações da planta industrial e um pensar sobre a necessidade de procedimentação das tarefas e de suas peculiaridades em relação a manipulação de materiais em escala nanométrica, etc.

3.4 Uso do referencial teórico e bibliografias complementares

A classificação dos nanomateriais deram-se por estudos científicos publicados que evidenciam características toxicológicas para o material de origem e nanotóxicológicas para o TiO_2 , em estudos com seres humanos ou animais, a revisão bibliográfica e bibliografia complementar referência as características do material em escala macro e nano, quanto ao seu potencial carcinogênico, perigo para reprodução, mutagenicidade, perigo para a pele e como elemento causador de problemas respiratórios, especificamente asma, amplamente aceitas e difundidas pela comunidade científica e legislações vigentes.

3.5 Aplicação da ferramenta *CB Nanotools*

Com base no levantamento dos dados e informações concedidas e pesquisadas, se estabelece pontuações para cada característica do material nas escalas nano e do material de origem para o estabelecimento das pontuações estabelecidas pela ferramenta *CB Nanotools*.

Tabela 7 – Características do nanomaterial e material de origem pontuação do *Control Banding*

| CARACTERÍSTICA DO NANOMATERIAL E PONTUAÇÃO <i>CB NANOTOOL</i> () | |
|--|------------------------|
| Carcinogenicidade | Sim (6) |
| Perigo para reprodução | Sim (6) |
| Mutagenicidade | Sim (6) |
| Perigo para pele | Desconhecida (4,5) |
| Provoca Asma | Sim (6) |
| MATERIAL DE ORIGEM E PONTUAÇÃO <i>CB NANOTOOL</i> () | |
| Limite do material de origem | >1mgm ³ (0) |
| Carcinogenicidade | Sim (4) |
| Perigo para reprodução | Não (0) |
| Mutagenicidade | Não (0) |
| Perigo para pele | Não (0) |
| Provoca Asma | Sim (4) |

Fonte: Arquivo pessoal

Após a análise detalhada das características do nanomaterial e do material de origem, a determinação da pontuação final se dá pelo somatório dos escores parciais atribuídos a características delimitadas pelo controle por bandas (faixas) para de determinar a pontuação da severidade e probabilidade conforme *CB Nanotool* (Tabela 8).

Tabela 8 - Escores de severidade e probabilidade conforme *CB Nanotool*

| PONTUAÇÃO FINAL <i>CB NANOTOOL</i> | |
|------------------------------------|-------------|
| SEVERIDADE | 61,5 pontos |
| PROBABILIDADE | 50 pontos |

Fonte: Arquivo pessoal

A partir da pontuação final da severidade e probabilidade definidas, aplicou - se os valores em matriz de risco para definição do *RL – Risk Level* e o reconhecimento da classificação do nível de risco e, conseqüentemente as medidas de controle proposta para o determinado nível (Figura 28).

Figura 27 – *Risk Level* correspondente

| | | Probabilidade | | | | Probabilidade 50 pontos |
|--|--------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| | | Extremamente Improvável (0 – 25) | Menos Provável (26 – 50) | Possível (51 – 75) | Provável (76 – 100) | |
| Severidade 61,5 pontos | Muito alta (76 – 100) | RL 3 | RL 3 | RL 4 | RL 4 | |
| | Alta (51 – 75) | RL 2 | RL 2 | RL 3 | RL 4 | |
| | Média (26 – 50) | RL 1 | RL 1 | RL 2 | RL 3 | |
| | Baixa (0 – 25) | RL 1 | RL 1 | RL 1 | RL 2 | |
| Controle por bandas (<i>Control Banding</i>) | | | | | | |
| RL 1 | | Ventilação Geral | | | | |
| RL 2 | | Capelas de exaustão ou ventilação de exaustão local | | | | |
| RL 3 | | Contenção | | | | |
| RL 4 | | Procurar orientação especializada | | | | |

Fonte: Adaptado de PAIK, ZALK e SWUSTE (2008)

O *RL – Risk Level* encontrado após o cruzamento da pontuação final em matriz de risco foi a banda de controle RL 2 que sugere como controle o uso de cabine ventilada ou ventilação exaustora local.

6 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento deste trabalho, fez-se evidente a relevância do tema proposto devido ao baixo nível de conhecimento constatado entre estudantes das áreas de segurança e saúde ocupacional e dos profissionais responsáveis pelas áreas de gerenciamento de riscos na manipulação de nanopartículas de TiO_2 e demais materiais em escala nanométrica, sendo assim, conclui-se que o objetivo foi alcançado.

Sobre a análise dos riscos ocupacionais envolvendo o uso de nanopartículas de TiO_2 , constatou-se que o trabalho desenvolvido apenas inicia essa análise, sendo assim, conclui-se que o objetivo não foi alcançado e sugere-se o aprofundamento da análise de riscos em trabalhos acadêmicos futuros.

Em relação aos níveis de controle aplicados em laboratório para o futuro manejo de nanopartículas de TiO_2 , conclui-se ser eficaz com base na classificação qualitativa do nível do risco e medidas de controle sugeridas na ferramenta *Control Banding*, *CB Nanotools*.

REFERÊNCIAS

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice**. 23rd Edition. Ohio, 1998. 514 p. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/ACGIH.manual.1998.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2019.

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **TLVs® and BEIs®. Baseados na Documentação dos Limites de Exposição Ocupacional (TLVs®) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposição (BEIs®)**. Ed. em português. Tradução ABHO, 2016.

AIHA – American Industrial Hygiene Association. **Personal protective equipment for engineered nanoparticles**. 2015. Disponível em: <https://safety.fsu.edu/safety_manual/supporting_docs/PPE%20for%20nanoparticles%20-%20AIHA.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental na Indústria Farmacêutica**. Brasília, mar. 2013. 56 p. Disponível em: <http://conforlab.com.br/legislacao/qualidade_do_ar_final.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

ARBIX, Glauco et al. **O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com a Alemanha, China e Estados Unidos**, nov. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/v36n3/1980-5403-nec-36-03-29.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

BERTI, Leandro Antunes; PORTO, Luismar Marques. **Guia de boas práticas em nanotecnologia para fabricação e laboratórios**. São Paulo: Cenage Learning, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Edital de Chamamento Público nº 2, de 21/05/2018**, Brasília, mai. 2017. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/219201/219401/Edital+chamamento+p%C3%BAblico+n+2%C2+de+21-05-2018/bca8141d-e6a7-44e7-84e3-4b19c62b986a>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Atlas do câncer relacionado ao trabalho no Brasil**. Brasília, DF. 2018. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/atlas_cancer_relacionado_trabalho_brasil.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora Nº 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Ano 2017. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-09.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora Nº 15 – Atividades e Operações Insalubres**. Ano 2018. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2019.

BS EN 1822-1:2009 - **High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA)**. Part 1: Classification, performance testing, marking. 2009. Disponível em: <[http://www.gttlabs.com/uploads/soft/161025/EN1822-1-2009HighEfficiencyAirFilters\(EPA,HEPAandULPA\)Part1Classification,performance.pdf](http://www.gttlabs.com/uploads/soft/161025/EN1822-1-2009HighEfficiencyAirFilters(EPA,HEPAandULPA)Part1Classification,performance.pdf)>. Acesso em: 09 fev. 2019.

CHANG, Xuhong et al. **Health effects of exposure to nano-TiO₂: a meta-analysis of experimental studies**. *Nanoscale Research Letters*. Nanjing, 2013. Disponível em: <<http://www.nanoscalereslett.com/content/8/1/51>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

EASTLAKE, Adrienne; ZUMWALDE, Ralph e GERACI, Charles. **Can Control Banding be useful for the safe handling of nanomaterials? A systematic review**. National Institutes of Health, jun. 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27471426>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA. **Pele**. 2019. Disponível em: <<https://escola.britannica.com.br/artigo/pele/482514>>. Acesso em 07 jan. 2019.

FEYNMAN, Richard P. **Há muito espaço no fundo: Um convite para entrar em um novo campo da física**. 1959. Disponível em: <<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

FIERZ, Martin; BURTSCHER, Heinz e STEIGMEIER, Peter. **Field measurement of particle size and number concentration with the Diffusion Size Classifier (DiSC)**. University of Applied Sciences, Northwestern Switzerland, CH5210 Windisch, Switzerland, 2007. Disponível em: <https://schaefer-tec.com/wp-content/uploads/2016/11/SAE_2008-01-1179_DiSC.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2019.

FIGUEIREDO, Margarida. **Medição / detecção de nanopartículas suspensas no ar ambiente**. Professora Catedrática de Engenharia Química, Universidade de Coimbra, Portugal, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20biologicas/medicao.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2019.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Nota Técnica Nº 01/2018/FUNDACENTRO**. Os desafios da saúde e segurança no trabalho (SST) para uma produção segura com o uso de nanotecnologia, mar.2018. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/Nota%20tecnica%20%2001-2018%20Corrigida%20e%20Revisada.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

HARRIS, Maria Inês Nogueira de Camargo. **Pele: estrutura, propriedades e envelhecimento**. 3ª ed. São Paulo: Editora: Senac São Paulo, 2009.

HOHENDORFF, Raquel Von; COIMBRA, Rodrigo; ENGELMANN, Wilson. **As nanotecnologias, os riscos e as interfaces com o direito à saúde do trabalhador**. Revista de Informação Legislativa, v. 53, n. 209, p. 151-172, jan./mar.2016. Disponível em: <<http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/520003>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

HUDSON INSTITUTE OF MINERALOGY. **Galeria de fotos mindat.org**. Estados Unidos: 2019. Disponível em < <https://www.mindat.org/search.php?search>>. Acesso em: 08 mai. 2019.

IARC - INTERNATIONAL AGENCY FOR REASERCH ON CANCER. **IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazard to Humans**. 2019. Disponível em: <<https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>>. Acesso em: 08 fev.2019.

ICTA - INTERNACIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT. **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. 2007. Disponível em: <http://www.icta.org/files/2012/04/080112_ICTA_rev1.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2019

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **O desafio 4.0 da indústria brasileira**. 2018. Disponível em: <https://iedi.org.br/media/site/artigos/20181214_desafio_ind_bras.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

KLAASSEN, Curtis D; WATKINS III, John B. **Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull**. 2ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

LAU, Kwan Yiew; PIAH, M. M. Afendi. **Polymer Nanocomposites in High Voltage Electrical Insulation Perspective: A Review**. Malaysian Polymer Journal. 6, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264880479_Polymer_Nanocomposites_in_High_Voltage_Electrical_Insulation_Perspective_A_Review>. Acesso em: 18 mai. 2019.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/522>>. Acesso em: 08 mai. 2019.

MAMANI, Javier Bustamante. **Estrutura e Propriedades de Nanopartículas Preparadas via Sol-Gel**. Tese (Doutor em Ciências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-24082009-090624/pt-br.php>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

MESQUITA, A.L.S.; GUIMARÃES F.A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo: CETESB, 1988.

MELO, Celso P.; PIMENTA, Marcos A. **Nanociências e Nanotecnologias**. Parcerias estratégicas. 2004. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/130/124>. Acesso em: 13 fev. 2019.

MUNHOZ, Alexandre Mendonça; POMPEO, Fabio Santanelli di e MEZERVILLE, Roberto de. **Nanotechnology, nanosurfaces and silicone gel breast implants: current aspects**. *Journal Case Reports in Plastic Surgery and Hand Surgery*, vol. 4, p. 99-113, nov. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/23320885.2017.1407658>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

NEUENHAUS, Pedro. **Suporte ao cliente**. 2019. Disponível em: <http://neuenhaus.com.br/downloads/11_Sistema_para_captacao_dos_gases_de_solda_modelo_01.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2019

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. **Occupational Exposure to Titanium Dioxide**, 2011. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/NIOSH/docs/2011-160/pdfs/2011-160.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. **Qualitative Risk Characterization and Management of Occupational Hazards: Control Banding (CB)**, 2009. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-152/pdfs/2009-152.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. 3 ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

PAIK, Samuel Y.; ZALK, David M. e SWUSTE, Paul. **Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures**. *The Annals of Occupational Hygiene – Oxford Academic*. vol. 52, p. 419 – 428, jul. 2008. Disponível em: <<https://academic.oup.com/annweh/article/52/6/419/18489>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

RENGASAMY, Samy; EIMER, Benjamin C. **Total Inward Leakage of Nanoparticles Filtering Facepiece Respirators**. *The Annals of Occupational Hygiene – Oxford Academic*. vol. 55, Issue 3, p. 253–2631, abr. 2011. Disponível em: <<https://academic.oup.com/annweh/article/55/3/253/150869>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

RIBEIRO, P. C. et al. **Caracterização estrutural e morfológica de nanocristais de TiO_2 pelo método Pechini**, Revista Eletrônica de Materiais e Processos. Artigo (Trabalho de Conclusão de Curso), Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-emap/index.php/REMAP/article/download/203/177>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SANTOS, Priscila Crispiniano. **Nanopartículas: Toxicidade Biológica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências da Saúde. João Pessoa, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/898/1/PCS24022015.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SILVA, Fernando Rodrigues. **Ventilação Industrial**. São Paulo: Via Sapia, 2016

SILVA, J. M.; LIMA, J.A.S. **Quatro abordagens para o movimento browniano**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 29 nº 1. São Paulo: 2007. <<http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/060808.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

SILVA, Marise Borba da. **Nanotecnologia: considerações interdisciplinares sobre processos técnicos, sociais, éticos e de investigação**. Universidade do Estado de Santa Catarina (UEDESC), Impulso, Piracicaba, 14(35): 75-93 2003. Disponível em: <https://dadospdf.com/download/resenha-de-uma-historia-do-racismo-_5a44f0bab7d7bc891f92c7dc_pdf>. Acesso em: 09 fev. 2019

SCHNELLE, Karl B. Jr.; BROWN, Charles A. **Manual de tecnologia de controle da poluição do ar**. 408 p. 1 ed. 2001.

TEILAS, Alberto et al., **Nanomateriais – Guia para espaço industrial SUDOE**. Portugal: 2014. <<https://www.ua.pt/readobject.aspx?obj=37947>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

THE ROYAL SOCIETY. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**, jul. 2004. Disponível em: <https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2004/9693.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2019.

TORLONI, Maurício; VIEIRA, Antonio Vladimir. **Manual de Proteção Respiratória**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2003.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama da Nanotecnologia no Mundo e no Brasil**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Panorama%20de%20Nanotecnologia.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2019

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1:2008**. Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 1: Projetos das Instalações. Rio de Janeiro, set. 2008. 60 p.

AENOR - *Boletín informativo del órgano técnico de normalización: **Actualidad Normativa*** – **Nanotecnologías**. Disponível em: <http://www.nanospain.org/files/AENOR_GET_15_Actualidad_Normativa_4_201201.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ANDRADE, Laise Rodrigues de. **Estudo da toxicidade e genotoxicidade induzidas por diferentes nanopartículas in vivo**. Tese (Mestre em Biologia) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.

ARMOA, Marcelo Henrique. **Síntese hidrotérmica de nanopartículas de TiO₂, de nanocompósitos metal/TiO₂ e degradação oxidativa de 4-clorofenol em reator membranar fotocatalítico**. 2007. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquara, 2007.

ASSIS, Letícia Marques de. **Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos**. Brazilian Journal of food technology. Campinas, v. 15, n. 2, p. 99-109, abr/jun 2012.

BASILE QUÍMICA. **Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico – Dióxido de Titânio**. FISPQ nº 065, mar.2015. 6 p.

BOERY, Mirella N. de O. et al. **Nanoestrutura de Dióxido de Titânio: controle do tamanho de cristalitos e teor das fases polimórficas** *In*: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, Campos do Jordão, 2010. Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/044/42044035.pdf?r=1er=1>. Acesso em: 02 fev. 2019.

BRASIL ESCOLA. **Nanociência e Nanotecnologia: manipulando a matéria “átomo a átomo”**, fev. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/download/9701/5812>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

BUZEA, Cristina; IVAN, I. Pacheco e ROBBIE, Kevin. **Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity**. 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301868634_Nanomaterials_and_Nanoparticles_Sources_and_Toxicity>. Acesso em: 02 fev. 2019

CALIL, Luis Fernando Peres. **Metodologia para gerenciamento de risco: foco na segurança e na continuidade**. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, mar. 2009.

CEE – Comunidade Econômica Europeia. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, **DIRECTIVA DO CONSELHO de 12 de junho de 1989 relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho**, jun. 1989. Disponível em: <http://www.iasaude.pt/Saude_trabalho/Diretivas/Diretiva-89-391-CEE.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2019.

CHEN, Tao; YAN, Jian e LI, Yan. **Genotoxicity of titanium dioxide nanoparticles**. *Science Direct, Journal of Food and Drug Analysis*. mar. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S102194981400009X>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

COSTA, A. C. F. M. et al. **Síntese e caracterização de nanopartículas de TiO₂**. P. 255-259. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250982517_Sintese_e_caracterizacao_de_nanoparticulas_de_TiO2>. Acesso em: 17 jan. 2019

DUNN, Kevin H.; EASTLAKE, Adrienne C.; HISTÒRIA, Michael e KUEMPEL, Eileen D. **Control Banding Tools for Engineered Nanoparticles: What the Practitioner Needs to Know**. *Annals of Work Exposures and Health*, vol. 62, No. 3, 362–388, 2018. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29529138>>. Acesso: 01 fev. 2019.

EASTLAKE, Adrienne; ZUMWALDE, Ralph e GERACI, Charles. **Can Control Banding be useful for the safe handling of nanomaterials? A systematic review**. *National Institutes of Health*, jun. 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27471426>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. **As Normas ISO e as Nanotecnologias: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico**. Ed. Karywa, São Leopoldo – RS, 2017.

ESPAÑA. *Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo - INSSBT*. **Seguridad Y Salud em el Trabajo**, Las Rozas, Madrid, n. 93, dez. 2017.

ESTADOS UNIDOS. OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*. **Respiratory Protection, Personal Protective Equipment**. Disponível em: <<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1822-1**. *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) - Part 1: Classification, performance testing, marking*. Nov 2009. 24 p.

FERREIROS, Miguel. **Panorama sobre a eficiência de filtragem do ar**. Mercofrio 2014. Disponível em: <http://asbrav.tempbr.net/wp-content/uploads/2016/06/MF2014_0826_Palestra_6_Miguel_Ferreiros.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.

FREITAS, Osmar. **Os riscos da nanotecnologia: cientistas alertam sobre possíveis efeitos nocivos de produtos que usam partículas microscópicas, como filtros solares e cremes**. Revista Época ed. 484, 2007. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EDG78783-6010,00-OS+RISCOS+DA+NANOTECONOLOGIA.html>>. Acesso em: 03 fev. 2019.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho -. **Manual para interpretação de informações sobre substâncias químicas**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/Nota%20tecnica%20%2001-2018%20Corrigida%20e%20Revisada.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

GÁZQUEZ, Manuel Jesús; BOLÍVAR, Juan Pedro; GARCIA-TENORIO, Rafael e VACA, Frederico. **A Review of the Production Cycle of Titanium Dioxide Pigment**. *Scientific Research*, mai. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/msa.2014.57048>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

GIRARDELLO, Francine. **Nanopartículas de dióxido de titânio e avaliação da sua toxicidade no mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*)**. 2016. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Instituto de Biotecnologia, Caxias do Sul, 2016.

HARRIS, Maria Inês Nogueira de Camargo. **Pele: estrutura, propriedades e envelhecimento**. 3ª ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2009.

HU, Yu-Lan; GAO, Jian-Qing. **Potential Neurotoxicity of Nanoparticles**. *International Journal of Pharmaceutics*. Zhejiang, China, abr. 2010. Acesso em: 31/01/2019.

LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da Poluição Atmosférica**, Cap. IV. **Montreal, out. 2007, p. 2-70**. Disponível em: <<http://repositorio.asc.es.edu.br/bitstream/123456789/418/7/Cap%204%20Monitoramento%20de%20poluentes%20atmosf%C3%A9ricos.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

LOBO, Rodrigo Souza. **Diagnóstico da Eficiência de Sistemas de Exaustão Constituídos por Captadores do Tipo Coifas e Capelas**. Revista ABHO. Dez. 2012, p. 18-23.

MARTINS, Alaíde Barbosa. **Desenvolvimento de uma metodologia para gestão de risco com base no método coras e avaliação quantitativa para aplicação em plantas de saneamento**. Tese (Doutora em Ciências) – Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, jan. 2014.

MARTINS, Luis Miguel Ferraz. **Toxicologia de Nanomateriais**. Tese (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Instituto Superior de Ciências da Saúde Egaz Moniz. Out. 2015.

MONIZ, Avelina Maria da Cruz Pereira Bettencourt. **Exposição profissional a nanopartículas na indústria farmacêutica - estudo exploratório**. Tese (Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho) – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. Lisboa, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/2930>>. Acesso em: 09 fev. 2019.

MUNHOZ, Alexandre Mendonça; POMPEO, Fabio Santanelli di e MEZERVILLE, Roberto de. **Nanotechnology, nanosurfaces and silicone gel breast implants: current aspects**, Case Reports in Plastic Surgery and Hand Surgery, 4:1, 99-113, nov. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/23320885.2017.1407658>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

NIOSH – National Institute do Occupational Safety and Health. **Nanotecnologia Segura no Ambiente de Trabalho: Uma Introdução aos Empregadores, Gerentes e Profissionais da Saúde e Segurança**. Fev, 2008. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/NIOSH/docs/2008-112/pdfs/2008-112port.pdf?id=10.26616/NIOSH-PUB2008112>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

OLSON, Kent R. **Manual de toxicologia clínica**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
PAGE, Elizabeth H. **Estrutura e função da pele - Distúrbios da pele**. Manual MSD Versão Saúde para a Família, 2019. Disponível em: <<https://www.msdmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-da-pele/biologia-da-pele/estrutura-e-fun%C3%A7%C3%A3o-da-pele>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

PASCHOALINO, Matheus P.; MARCONE, Glauciene P. S. e JARDIM Wilson F. **Os Nanomateriais e a Questão Ambiental**. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas – SP, 2010

PEREIRA, Joana Castello. **Estudo do comportamento de nanopartículas de dióxido de titânio em diferentes suspensões**. Dissertação (Mestre em engenharia de Materiais) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2010.

PINHEIRO, Ana Paula Basile. **Filtração e vazão do ar à luz das novas normas**. Revista Setri, São Paulo, jun. 2013. Disponível em: <http://www.setri.com.br/artigos/04_filtracao_vazao_novas_normas-SETRI.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO – PUC – RIO **Nanotecnologia: conceituação e emergência do paradigma techno-científico**. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/17540/17540_3.PDF>. Acesso em: 02 fev. 2019.

PORTUGAL. Departamento de Segurança e Saúde do Trabalho. **Nanomateriais no Local de Trabalho: Riscos, Efeitos na Saúde e Prevenção**. 2018. Disponível em: <<https://www.ugt.pt/downloadcomunicados?comunicado=2457&file=6740cfd34a477a40c4cc58d69c77e43a0cb004b0>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

RAMOS, Diogo Maximiniano Barros Figueiredo. **Nanotecnologias e Saúde ocupacional**. Tese (Mestre em Medicina) – Universidade de Coimbra – Faculdade de Medicina FMUC. Coimbra, 2012. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/80455>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

REJESKI, David. **Project on Emerging Nanotechnologies**. Woodrow Wilson International Center for Scholars, ago. 2009. Disponível em: <www.wilsoncenter.org/publication-series/project-emerging-nanotechnologies>. Acesso em: 27 jan. 2019

RICCARDI, Carla dos Santos; SANTOS, Márcio Luiz dos, e GUASTALDI, Antônio Carlos. Engineered Nanomaterials – Nanotoxicology Issue, Nanosafety and Regulatory Affairs. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015. 462 p.

ROCHA, Cecília Cristina de Souza. **Avaliação da toxicidade de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) e possível efeito protetor do selênio em ratos Wistar**. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade de São Paulo – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/60/60134/tde-23052018-094637/pt-br.php>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

ROCHA, Rosemberg; BASTOS, Marcos. **Higiene Ocupacional ao alcance de todos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Autografia, 2016.

SALU, Ana Isabela Pianowski. **Caracterização e desempenho de filtros com nanofibras e HEPA utilizando nanopartículas**. Revista MF, ano XIV, Edição nº 78, fev 2016. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultimaefase=Ceid=1051>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SAMBAER, Wannes; ZATLOUKAL, Martin and KIMMER, Dusan. **3D Air Filtration Modeling for Nanofiber Based Filters in the Ultrafine Particle Size Range**. 2012, p. 299-311. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250912004691>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SANTOS, André V. P et al. **Síntese e Caracterização de Dióxido de Titânio Preparado por Precipitação e Tratamento Hidrotérmico**. In: 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 1º Congresso Latino-Americano de Cerâmica, IX *Brazilian Symposium on Glass and Related Materials*. Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/cbc/18460.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

SARAIVA JUR. **Segurança e Medicina do Trabalho**. 23ª ed. Saraiva. 1200 p. 2019

SCENIHR - Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. **Risk Assessment of Products of Nanotechnologies**. 2009. Disponível em: <http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_023.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.

SERRANO, José Luis. **A diferença entre Risco / Perigo**. 2009. Disponível em: <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/nej/article/view/1776>>. Acesso em: 09 fev. 2019.

SILVA, Edison Z. da. **Nanociência: a próxima grande ideia?** Revista USP, São Paulo, n. 76, p.78-87, dez/fev 2007-2008.

SILVA, Livia Souza; MONTEIRO, Mariana Sato. **Avaliação da Segurança de Nanopartículas de Dióxido de Titânio e Óxido de Zinco em Formulações Antissolares**. Revista Virtual de Química, dez. 2016. Artigo (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Farmácia, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/1644>>. Acesso em: 09 fev. 2019.

SIQUEIRA, Priscila Rodrigues de. **Efeitos da Exposição à Nanopartícula de Dióxido de Titânio em Hepatócitos de Peixe Zebra (*Danio rerio*, Hamilton, 1822). Uma Abordagem In Vitro**. Dissertação. (Mestre em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8412/DissPRS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 20/02/2019.

STEFFENS, Juliana. **Desempenho de filtros fibrosos operando na remoção de partículas nanométricas de aerossóis**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3847?show=full>>. Acesso em 02 mar. 2019.

U.S.A. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institutes of Health. **Biosafety in Microbiological and Biomedical laboratories**, 5 ed. dez. 2009. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/labs/BMBL.html>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

U.S.A. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institutes for Occupational Safety and Health. **Approaches to Safe Nanotechnology Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials**. Mar. 2019. 104 p.

U.S.A. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institutes of Health. **Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories**. HHS Publication No. (CDC) 21-1112, dez. 2009.

VALADARES, Marize C. **Avaliação de Toxicidade Aguda: Estratégias Após a “Era do Teste DI50”**. Revista Eletrônica de Farmácia Vol 3(2), 93-98, 2006. Disponível em: <<http://www.usp.br/bioterio/Artigos/Procedimentos%20experimentais/Alternativa.pdf>> . Acesso em: 02 fev. 2019.

WORD HEALTH ORGANIZATION. **Who Guidelines on Protecting Workers From Potential Risks of Manufactured Nanomaterials**. ISBN 978-92-4-155004-8, 2017. E-book. Disponível em: <<http://www.who.int/iris/handle/10665/259671>>. Acesso em: 29 jan. 2019

ZANETTI-RAMOS, Betina Giehl e CRECZYNSKI-PASA, Tania Beatriz. **O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos**. Revista Brasileira de Farmácia, jun. 2007. Disponível em: <http://rbfarma.org.br/files/pag_95a101_desenv_nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.

ANEXO A - Modelo de questionário aplicado para profissionais e estudantes das áreas de segurança e saúde ocupacional

Pesquisa sobre: Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO₂.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

"Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO₂", é o tema vinculado a entrega de monografia para complementação de créditos relacionados ao curso de pós-graduação da Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade de São Paulo, com o objetivo de estudar os riscos a saúde dos trabalhadores expostos a nanomateriais com ênfase em nanopartículas de TiO₂, comumente usadas em diversos segmentos industriais na atualidade, porém com carência de medidas de controle do risco e de legislação nacional sobre a temática.

O projeto prevê também a elaboração de artigo(s), visando a identificação da contribuição das teorias do Gênero para a atual produção de conhecimento na área de Segurança e Saúde do Trabalhador. As informações prestadas serão utilizadas somente para fins de pesquisa científica, podendo ocorrer publicações sobre o assunto, e a pesquisa não oferece desconforto e riscos.

Entendo que o estudo fornecerá um registro de dados científicos sobre a análise dos riscos sobre uso de nanopartículas e auxiliará no processo reflexivo de uma nova tecnologia e seus riscos potências, assim como, impulsionando e contribuindo para novos escritos e desenvolvimentos.

Para quaisquer dúvidas, entrar em contato com:

Fabio Alexandre Dias - fone: 1°

e-mai

* Required



1. Nome completo:

2. Declaro que sou participante voluntário, com liberdade para recusar a participação no projeto de pesquisa em qualquer fase, entendo o valor da mesma para a área de Segurança e Saúde do Trabalhador . *

Check all that apply.

- ☐ Concordo em participar da pesquisa e com o termo de consentimento livre e esclarecido.
- ☐ Não concordo em participar da pesquisa e com o termo de consentimento livre e esclarecido.

3. Função que atua no mercado: *

Mark only one oval.

- ☐ Engenheiro (a) de Segurança no Trabalho
- ☐ Médico (a) do Trabalho
- ☐ Enfermeiro (a) do Trabalho
- ☐ Técnico (a) em Segurança do Trabalho
- ☐ Técnico (a) em Enfermagem do Trabalho
- ☐ Estudante na área de segurança e saúde no trabalho

4. 1 - Qual é o seu nível de entendimento sobre o nanomateriais (1=10% a 10=100%)?

Mark only one oval.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

5. 2 - Qual é o seu nível de conhecimento sobre os riscos envolvendo nanomateriais (1=10% a 10=100%)? *

Mark only one oval.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

6. 3 - Você já ouviu falar sobre nanopartículas de TiO₂? *

Mark only one oval.

- ☐ Não, nunca ouvi falar.
- ☐ Sim, já ouvi falar mas nunca pesquisei sobre o assunto.
- ☐ Sim, inclusive tenha pesquisado sobre o assunto.
- ☐ Sim, na Empresa que trabalho ou presto serviços existe processos envolvendo nanopartículas de TiO₂ ou outros materiais em escala nano.

7. 4 - Caso já tenha ouvido falar, pesquisado ou trabalhe com algum processo envolvendo nanopartículas de TiO₂ ou outros materiais em escala nano têm conhecimento de medidas de controle ou gerenciamento do risco? *

Mark only one oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

8. 5 - Na sua opinião, qual o nível de importância deste conhecimento e de medidas de gerenciamento de risco (1=10% a 10=100%): *

Mark only one oval.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

9. 6 - Em algum momento de sua formação profissional este tema foi abordado? *

Mark only one oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

10. 7 - Caso você tivesse que atender uma demanda profissional envolvendo riscos com nanomateriais, mesmo que não especificamente nanopartículas de TiO₂, como classificaria seu nível de capacitação atual: *

Mark only one oval.

- ☐ Baixo, pois não tenho conhecimento sobre o assunto.
- ☐ Intermediário, pois conheço pouco o assunto.
- ☐ Avançado, pois detenho conhecimento sobre o assunto.

11. 8 - Na sua opinião, qual o nível de relevância do tema proposto para sua vida profissional, uma vez da evolução dos materiais e surgimento de novos riscos ocupacionais?

Mark only one oval.

- ☐ pouco relevante, pois acredito ser algo distante das indústrias brasileiras.
- ☐ relevante, uma vez que se trata da saúde dos trabalhadores expostos
- ☐ extremamente relevante, uma vez que temos pouco conhecimento das novas matérias primas e suas consequências relativas a exposição dos trabalhadores

12. 9 - Caso tenha alguma experiência em gerenciamento do risco com nanomateriais, não apenas com nanopartículas de TiO₂, deixe um breve relato:

13. 10 - Gostaríamos de agradecer a sua participação e caso queira receber a monografia concluída ou demais informações sobre o tema deixe-nos seu e-mail para futuro envio:

Powered by
 Google Forms

ANEXO B - Modelo de questionário aplicado aos profissionais de laboratório e área de segurança e saúde ocupacional

Pesquisa sobre: Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO₂.

Questionário - Laboratórios

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

"Análise do risco sobre o uso de nanopartículas de TiO₂", é o tema vinculado a entrega de monografia para complementação de créditos relacionados ao curso de pós-graduação da em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade de São Paulo, com o objetivo de estudar os riscos a saúde dos trabalhadores expostos a nanomateriais com ênfase em nanopartículas de TiO₂, comumente usadas em diversos segmentos industriais na atualidade, porém com carência de medidas de controle do risco e de legislação nacional sobre a temática.

O projeto prevê também a elaboração de artigo(s), visando a identificação da contribuição das teorias do Gênero para a atual produção de conhecimento na área de Segurança e Saúde do Trabalhador. As informações prestadas serão utilizadas somente para fins de pesquisa científica, podendo ocorrer publicações sobre o assunto, e a pesquisa não oferece desconforto e riscos.

Entendo que o estudo fornecerá um registro de dados científicos sobre a análise dos riscos sobre uso de nanopartículas e auxiliará no processo reflexivo de uma nova tecnologia e seus riscos potências, assim como, impulsionando e contribuindo para novos escritos e desenvolvimentos.

Para quaisquer dúvidas, entrar em contato com:

Fabio Alexandre Dias - fone

e-mail:



1. Nome Completo:

2. Qual a sua função e responsabilidades exercidas que envolvam a gestão de riscos com trabalhos com nanopartículas de TiO₂ e demais matérias primas em escala nano:

3. Declaro que sou participante voluntário, e represento a Empresa Cooperadora, com liberdade para recusar a participação no projeto de pesquisa em qualquer fase, entendo o valor da mesma para a área de Segurança e Saúde do Trabalhador e para a colaboração na Gestão de Risco da Empresa Aché.

Check all that apply.

- ☐ Concordo em participar da pesquisa e com o termo de consentimento livre e esclarecido.
- ☐ Não concordo em participar da pesquisa e com o termo de consentimento livre e esclarecido.

4. 1 - Qual é o nome ou descrição deste material usado ou que será utilizado no futuro?

5. 2- Qual é o seu nº CAS? (caso não tenha, favor informar desconhecimento).

6. 3 - Qual a classificação da manipulação da nanopartícula de TiO₂ na tarefa?

Check all that apply.

- ☐ Na forma de pó
- ☐ Na forma líquida
- ☐ Em misturas com demais substâncias

7. 4 - Qual é a reatividade superficial da partícula?

Mark only one oval.

- ☐ Alta
- ☐ Média
- ☐ Baixa
- ☐ Desconhecida

8. 5 - Qual é a forma da partícula?

Mark only one oval.

- ☐ Tubular ou Fibrosa
- ☐ Anisotrópicas
- ☐ Compactas ou esféricas
- ☐ Desconhecida

9. 6 - Qual é o diâmetro da partícula?

Mark only one oval.

- ☐ 1 a 10 nm
- ☐ 11 a 40 nm
- ☐ 41 a 100 nm
- ☐ Desconhecido

10. 7 - Qual é a solubilidade da partícula?*Mark only one oval.*

- ☐ insolúvel
☐ solúvel
☐ Desconhecida

11. 8 - Qual a duração em horas da tarefa?*Mark only one oval.*

- ☐ > que 4
☐ de 1-4
☐ 0,5 - 1
☐ menor que 0,5
☐ desconhecida

12. 9 - Qual é o número de trabalhadores envolvidos na tarefa?*Mark only one oval.*

- ☐ > que 15
☐ de 11-15
☐ de 6-10
☐ de 1-5
☐ desconhecido

13. 10 - Qual a quantidade de nanopartículas em gramas será utilizada na tarefa ou é prevista para utilização?*Mark only one oval.*

- ☐ > 100 mg
☐ 11 a 100 mg
☐ 0 a 10 mg
☐ desconhecida

14. 11 - Qual a pulverulência da substância?*Mark only one oval.*

- ☐ Alta
☐ Média
☐ Baixa
☐ Não pulverulento
☐ Não conhecido

15. 12 - Qual é a frequência de uso da substância?*Mark only one oval.*

- ☐ Diária
☐ Semanal
☐ Mensal
☐ Maior que Mensal
☐ Desconhecida

16. 13 - A substância possui alto ou baixo potencial de formação de aerossóis secos?*Mark only one oval.*

- ☐ Alto
☐ Baixo

17. 14 - Qual o controle de engenharia existente neste cenário?*Check all that apply.*

- ☐ Ventilação geral
☐ Cabine Ventilada ou Ventilação Exaustora Local
☐ Contenção
☐ Capela de Exaustão com Filtragem HEPA
☐ Capela de Exaustão com Filtragem

18. 15 - Qual das ferramentas qualitativas de gerenciamento de riscos abaixo a Aché tem conhecimento?*Check all that apply.*

- ☐ Control Banding
☐ SST/LABNANO
☐ ANSES
☐ CB ISO/TS 12901-2

19. 16 - Qual das ferramentas qualitativas de gerenciamento de riscos abaixo a Aché utiliza em seus processos de gerenciamento de riscos?*Check all that apply.*

- ☐ Control Banding
☐ SST/LABNANO
☐ ANSES
☐ CB ISO/TS 12901-2

20. Agradecemos a oportunidade e apoio a pesquisa. Por gentileza, indique um e-mail para contato e envio da monografia após o término dos processos acadêmicos.

Powered by