

**NANOTECNOLOGIA, NANOCIÊNCIAS E NANOPRODUTOS: PROMOÇÃO DE  
POLÍTICAS PÚBLICAS E APLICAÇÃO DE RECURSOS PARA O  
DESENVOLVIMENTO DE UMA MATRIZ DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL PARA  
NANOPRODUTOS NA AGRICULTURA.**

**AUTORES**

Arline Sydneia Abel Arcuri.

Química. Dra. Em Ciências. Pesquisadora da Fundacentro.

Eduardo Martinho Rodrigues

Engenheiro. Mestre em Saúde Coletiva. Docente do Centro Paula Souza - CPS.

**São Paulo - SP**  
**Setembro - 2022**

## **RESUMO:**

O contexto atual com a nanotecnologia necessita de uma abordagem holística. Desde as condições de laboratórios que desenvolvem pesquisa e a manipulação de nanopartículas, processos de fabricação, medidas de proteção e pautas de segurança, a despeito da inserção de empresas no seguimento da agricultura, a questão da exposição dos trabalhadores a nanoproductos requer maior cuidado. Por sua vez, consumidores de modo involuntário também estão expostos aos princípios ativos das nanopartículas sem que até o presente os usuários tenham sido alertados dos possíveis riscos. O meio ambiente, pelo descarte e liberação de nanomateriais também poderá sofrer impactos sem a realização de um acompanhamento. Neste ponto, face aos efeitos ainda muitos deles desconhecidos devido às exposições às nanopartículas, se considerarmos que existem nano indústrias também pode ser considerada a condição do agravo à saúde como sendo decorrente do efeito de uma nanopatologia como descrito por pesquisadores, sendo necessário considerar a nanotoxicologia para compreensão do possível efeito à saúde resultante da hipótese de exposição dos trabalhadores às situações de riscos vinculados a nanopartículas. Neste contexto, a perspectiva de prevenção, promoção da saúde e contando com a aplicação do princípio da precaução, a MEO - Matriz de exposição Ocupacional - poderá constituir-se em um pilar para alavancar os estudos epidemiológicos nos setores econômicos mais afetados pelo emprego de Nanotecnologia no Brasil.

## **1. INTRODUÇÃO – PRINCIPAIS CONCEITOS, TIPOS, CLASSIFICAÇÃO, FONTES, APLICAÇÕES.**

Conforme assinalam Iguti e Monteiro (1) nanotecnologia é um vocábulo genérico envolvendo uma diversidade de diferentes tecnologias, técnicas e processos, utilizados para pesquisa, processamento e utilização de nanomateriais. De modo simplista, pode-se dizer que as nanociências estudam as características dos materiais em escala nanométrica e as nanotecnologias, utilizando estas descobertas, espelham, concebem e manipulam materiais em nanoescala.

Por sua vez, de acordo com o IEEP (2) existem várias definições de nanotecnologia sendo que o termo "Nannos" é de origem etimológica grega que significa "anão". Os termos nanométrica e nanoescala se originam de outra palavra, o nanômetro. A escala de medida nanométrica tem como unidade o nanômetro. Estes termos, indicam dimensões físicas que estão na ordem de um bilionésimo de metro, ou seja, em termos dimensionais, 1 nanômetro = 0,000000001 metro. A

maioria das conceituações de nanotecnologias consideram que ela manipula materiais em dimensões entre 1 e 100nm. Atualmente, porém, para caracterização de materiais nanoestruturados devem ser consideradas todas as novas propriedades que ele possa apresentar diferente da escala maior, mesmo acima de 100 nm (OECD, 2019) (3).

Para efeito de representação comparativa para átomos de ouro, ferro e nitrogênio, Loos (4) apresenta-se na Figura 1 exemplos da escala nanométrica em nível atômico:

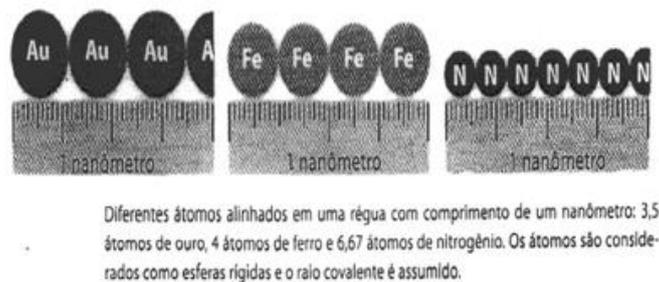


Figura 1 - Exemplos - Escala Nanométrica

Fonte: Adaptado de Loss (2003)

No século XX, segundo Iguti e Monteiro (1) a palestra “There's plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics” proferida pelo físico (Prêmio Nobel) norte americano Richard Feynman, em 1959, sugerindo a possibilidade de controle e manipulação de coisas em pequena escala, é indicada como sendo o marco inicial da nanotecnologia.

Segundo Nohara (5) o termo “nanotecnologia” foi definido pelo Professor Norio Taniguchi (Tokyo Science University) em um artigo em 1974 "consistindo principalmente no processamento de separação, consolidação e deformação dos materiais por átomo ou uma molécula", portanto, nanotecnologia descreve a habilidade de se criar materiais precisos na escala nanométrica, sendo que o termo “nanotecnologia” apareceu no contexto científico, com um conceito mais amplo, somente quinze anos mais tarde.

Assim sendo, conforme descrito por Arcuri (6) destaca-se a definição (tradução livre) de nanotecnologia estabelecida pelo Grupo Técnico da ISO 229 (ISO/TC 229 NANOTECHNOLOGIES, 2005) (7).

O conceito de nanotecnologia inclui um ou ambos do que segue: i) compreensão e controle da matéria e processos em nanoescala, normalmente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos dependentes do

tamanho geralmente permite novas aplicações e; ii) utilização das propriedades dos materiais em escala nano que diferem das propriedades de átomos individuais, moléculas e da matéria em escala maior, para criar os melhores materiais, dispositivos e sistemas que exploram essas novas propriedades.

Neste contexto, conforme assinalado por Quina (8) tem-se confirmado que nanopartículas, apresentam uma grande área superficial e, frequentemente, exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas e superfícies macroscópicas, e nesta situação, destaca-se a importância da nanoescala em que o tamanho de um determinado sólido tem grande efeito nas suas propriedades físico-químicas e toxicológicas.

De acordo com Loos (4) as propriedades de um material em escala nanométrica tendem a ser diferentes das propriedades do mesmo material quando considerado em larga escala, pois a área superficial de nanomateriais é muito maior quando comparada à mesma massa de material em larga escala, na faixa de centímetros (cm) ou metro (m).

Conforme sublinhado por Arcuri (6) no delineamento do tamanho das nanopartículas podem ser produzidos diferentes nanomateriais. Em especial as nanopartículas, que podem entrar de alguma forma em contato com os trabalhadores, usuários ou meio ambiente. Estes são os principais fatores relacionados aos possíveis danos à saúde, A área superficial é importante porque muitas reações químicas envolvendo sólidos acontecem na superfície, onde as ligações químicas são incompletas. Isto provoca um grande aumento da energia superficial e, em consequência, da reatividade das partículas, o que, por exemplo, provoca um aumento na atividade catalítica de alguns materiais.

Outra razão para as substâncias mudarem de comportamento é o fato de que, na medida em que a matéria é reduzida à escala nanométrica, as suas propriedades começam a ser dominadas por efeitos quânticos. Assim, as leis que regem o comportamento delas nesta escala não são as mesmas da escala maior.

Finalizando em relação às aplicações da Nanotecnologia conforme apontado por Jardim (9) tem-se aplicações no presente, no médio prazo e projeções para a nanotecnologia no longo prazo. Aplicações da nanotecnologia no presente: Memórias flash e leds luminosos; aditivos alimentares e defensivos agrícolas; válvulas cardíacas e implantes ortopédicos; tecidos que não sujam e que não molham; revestimentos à prova de riscos e de arranhões, para uso em capacetes e aeronaves; cremes e pomadas com nano capsulas contendo a substância cosmética

a qual penetrará mais fundo e atuará mais rápido na pele; protetores solares; pó bactericida; tintas e vernizes com aplicação mais fácil e mais resistentes a bolhas e rachaduras; revestimentos impermeáveis; células para energia solar e hidrogênio combustível, para produção e estocagem de energia de fontes limpas; novas baterias; películas comestíveis para revestimento de frutas e de legumes, usadas para retardar seu amadurecimento e aumentar seu tempo nas prateleiras; polímeros nanoestruturados e semicondutores, usados como sensores gustativos e olfativos para o reconhecimento de padrões de sabor em líquidos como café, vinho e água.

Por outro bordo, este autor destaca para a nanotecnologia no médio prazo as seguintes aplicações: vidros e plásticos inquebráveis; novos semicondutores e supercondutores; fluidos magnéticos e condutores; tecidos à prova de balas, mais leves e resistentes que o atual colete à prova de balas; biossensores que poderão ser implantados em qualquer lugar, para detectar a presença de luz, de gases, de calor, de animais e de pessoas; tecidos inteligentes que se amoldam ao corpo do usuário e controlam a absorção e a dissipação do calor conforme as condições externas; novas fibras; fotossíntese artificial: membranas sintéticas capazes de transformar luz solar em energia química; membranas seletivas para dessalinização e descontaminação da água de poços; nanocomputadores cujos chips terão bilhões de transistores de tamanho molecular, mais eficientes e menores, com vinte vezes a capacidade dos discos rígidos atuais; smart fields e farm systems: consistem numa rede formada por sensores espalhados pelo terreno cultivado, os quais serão ligados a computadores que monitorarão continuamente as condições do ambiente, do solo e da planta, controlando em tempo real a liberação da água e dos nutrientes e que permitem também o sensoriamento e rastreabilidade dos produtos agrícolas por toda a cadeia produtiva; administração mais eficaz dos medicamentos e dos pesticidas, com seu confinamento em nanocápsulas que se romperão no momento programado e no ponto exato do corpo e/ou da planta; novos filtros e máscaras contra substâncias contaminantes — vírus e bactérias.

Para o longo prazo Jardim (9) também sublinha as seguintes aplicações: novas proteínas e hormônios sintéticos; aviões e navios com fuselagem ultrafina e ultraleve; acesso cirúrgico a partes do corpo até agora inacessíveis; superfícies de roupas ou de prédios que poderão mudar sua cor conforme as condições do tempo; superfícies para construções que permitirão a passagem do ar e a ventilação através da parede; alimentos interativos, os quais poderão mudar

de sabor e de textura ao serem estimulados por microondas; órgãos e tecidos mais resistentes à morte do doador e à rejeição do receptor; biomateriais para implantes e próteses; uniformes tipo camaleão para uso militar e policial, os quais deixarão o corpo dos soldados invisíveis ao imitarem o ambiente; novos vetores para terapia genética, em substituição aos vírus usados hoje para implantar genes numa célula noutra; sequenciamento mais rápido e completo do genoma humano.

## **2.EFEITOS E IMPACTOS À SAÚDE POR EXPOSIÇÃO ÀS NANOTECNOLOGIAS.**

Conforme descrito por Kukso (10) existem atores globais em disputa pelo desenvolvimento na nanociência. Segundo um relatório do governo britânico publicado em 2015, o mercado nanotecnológico internacional atingirá um trilhão de dólares. Estados Unidos, Japão, Grã-Bretanha, Israel, Austrália e China lideram o ranking de países com maior número de pesquisas, patentes e financiamento em nanotecnologia. Só na China, existem 800 empresas dedicadas ao desenvolvimento de produtos nano de todos os tipos.

Por outro lado, o banco de dados de produtos de nanotecnologia - NPD Nanotechnology Products Database (11) fornece uma fonte de informações sobre produtos de nanotecnologia usados atualmente em uma ampla gama de aplicações industriais e pode ser considerado como porta de entrada para as estatísticas mais recentes sobre nanoprodutos disponíveis nos mercados em todo o mundo, destacando em setembro de 2022, 10.156 produtos produzidos em 3252 empresas localizadas em 64 países.

A título de exemplo, no seguimento da agricultura, existem 229 produtos produzidos por 73 empresas distribuídas em 26 países diferentes. Os produtos são classificados em setores subindústrias de pecuária, fertilizantes, melhoramento de plantas, proteção de plantas e melhoramento de solos de acordo com a NPD Nanotechnology Products Database (12).

Diante desta realidade mercadológica e tendo como fundamento a relevância do tamanho da nanopartícula, em relação aos efeitos e impactos por exposição às nanotecnologias ponderação e discernimento devem ser apreciados e conforme apontado pelo IIEP (2) é possível indicar consequências negativas das nanotecnologias quanto à exposição a nanopartículas em seres humanos, considerando a penetração no organismo pela inalação, ingestão ou contato dérmico. No caso de medicamentos, ainda ocorreria introdução por meio de injeções, supositórios, microchips, adesivos e aplicação nos olhos, nariz ou ouvidos, salientando que os efeitos da

invasão no corpo dos seres humanos estão sendo estudados e existem indícios de que se relacionam às mutações no DNA, danos nas estruturas e mesmo morte de células.

Além disso, outro ponto importante alinhado com os impactos de nanoproductos na nanoindústria, refere-se à mobilidade e translocação de nanopartículas, ou seja, o tamanho reduzido facilita o acesso das nanopartículas às membranas, paredes celulares, tecidos celulares e órgãos.

Na corrente sanguínea, atingiriam órgãos como cérebro, coração, fígado, rins, baço, sistema nervoso e medula óssea, ficando neles acumuladas. Mas atingiriam esses órgãos pela translocação, isto é, as nanopartículas caminhariam entre as várias células do corpo, chegando aos órgãos.

Segundo Kelly (13) pesquisadores e empregados na produção estão potencialmente expostos a partículas dispersadas em nanoescala através do contato da pele, ingestão e inalação. Investigação preliminar indica que, em alguns casos, material nanoparticulado pode ser mais tóxico do que outros formulados do mesmo ou de material similar reportando ainda que, a aplicação dos instrumentos clássicos de Medicina Ocupacional e higiene é dificultada pela falta de diretrizes de consenso para a vigilância médica, avaliação da exposição e controle de exposição.

Nesta perspectiva, publicação de março de 2011 consignada no segundo relatório de pesquisa do governo do Reino Unido (14) reporta objetivos e ações a serem desenvolvidos, tendo por finalidade acompanhar os riscos potenciais colocados pelas nanopartículas projetadas. Tais objetivos encontram-se formulados em sua Task 2 que descreve a necessidade de determinação das características dos nanomateriais que conferem a toxicidade. Por outro lado, reconhece que este objetivo - Task 2, não será possível até que para um conjunto de nano materiais estejam corretamente definidas as propriedades físico-químicas disponíveis para uso em estudos de toxicologia tanto in vitro quanto in vivo, destacando que as características que precisam ser definidas para cada tipo de nanomaterial incluem: composição, solubilidade, morfologia (tamanho e distribuição de tamanho e forma), área por unidade de massa de superfície composição da camada de superfície (especialmente importante se isso difere da composição geral) e carga de superfície.

Outros pontos importantes merecedores de destaque: i) até tal conjunto de características de nanomateriais não estarem disponíveis, será difícil ou impossível desenvolver qualquer

compreensão geral sobre toxicologia de nanopartículas; ii) que a história ou a proveniência das amostras deve ser cuidadosamente definido; iii) variações nas chaves de caracterizações de lote a lote e com o período de tempo decorrido desde a produção, são vistos como verdadeiros problemas. O relatório de pesquisa do governo do Reino Unido (14) enfatiza as necessidades em seu Task 2, descrevendo que estudos de inalação usando nanomateriais assumem prioridade, com especial atenção a respeito de toxicocinética e a distribuição de partículas inaladas no corpo, que devem ser estudadas contemplando a transferência horizontal superando as barreiras biológicas (por exemplo, para o cérebro ou feto) e que estudos de bio-persistência são urgentemente necessários.

O relatório também reporta que são necessários estudos da transferência de nanopartículas através da pele e que modelos in vitro têm sido desenvolvidos para a pele saudável, mas aspectos mecânicos, tais como pele-flexionada são importantes para o comportamento de nanomateriais na pele, e além disso, que os modelos correntes in vitro para absorção cutânea são inapropriados para a nanotecnologia.

No Brasil o Grupo de Nano Medicina e Nanotecnologia (15) distingue-se como pioneiro com atuação em linhas de pesquisa relacionadas à nanotoxicologia, destacando que devido principalmente à falta de estudos conclusivos que forneçam os mecanismos de interação de sistemas biológicos com nanomateriais, além de dosagens críticas, tempo de exposição, entre outras variáveis, reconhecem que relativo à nanotecnologia ainda não são totalmente conhecidos os potenciais riscos dos nanomateriais em contato com seres humanos, com ambientes aquáticos ou terrestres, incluindo os potenciais riscos à agricultura.

### **3. PREVENÇÃO, PROMOÇÃO, RISCOS EMERGENTES E PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO APLICADOS ÀS NANOTECNOLOGIAS.**

Na esfera da Saúde pública segundo Czesresnia (16) existem diferenças entre prevenção e promoção. Segundo esta autora 'Promover' tem o significado de dar impulso a; fomentar; originar; gerar, acrescentando ainda que, Promoção da saúde define-se, tradicionalmente, de maneira bem mais ampla que prevenção, pois refere-se a medidas que "não se dirigem a uma determinada doença ou desordem, mas servem para aumentar a saúde e o bem-estar gerais. Esta autora salienta que de acordo com a Conferência Internacional sobre Promoção de Saúde, realizada em Ottawa (1986), postula-se a idéia da saúde como qualidade de vida resultante de

complexo processo condicionado por diversos fatores, tais como, entre outros, alimentação, justiça social, ecossistema, renda e educação.

Por outro bordo, em relação à Prevenção conforme ensinado por Czesresnia (16) o termo 'prevenir' tem o significado de "preparar; chegar antes de; dispor de maneira que evite (dano, mal); impedir que se realize". Dessa forma, ações preventivas definem-se como intervenções orientadas a evitar o surgimento de doenças específicas, reduzindo sua incidência e prevalência nas populações. A base do discurso preventivo é o conhecimento epidemiológico moderno. Os projetos de prevenção e de educação em saúde estruturam-se mediante a divulgação de informação científica e de recomendações normativas de mudanças de hábitos.

Assim, conforme citado por Lima (17) para o emprego da nanotecnologia e os decorrentes riscos laborais associados, nanoproductos e nanopartículas enquadram-se nos denominados “novos riscos emergentes” identificados pela Agencia Europeia para a Segurança e a Saúde no trabalho para a estratégia comunitária de 2002-2006 objetivando-se criar um “observatório de riscos” para ajudar a “antecipar o conhecimento dos novos riscos emergentes”.

Neste sentido, a Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho - OSHA (18) em sua publicação “Previsões de peritos sobre os riscos físicos emergentes associados à segurança e saúde no trabalho”, relativo aos "riscos emergentes" define como sendo qualquer risco que seja novo e está a aumentar. Ampliando-se o significado para riscos emergentes tem-se: i) o risco que não existia anteriormente e ii) uma questão que não é nova e é agora considerada um risco devido a uma alteração nas percepções sociais ou públicas ou a um novo conhecimento científico.

Por sua vez, Iguti e Monteiro (1) apontam que a abordagem baseada na precaução, justifica uma intervenção regulatória com base em conclusões científicas de risco real à sociedade e a regulação adota medidas de redução da atividade de risco.

De acordo com Augusto e Freitas (19) estes pesquisadores discorrem que este princípio tem sido tomado como referência em outras áreas – incluindo as mudanças climáticas globais – e caracteriza-se por reivindicar que deliberações sobre processos industriais e produtos perigosos sejam transpostas da ponta final do processo – ou seja, quando uma inovação tecnológica já está sendo empregada em larga escala social – para a parte inicial do processo – ou em outras palavras, quando uma inovação tecnológica ainda se encontra em teste para avaliar seu desempenho em termos de eficácia e segurança.

#### **4. REGULAMENTAÇÃO PARA FORMAÇÃO, EDUCAÇÃO E CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL EM NANOTECNOLOGIA.**

Em relação à necessidade de regulamentação em nanotecnologia, é possível sua interface com paradigmas e diretrizes para a Saúde Ambiental, a partir dos seguintes parâmetros: i) Direitos Humanos; ii) Determinantes sociais da Saúde; iii) Aplicação em escala local, regional e global; iv) Vulnerabilidade ambiental ampliada; v) Exposição ocupacional individual e coletiva; vi) Exposição aguda e crônica.

Nesta perspectiva, em todo o mundo, existem vários grupos de definição de padrões envolvidos com padrões de nanotecnologia como descrito no Site oficial da Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos Estados Unidos destacando-se que esses grupos desenvolvem padrões voluntários, com a base mais forte em ciência.

Algumas das principais organizações de definição de padrões e seus comitês de nanotecnologia relevantes merecem citação: i) Comitê Técnico (TC) 229 da Organização Internacional de Normalização (ISO) sobre Nanotecnologias; ii) Comitê E56 da ASTM Internacional (Nanotecnologia) (anteriormente conhecida como Sociedade Americana de Testes e Materiais); iii) Comitê Técnico da Comissão Eletrotécnica Internacional 113 (Padronização de Nanotecnologia para Produtos e Sistemas Elétricos e Eletrônicos); iv) Conselho de Nanotecnologia dos Engenheiros Elétricos e Eletrônicos do IEEE - conforme NTC (20).

Além disso, outros grupos estão envolvidos na coordenação do desenvolvimento de padrões, como o ANSI - American National Standards Institute (21), que abriga um banco de dados e de normas de nanotecnologia e credencia organizações envolvidas em padrões e de acordo com a OIT - Organização Internacional do Trabalho, tratam-se de padrões que englobam aspectos de saúde, segurança e meio ambiente; propriedades dos materiais e procedimentos de teste, medição e caracterização.

No Brasil, merece citação a Nota Técnica N°1/2018 da FUNDACENTRO (22) resultante do projeto iniciado a partir do final de 2006 - impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores que ao longo de seu desenvolvimento e no contexto de destaques e recomendações, veio a tipificar diretrizes ancoradas de forma ativa no Princípio da Precaução.

Destaca-se algumas ações brasileiras relacionadas à nanotecnologia:

Em 2013 o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) lançou a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), que se caracteriza por ser um conjunto de ações com o objetivo de

criar, integrar e fortalecer as atividades governamentais e os agentes ancorados na nanociência e nanotecnologia, almejando o desenvolvimento científico e tecnológico do setor, com foco na inovação (CNPEM, 2013).

A portaria nº 3.459, de 26 de julho de 2019, institui a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, como principal programa estratégico para incentivo da Nanotecnologia no país.

O Decreto nº 10.095, de 7 de novembro de 2019 instituiu o Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais (CCNANOMAT). Segundo o MCTI este comitê foi criado no âmbito da governança das temáticas de Nanotecnologia e Novos Materiais.

Já em 2007 a ABNT criou uma comissão de estudos especiais CEE, o ABNT/CEE-089, para normalização no campo de nanotecnologias. A comissão que teve suas atividades comprometidas durante muito tempo, retomou seu trabalho em fevereiro de 2021, dedicando-se a escolher e traduzir documentos elaborados pela ISO (ABNT, 2022). A ABNT criou um grupo de trabalho para desenvolver normas brasileiras e que tem se empenhado em traduzir normas e recomendação da ISO, para o português.

Por conseguinte, considerando-se o Princípio da Precaução e que o Brasil não dispõe de bases de dados com informações completas sobre avaliações de ambientes de trabalho, relacionados às exposições com nano partículas em termos de Saúde Ambiental, além de que são poucos os estudos publicados sobre os impactos das nanopartículas na Saúde e no Meio Ambiente, tem-se como aplicáveis à Nanotecnologia as considerações preconizadas pela OIT (23) em que o estudo dos efeitos e o desenvolvimento de medidas de proteção, reconhecendo que há desafios e oportunidades para a articulação entre Agentes Públicos, Sociais e Privados na aplicação da Regulação.

## **5. MEO - MATRIZ DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM NANOTECNOLOGIA.**

De acordo com Ribeiro e Filho (24) a matriz de exposição ocupacional (MEO) é definida como uma classificação de exposição que utiliza a informação da ocupação por setores econômicos para definir níveis de exposição a agentes ou substâncias. O emprego dos títulos de ocupação e de setores econômicos, como aproximação da situação de exposição em estudos epidemiológicos e inquéritos populacionais, demanda a aceitação de classificações capazes de possibilitar comparações entre diferentes estudos, entre populações de distintas regiões ou ao longo do tempo, sendo que prática, cada país possui sua própria classificação de ocupação, elaborada a partir de dados censitários ou adaptada de recomendações internacionais.

Conforme Ministério do Trabalho e Previdência (25), o Brasil adota a Classificação Brasileira de Ocupação sendo que a estrutura básica da CBO foi elaborada em 1977, resultado do convênio firmado entre o Brasil e a Organização das Nações Unidas - ONU, por intermédio da Organização Internacional do Trabalho - OIT, no Projeto de Planejamento de Recursos Humanos (Projeto BRA/70/550), tendo como base a Classificação Internacional Uniforme de Ocupações - CIUO de 1968. Desde a sua primeira edição, em 1982, a CBO sofreu alterações pontuais, sem modificações estruturais e metodológicas. A edição 2002 utiliza uma nova metodologia de classificação e faz a revisão e atualização completas de seu conteúdo.

A nova versão da CBO (26) contém as ocupações do mercado brasileiro, organizadas e descritas por famílias. Cada família constitui um conjunto de ocupações similares correspondente a um domínio de trabalho mais amplo que aquele da ocupação.

Por sua vez, a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) é a classificação brasileira oficial desde 1995. Desenvolvida com base na ISIC, em 2002, sofreu a primeira revisão (24).

Neste contexto, no início da década de noventa, conscientes da necessidade de padronização, O IBGE e os órgãos produtores de registros administrativos, como o Ministério do Trabalho, o Ministério da Previdência Social, o Ministério da Indústria, Comércio e Turismo e a Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, elaboraram em conjunto uma classificação de atividades econômicas para uso generalizado pelos produtores de informações econômicas do País. Como reflexo da necessidade de comparação com as informações estatísticas produzidas por outros países, foi tomada como referência para a construção de classificação nacional a classificação padrão elaborada pela Divisão de Estatísticas das Nações Unidas, a International Standard Industrial Classification of All Economic Activities-ISIC (Clasificación Industrial Internacional Uniforme-CIIU), 3ª revisão. A 1ª. versão da CNAE foi sendo progressivamente implementada pelos órgãos produtores de registros administrativos a partir de 1995, e pelo sistema estatístico em suas pesquisas, a partir de 1996 (27).

Nesta perspectiva, conforme Camicassa (28) a atividade econômica principal da empresa está informada no “cartão CNPJ) - Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas, no campo ”Código e descrição da atividade econômica principal”. Esse código é identificado pelo CNAE - Classificação Nacional de Atividade Econômica, correspondendo a uma sequência de sete números, em que os cinco primeiros dígitos são correspondentes à classificação da atividade e

os dois últimos algarismos identifica a subclasse. Sublinha esta autora (27) que este sistema de classificação encontra embasamento em diretivas internacionais para fins de estudos estatísticos e tem por objetivo padronizar a identificação das atividades das diversas unidades produtivas, em distintos setores da economia.

Neste contexto, Ribeiro e Filho (24) elucidam que a criação e a organização de uma matriz pode ser produzidas por técnicos da empresa, por trabalhadores, ou por peritos externos. Nesta elaboração, utilizam dados de avaliações ambientais, questionários, informações de ocupações por fontes indiretas ou avaliações de história ocupacional. A estimativa da exposição por meio de MEO pode se dar a partir do julgamento de especialistas tomando por base elementos indiretos, como a descrição de uma ocupação em determinado tipo de indústria, destacando ainda que as vantagens das MEO estão relacionadas com o seu potencial para estimar exposições independentes do status da doença, permitir a avaliação da exposição com baixo custo, especialmente quando utilizam apenas informações da ocupação e do setor econômico. Seu uso é indicado em estudos epidemiológicos cujas tarefas são pouco detalhadas. Um benefício adicional está alinhado com a possibilidade de ser construída por dados de registros nacionais. Concluem estes pesquisadores (24) que de fato, as MEO representam o único método factível para analisar grandes bases de dados sobre exposições ocupacionais.

As matrizes produzem indicadores que identificam a exposição de forma dicotômica (sim; não), por gradientes (alto; baixo; não expostos), ou níveis e probabilidade de exposição (definitivamente expostos; provavelmente expostos; possivelmente expostos).

Assim a matriz é essencialmente uma tabela de conversão que fornece informações sobre exposições ocupacionais para cada ocupação (quando a porta de entrada é "ocupação") e sobre as ocupações expostas a cada agente (quando a porta de entrada é "agente").

Para a proposta de desenvolvimento de uma matriz de exposição ocupacional para nanoprodutos aplicados na agricultura, tendo por entrada a "ocupação" para trabalhadores com vínculo empregatício, poderá ser produzida com quadros de cruzamento de informações correlacionando a ocupação - CBO (na linha) e o CNAE do produtor - setor secundário (na coluna), e como resultante a intersecção pode dar origem para uma estimativa qualitativa ou quantitativa, do nível de exposição e/ou a probabilidade de exposição.

Outra possibilidade de desenvolvimento de uma matriz de exposição ocupacional para trabalhadores sem vínculo empregatício, quando a porta de entrada é o agente, poderá ser

elaborada, a partir dos dados dos CNAE do setor terciário (comércio e serviços) em cruzamento com o registro da prescrição da receita agrônômica que deve ser realizada por um responsável técnico legalmente habilitado, tendo em conta a legislação a nível federal que regula o receituário agrônômico: Lei nº 7.802 de 1989; Lei nº 9.974 de 2000 e Decreto nº 4.074 de 2002. Destacam ainda estes autores que, dentre as limitações das MEO está inserida a subjetividade na classificação da exposição, pois o julgamento por especialistas e a disponibilidade de poucas informações facilitam a ocorrência de erros de classificação.

Neste sentido, relacionado com a MEO esclarecem que o Brasil conta com bases administrativas, previdenciárias e de saúde capazes de auxiliar na descrição de cenários exploratórios para esta área de pesquisa.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E JUSTIFICATIVAS PARA APLICAÇÃO DE UMA MATRIZ DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM NANOTECNOLOGIA.**

Com o emprego da nanotecnologia trabalha-se em nível atômico, subdividindo o material de origem. A fração de átomos localizados na superfície deste material nanoparticulado será mais reativa do que a dos átomos localizados no seu interior. A diminuição de dimensões torna o material quimicamente mais reativo e pode afetar as propriedades elétricas, magnéticas, morfológicas, estruturais, térmicas, ópticas e mecânicas.

A mecânica clássica (NEWTONIANA) não atende aos modelos de análise em nível atômico, e muda-se para mecânica quântica que passa a ser utilizada para explicar as mudanças dos fenômenos observados. A curto prazo, não é possível saber sobre as interações do processo saúde-doença com emprego de nanotecnologias.

Neste contexto a MEO - Matriz de exposição Ocupacional - poderá constituir-se em um pilar para alavancar os estudos epidemiológicos nos setores econômicos mais afetados pelo emprego de Nanotecnologia. A aplicação do Princípio da Precaução de atribuir ao gerador de riscos, para que desde o início, conjugue esforços para expor minuciosamente os estudos, concede potência para justificar o emprego de MEO, pois as organizações que sejam instadas a apontar oficialmente aos organismos de vigilância, o número da CNAE - Classificação Nacional de Atividade Econômica - onde estão inseridas, pode-se constituir o ponto de partida para antecipar danos e agravos irreversíveis para exposições a nanotecnologia.

Finalizando, a justificativa para emprego da MEO - Matriz de exposição Ocupacional está alinhada com a necessidade de pesquisa científica e regulamentação em nanotecnologia, é

factível, e neste sentido há necessidade do desenvolvimento de políticas públicas e aplicar recursos públicos na produção de novos conhecimentos relativos aos impactos para saúde e meio ambiente relativos à utilização e aplicação de nanotecnologias na agricultura e a correspondente divulgação dos resultados tendo em conta o Artigo 7 inciso XXVII da Constituição Federal 1988 (29) que prevê a proteção de trabalhadores frente a automação e inovações tecnológicas e para nossa proposta em especial aos trabalhadores rurais.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

(1) Iguti, AM. Monteiro, I. Nanotecnologia e suas interfaces com o Desenvolvimento Sustentável. Trabalho, saúde e sustentabilidade: diálogo interdisciplinar internacional Sul – Norte. Work, health and sustainability: an interdisciplinary international dialogue South – North. Organizadoras: Inês Monteiro, Aparecida Mari Iguti. - Campinas, SP: Unicamp FCM, 2017. 192p.

Disponível em: [www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=80420](http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=80420)

(2) IIEP - Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas.

Disponível em:

[http://www.anamt.org.br/site/upload\\_arquivos/legislacao\\_2015\\_251120151338147055475.pdf](http://www.anamt.org.br/site/upload_arquivos/legislacao_2015_251120151338147055475.pdf)

(3) OECD - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

Disponível em:

[https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2019\)12&doclanguage=en](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2019)12&doclanguage=en)

(4) Loos, MR. Nanociência e Nanotecnologia: Compósitos Termofixos reforçados com Nanotubos de Carbono. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda; 2014. 268p.

(5) Nohara, EL. Inovação, tecnologia e sustentabilidade para o desenvolvimento. Avanços e aplicações de nanotecnologias.

Disponível em:

[https://www.seesp.org.br/site/images/ecosp2012/evandro\\_luis\\_nohara\\_inovacao\\_tecnologia\\_sustentabilidade\\_desenvolvimento.pdf](https://www.seesp.org.br/site/images/ecosp2012/evandro_luis_nohara_inovacao_tecnologia_sustentabilidade_desenvolvimento.pdf)

(6) Arcuri, ASA. A governança dos riscos laborais da nanotecnologia e o marco legal da ciência, tecnologia e inovação no Brasil. Editora Karywa São Leopoldo – RS. 2017. 204p.

(7) Organização Internacional para Padronização. ISO/TC 229 Nanotecnologias.

Disponível em:

<https://www.iso.org/committee/381983.html>

(8) Quina, FH. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. Química Nova, Vol. 27, nº6, 1028-1029, 2004.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n6/22297.pdf>

(9) Jardim, FR. O macrocosmo social da nanociência: estudo sobre as pesquisas em nanotecnologia da Embrapa e da Unicamp. 2009. USP -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.

Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8132/tde-09122009-162117/en.php>

(10) Kukso, F. Tudo o que você precisa saber sobre ciência. Tradução: Bruno Martins. Editora Planeta do Brasil Ltda. São Paulo.2019.284p.

(11) Nanotechnology Products Database. Acessado em 22/09/2022.

Disponível em:

<https://product.statnano.com/>

(12) Nanotechnology Products Database. Acessado em 22/09/2022.

Disponível em:

<https://product.statnano.com/industry/103/more>

(13) Kelly, RJ. Occupational Medicine Implications of Engineered Nanoscale Particulate Matter. 2008. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Disponível em:

<https://www.osti.gov/servlets/purl/926501>

(14) Caracterizando os riscos potenciais representados pelas nanopartículas projetadas. United Kingdom - UK.

Disponível em:

<https://www.gov.uk/government/publications/characterising-the-potential-risks-posed-by-engineered-nanoparticles>

(15) Grupo de Nano Medicina e Nanotecnologia. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Disponível em:

<http://www.nanomedicina.com.br>

(16) Czeresnia, D. "The concept of health and the difference between promotion and prevention". Cadernos de Saúde Pública (Czeresnia, 1999). In: Czeresnia D, Freitas CM (org.). Promoção da Saúde: conceitos, reflexões, tendências. Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz, 2003. p.39-53.

Disponível em:

<http://www.fo.usp.br/wp-content/uploads/AOconceito.pdf>

(17) Lima, FJSC. Riscos emergentes associados às nanotecnologias uma introdução. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Gestão e Tecnologia - Escola Superior de Tecnologia. Vila Nova de Gaia - 2014 - Porto - Portugal.

Disponível em:

<https://recil.ensinulusofona.pt/handle/10437/10681>

(18) Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho. Previsões de peritos sobre os riscos físicos emergentes associados à segurança e saúde no trabalho.

Disponível em:

<https://osha.europa.eu/pt/tools-and-publications/publications/factsheets/60>

(19) Augusto, LGS. Freitas, CM. O Princípio da Precaução no uso de indicadores de riscos químicos ambientais em saúde do trabalhador.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/csc/v3n2/7153.pdf>

(20) Conselho de Nanotecnologia do IEEE (NTC).

Disponível em:

<https://ieeenano.org/about/>

(21) ANSI - American National Standards Institute. Nanotechnology Standards Data Base.

Disponível em:

<https://nanostandards.ansi.org/tiki-index.php?page=DataEntryOutputPub>

(22) Fundacentro- Nota Técnica N°1/2018 - 09/03/2018.

Disponível em:

<http://diesat.org.br/wp-content/uploads2/2019/03/Nota-tecnica-01-2018-Corrigida-e-Revisada-1.pdf>

(23) Organização Internacional do Trabalho. Futuro do trabalho no Brasil: perspectivas e diálogos tripartites - 2018.

Disponível em:

[https://www.ilo.org/brasil/publicacoes/WCMS\\_626908/lang--pt/index.htm](https://www.ilo.org/brasil/publicacoes/WCMS_626908/lang--pt/index.htm)

(24) Ribeiro, FSN. Filho, VW. Avaliação retrospectiva da exposição ocupacional a cancerígenos: abordagem epidemiológica e aplicação em vigilância em saúde.

Disponível em:

[https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/csp/v20n4/02.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v20n4/02.pdf)

(25) Ministério do Trabalho e Previdência.

Disponível em:

<http://www.mtecbo.gov.br/cbosite/pages/informacoesGerais.jsf>

(26) Ministério do Trabalho.

Disponível em:

<http://www.mtecbo.gov.br/cbosite/pages/saibaMais.jsf>

(27) Concla. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Disponível em:

<https://concla.ibge.gov.br/index.php>

(28) Camisassa, Mara Queiroga. Segurança e Saúde no Trabalho: NR1 a 37 comentadas e descomplicadas. 8ªEd. Rio de Janeiro: Método, 2022.

(29) Constituição Federal 1988.

Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)