

## **GERENCIAMENTO DE RISCOS E LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL DA NR-15 PARA AS POEIRAS MINERAIS**

Manuel Vitor Portugal Gonçalves<sup>1</sup>

Flávio Batista Souza<sup>2</sup>

Antônio Bomfim da Silva Alves Junior<sup>3</sup>

Rodrigo Alves Santos<sup>4</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho pretendeu caracterizar o gerenciamento dos riscos a partir da análise dos limites de tolerância preconizados pela legislação ambiental brasileira para as poeiras minerais (sílica cristalina), aplicados aos diversos segmentos das indústrias de construção. Constitui-se em uma revisão da literatura especializada da Segurança no Trabalho e Higiene Ocupacional, e legislação pertinente (NR15), quanto os riscos de exposição ocupacional do trabalhador a poeira, em especial da fração respirável, e saúde ocupacional. No contexto da Higiene Industrial, as doenças ocupacionais associadas a exposição do trabalhador as poeiras minerais, principalmente da fração respirável contendo sílica cristalina, podem ser prevenidas, desde que as organizações ofereçam sensibilização e treinamento, estimulem a realização exames médicos dos colaboradores e análises químicas do ar para a avaliação e controle do risco de exposição ocupacional às poeiras contendo sílica cristalina. Recomenda-se a obtenção do limite de tolerância para promoção da saúde ocupacional dos colaboradores e prevenção de prejuízos com o pagamento indenizações, multas e passivos trabalhistas. Recomenda-se mudança da cultura organizacional e investimentos na sensibilização e treinamento, em tecnologias mais limpas de controle da sílica respirável e no uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs); bem como na elaboração de Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e Programa de Prevenção dos Riscos Ambientais (PPRA) para a proteção da saúde e prevenção de prejuízos.

**Palavras-chave:** Higiene industrial. Poeira respirável. Limite de tolerância. Sílica-doenças.

### **1. INTRODUÇÃO**

A poeira mineral apresenta uma influência fundamental na abundância e distribuição da vida e nas condições da saúde humana (SELINUS et al., 2007). A

<sup>1</sup> Doutor em Geologia, Grupo Geoquímica das Interfaces, UFBA, e-mail: hidrovitor81@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Geologia, Grupo Geoquímica das Interfaces, UFBA, e-mail flaviosbatista1@gmail.com.

<sup>3</sup>

<sup>4</sup>

mobilidade e os aspectos físico-químicos e microbiológicos da poeira abrangem as mudanças no equilíbrio radiativo do planeta, transporte de bactérias patogênicas para regiões densamente povoadas, deposição de sedimentos soprados pelo vento em recifes de corais, redução da qualidade do ar, alterações nos ciclos biogeoquímicos e seus efeitos sobre de substâncias tóxicas para a saúde humana.

Os ambientes laborais insalubres e contaminados com a poeira mineral na indústria da construção podem representar riscos de doenças para os trabalhadores expostos, sendo a silicose a principal doença ocupacional pulmonar no Brasil (MENDES, 1996). Segundo Souza e Quelhas (2003), a prevalência de silicose por exposição ocupacional a poeira mineral no Brasil decorre da mineração subterrânea de ouro (ex.: Minas Gerais), da indústria cerâmica, fundições, industriais mistas e a escavação manual de poços e jateamento de areia (abrasivas). Em seguida, desponta a pneumoconiose por exposição dos trabalhadores nas minas de carvão.

A silicose é uma alteração na saúde causada pela inalação de partículas de dióxido de silício cristalino ( $\text{SiO}_2$ ), encontrado amplamente nas rochas que constituem a crosta terrestre. A exposição ocupacional e o gerenciamento de risco devem priorizar as atividades industriais de corte ou polimento de rochas apontadas como fontes potenciais de sílica respirável, junto a mineração, a abertura de túneis, trabalho em pedreiras e a lapidação de rochas ornamentais. Os usos industriais da areia podem causar a exposição ocupacional a níveis elevados e de risco de sílica respirável, em especial no uso da areia para fins abrasivos, em obras de fundição, na fabricação de vidros e na indústria cerâmica (SOUZA; QUELHAS, 2003).

Uma perspectiva técnica de redução dos riscos ocupacionais da exposição do trabalhador à sílica e prevalência da silicose emerge do gerenciamento e prevenção dos riscos laborais. O gerenciamento dos riscos de exposição a agentes físicos, químicos e biológicos deve evitar condições laborais insalubres, mantendo-se o desempenho e funcionalidades corporais dos trabalhadores. Segundo Sisino e Oliveira-Filho (2013), o risco representa o potencial de realização de consequências adversas e indesejáveis para a vida e saúde humana, ou ambiente, como foi proposto pela Sociedade Internacional de Análise de Risco. Rodricks e Tardiff (1984) definiu o risco em função da probabilidade de qualquer evento prejudicial ocorrer.

Um instrumento normativo para prevenção de condições laborais insalubres é

a Norma Regulamentadora nº 15 - Atividades e Operações Insalubres (NR 15) (BRASIL, 2014), a qual define o limite de tolerância como o nível máximo permitido de um agente químico no ar, desde que não cause danos à saúde do trabalhador no ambiente laboral. O limite de tolerância é definido como o nível máximo com a qual a maioria dos trabalhadores expostos a fatores de riscos, dia após dia, não teria efeitos adversos à saúde, entretanto tais limites de tolerância estão desatualizados e não representam um limiar definitivo, especialmente no tocante a poeira mineral. Esta situação possui importância para a prevenção de danos ambientais e à saúde dos trabalhadores expostos aos riscos ocupacionais de processos e substâncias químicas na forma de vapores, gases, fumos, névoas, poeiras, líquidas ou gasosas.

A Norma Regulamentadora nº 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (NR 9) (BRASIL, 2014) contribui com a prevenção de condições laborais insalubres e estabelece o nível de ação, definindo-o como a metade do nível de exposição, um valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas adequadas e suficientes para a efetiva redução da probabilidade de que as exposições dos trabalhadores a agentes ambientais atinjam os limites de exposição.

Neste contexto, infere-se a relevância do gerenciamento de riscos de exposição ocupacional a sílica relacionada a um amplo espectro de processos industriais, acompanhado de tomadas de amostra periódicas para análise química do ar e para o monitoramento da qualidade deste para evitar doenças ocupacionais relacionadas a poeira mineral, como a silicose. Este trabalho pretendeu caracterizar o gerenciamento dos riscos de exposição ocupacional a partir da análise dos limites de tolerância preconizados pela legislação ambiental brasileira para as poeiras minerais (sílica cristalina), aplicáveis aos segmentos das indústrias de construção.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta investigação centrou-se especialmente na caracterização dos riscos da exposição ocupacional a poeira mineral no âmbito das indústrias de construção, e os seus efeitos sobre a saúde ocupacional e pública. Constitui-se de uma revisão da literatura especializada, em bases técnico-científicas das Engenharias, Biociências, Epidemiologia, Saúde Pública e das Geociências, relacionada com a Segurança no

Trabalho e a legislação ambiental, no tocante a prevenção de riscos ocupacionais as poeiras minerais e quanto a proteção da saúde e conservação do meio ambiente.

A estratégia de busca contemplou descritores específicos, como poeira mineral, poeira total, poeira respirável, risco ocupacional, silicose, limite de exposição ocupacional, métodos NIOSH 0600, NIOSH 0500 e NIOSH 7500, com auxílio dos recursos informacionais em base de dados eletrônicas (LILACS, SCOPUS), bibliotecas digitais (CAPES e SciELO) e um buscador acadêmico (Google Acadêmico). Para tanto, o cálculo dos limites de exposição ocupacional da poeira respirável, ou limite de tolerância para a sílica livre cristalizada em mg/m<sup>3</sup>, seguiu as orientações da Norma Regulamentadora nº 15 - NR 15 (BRASIL, 2014).

### **3. RISCOS DA POEIRA MINERAL E ASPECTOS DA SAÚDE**

#### **3.1 Categorias de Riscos Ocupacional e a Norma Regulamentadora NR 15**

Os agentes ambientais de risco (estressores), como a poeira mineral, são as substâncias que o ser humano, ou os seres vivos, estão expostos e podem produzir efeitos negativos à saúde, ao ecossistema e à qualidade de vida (SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013). Um programa de gerenciamento de riscos ocupacional a poeira mineral depende da realização da: i) Avaliação do risco à saúde; ii) Caracterização de nexos causais para doenças diagnosticadas; e da iii) Caracterização de insalubridade para fins de pagamento de adicional de salário.

A caracterização de nexos causais para doenças diagnosticadas abrange as etapas de caracterização dos efeitos adversos, formulação de hipóteses para direcionar a investigação, coleta de informações e caracterização de exposições e o julgamento profissional (técnico). Uma vez realizada a avaliação dos riscos ambientais e a caracterização de nexos causais para doenças diagnosticadas, pode-se seguir com a caracterização de insalubridade para fins de pagamento de adicional de salário. A caracterização de insalubridade é constituída de três etapas: i) identificação da presença do agente e de exposições, ii) a Avaliação das exposições (qualitativa ou quantitativa); e iii) julgamento profissional com base no critério legal.

De acordo com a NR 15 (BRASIL, 1990), que regulamenta o Cap. V da CLT,

são consideradas atividades ou operações insalubres aquelas que se desenvolvem acima dos limites de tolerância previstos nos Anexos nº.1, nº.2, nº.3, nº.5, nº.11 e nº.12. Também, nas atividades referidas nos Anexos nº.6, nº.13 e nº.14 e nº.15, ou comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho, segundo os Anexos nº.7, nº.8, nº.9 e nº.10 da NR-15.

Uma avaliação do risco à saúde contempla as etapas de identificação do risco, avaliação das exposições e do risco, uso de critérios técnicos julgamento da aceitabilidade do risco e a proposição ações a partir do controle ou monitoramento dos agentes de risco. Sisinho & Oliveira-Filho (2013) propuseram uma comparação entre os modelos de avaliação de risco da Segurança Industrial, da Saúde Humana e Ecológica, como foi apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparações de modelos técnicos de avaliação da magnitude de riscos ambientais

Segurança Industrial	Saúde Humana	Ecológica
<p>1. Identificação de Perigo</p> <p>Objetivo: Identificar os possíveis cenários acidentais, cujas técnicas aplicáveis centram-se nos materiais, equipamentos, procedimentos, operações e os inventários de produtos químicos perigosos.</p>	<p>1. Identificação de Perigo</p> <p>Objetivo: Identificar contaminantes de interesse. Procura-se a obtenção da quantidade e teores dos agentes químicos, físicos e biológico nos reservatórios ambientais.</p>	<p>1. Formulação do Problema</p> <p>Objetivo: Caracterização da natureza dos problemas ecológicos observados ou que poderão ocorrer. Procura-se a elaboração do plano de análise de dados e caracterização do risco.</p>
<p>2. Estimativa de Frequências</p> <p>Calcula a frequência de ocorrência dos eventos acidentais identificados, com auxílio de técnicas, a exemplo da Árvore de Falhas (AAF) e a consulta de bancos de dados de falhas.</p>	<p>2. Avaliação da Exposição</p> <p>Identificação da população exposta e avaliação da dose recebida por todos os grupos sensíveis, a partir do estudo do transporte ambiental dos contaminantes e/ou de análises ambientais e bioensaios.</p>	<p>2. Avaliação da Exposição</p> <p>Analisa a exposição, real ou potencial, por meio do exame das características dos estressores e dos receptores estudados.</p>
<p>3. Análise dos Efeitos Físicos/Impactos</p> <p>Simulação dos cenários acidentais por modelos matemáticos, para o cálculo da intensidade dos efeitos físicos em função da distância. Relaciona-se os modelos de vulnerabilidade a probabilidade de morte ou danos graves à saúde.</p>	<p>3. Avaliação Dose-resposta</p> <p>Estudo da relação entre as doses recebidas pelos grupos expostos e a ocorrência de efeitos adversos à saúde.</p>	<p>3. Avaliação dos Efeitos</p> <p>Caracterização dos efeitos dos estressores nos receptores estudados por meio da avaliação da toxicidade aquática, terrestre outros ensaios como, por exemplo, de CL50.</p>

<p>4. Quantificação do Risco (individual e social)</p> <p>O risco é estimado a partir do produto da probabilidade de ocorrência do evento e a probabilidade de que o evento resulte em morte.</p>	<p>4. Caracterização do Risco</p> <p>Integração das etapas anteriores para a expressão de riscos à saúde (qualitativos ou quantitativos). Contempla a análise das incertezas.</p>	<p>4. Caracterização do Risco</p> <p>Integra as etapas anteriores e fornece a estimativa dos riscos ecológicos em termos de significância dos efeitos observados, relacionamento causal e apreciação das incertezas.</p>
<p><b>Resultados</b></p> <p>Mortes, danos graves à saúde humana; e prejuízos econômicos.</p>	<p><b>Resultados</b></p> <p>Risco de câncer na população, perigo de efeitos não carcinogênicos</p>	<p><b>Resultados</b></p> <p>Impacto no <i>habitat</i> ou ecossistema, como abundância da população, diversidade de espécies.</p>
<p><b>Aplicações Características</b></p> <p>Licenciamento ambiental de empreendimentos industriais; Planejamento territorial; Cálculo de seguros industriais; Análise de segurança de instalações industriais.</p>	<p><b>Aplicações Características</b></p> <p>Avaliação e remediação de áreas contaminadas; Controle de poluição das componentes ambientais do solo, água e ar.</p>	<p><b>Aplicações Características</b></p> <p>Descreve-se casos de aplicações em estudos de avaliação de impacto ambiental, registro de agrotóxicos e avaliação de áreas contaminadas. Depende do desenvolvimento de novas pesquisas.</p>

Fonte: Modificado de Sisinho & Oliveira-Filho (2013).

O Quadro 2 classifica os riscos ocupacionais segundo as categorias preconizadas pela NR-15, da Portaria nº 3.751/90 (BRASIL, 1990). A NR-15 contém uma série de normas regulamentadoras que consolidam a legislação trabalhista, relativas à segurança e medicina do trabalho. Trivelato (1998) destacou que os fatores de riscos podem ser observados pelos sentidos ou com auxílio de instrumentos, mas o risco não é uma categoria observável, refere-se a uma inferência dependente do raciocínio dedutivo atribuída a uma situação real. Estima-se a probabilidade de ocorrência de um dano (P) e a magnitude (G) ou gravidade do dano/risco ( $R = P \times G$ ), abrangendo valores, crenças, experiências e interesses.

Quadro 2 – Categorias de riscos ocupacionais especificadas pela NR-5 (BRASIL, 2011)

Categorias	Definição	Exemplos
I - Riscos de acidentes	É um fator de exposição do trabalhador a uma situação vulnerável, sendo passível de afetar sua integridade, e seu bem-estar físico e psíquico.	1 Máquinas e equipamentos sem proteção; 2 A probabilidade de incêndio e explosão; 3 Arranjo físico inadequado; 4 Armazenamento inadequado.
II - Riscos ergonômicos	Definido como qualquer fator ou agente capaz de afetar as características psicofisiológicas do trabalhador no seu ambiente laboral, provocando desconforto ou afetando sua saúde.	1 O levantamento de peso; 2 O ritmo excessivo de trabalho; 3 A monotonia, repetitividade; a postura inadequada no ambiente de trabalho.

III- Riscos físicos	Compreendido como qualquer fator que represente as formas de energia as quais os trabalhadores possam estar expostos, o qual possa ser capaz de provocar desconforto, alterações psicofisiológicas, ou alteração nas condições de saúde.	1 O ruído (acústica); 2 O calor, frio (térmico); 3 As radiações ionizantes e não-ionizantes; 4 A vibração (fenômenos mecânicos, ondulatórios); 5 Outros (pressão, umidade).
IV - Riscos químicos	Consideram-se agentes de risco químico as substâncias, compostos ou produtos que atinjam o trabalhador pela via respiratória, ou que seja, pela natureza da atividade, de exposição, possam ter contato ou ser absorvido pelo organismo através da pele ou por ingestão.	Os compostos que possam penetrar no organismo do trabalhador pela via respiratória, nas formas de poeiras (poeira mineral), fumos gases, neblinas, névoas e vapores.
V - Riscos biológicos	Os fatores ou agentes de risco biológico abrangem os riscos à saúde provocados pela exposição do trabalhador aos organismos hospedeiros (vetores), fauna silvestre ou animais abandonados e microorganismos parasitas e patogênicos e etc. no ambiente laboral.	Os vírus, as bactérias, protozoários, os fungos, helmintos parasitos e etc.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2 Risco Ocupacional a Poeira Mineral e Norma Regulamentadora NR-15

Os riscos químicos ocupacionais estão relacionados aos diversos fatores ambientais (estressores) encontrados nas formas sólida, líquida e gasosa, os quais podem ser classificados em: poeiras, névoas, gases, fumos, vapores, neblinas e substâncias, compostos e produtos químicos. Nesta pesquisa, tem-se especial interesse nas poeiras, que ocorrem dispersas no ar como aerossóis, sendo tal comportamento também verificado para os fatores fumos, névoas, gases e vapores.

As poeiras são as partículas sólidas originadas mecanicamente a partir da ruptura de partículas maiores, que podem ser classificadas nas categorias indicadas no Quadro 3. Observa-se a existência de uma diversidade de classes de poeiras às quais os trabalhadores ficar expostos no ambiente de trabalho, de modo que a inalação representa a principal via de exposição do organismo as poeiras minerais.

As poeiras minerais (sílica, asbesto, carvão mineral) causam efeitos adversos à saúde humana: silicose (quartzo), asbestose (amianto) e pneumoconiose de minérios de carvão (mineral). Uma outra categoria de risco abrange as poeiras vegetais produzem consequências à saúde humana, como a bissinose (algodão) e bagaçose (poeira do bagaço de cana-de-açúcar). Também, há riscos ambientais associados as poeiras alcalinas (calcário), que causam efeitos negativos à saúde humana, as doenças pulmonares obstrutivas crônicas e enfisema pulmonar.

O risco potencial tóxico de substâncias químicas, como as poeiras minerais, depende do tamanho das partículas, entre outros fatores: a concentração no ar, a quantidade de ar inalado pelo trabalhador na jornada de trabalho (índice



respiratório), do local de deposição no sistema respiratório, a sensibilidade individual, o tempo de exposição ocupacional do trabalhador a essas poeiras e o potencial tóxico da substância no organismo ou no ambiente. As poeiras incômodas são constituídas de partículas de diversas origens que ocorrem no ambiente de trabalho, cujos efeitos nocivos à saúde decorrem das interações destas com os agentes nocivos presentes no ambiente de trabalho, potencializando sua nocividade.

Nesta perspectiva, nota-se que o gerenciamento de riscos ocupacionais a exposição as poeiras deve focar na prevenção danos à saúde humana, ao meio ambiente e ao patrimônio, propondo medidas como a redução do tempo de exposição, estudo de alteração de processo de trabalho, sensibilização e treinamento dos colaboradores quanto aos riscos ambientais, fornecimento do equipamento de proteção individual (EPI) (máscara de proteção respiratória para poeira), a vigilância à saúde por meio de exames médicos periódicos, higiene pessoal (roupas de trabalho) e, em situações específicas, recomenda-se o afastamento do local de trabalho. Estas medidas contribuem para a redução da exposição laboral às poeiras minerais, embora não eliminem o risco ocupacional.

Quadro 3 – Classificação dos riscos e efeitos à saúde de acordo com a exposição ocupacional às categorias de poeira no ambiente laboral

Categories	Formas de Exposição	Produção do Couro e Poeira	Efeitos à Saúde	Prevenção e Controle
I - Poeira de couro	<p><b>1 No trabalho (ocupacional):</b> espera-se a exposição ocupacional dos trabalhadores do setor de produção de couro a diversos produtos químicos com potencial carcinogênico, com ênfase no curtimento.</p> <p><b>2 Ambiental:</b> Abrange as comunidades que residem em áreas próximas a indústria do couro, ou de influência desta atividade. Isto porque no curtimento do couro ocorrem emissões de compostos voláteis no ar que causam odores (amônia, gás sulfídrico e solventes orgânicos) que, muitas vezes, excedem as barreiras físicas das indústrias.</p>	<p>Em decorrência do processo de produção, ou de curtimento do couro, é produzida uma poeira constituída por fibras e grãos, que se mostram em dimensões perigosas ao ambiente e à saúde humana. Por sua vez, a exposição de trabalhadores a esta poeira representa um fator de risco.</p>	<p>1 A asma ocupacional (têm como sintomas a falta de ar, sensação de pressão no tórax, respiração ruidosa e tosse).</p> <p>2 Existem relatos de câncer de bexiga entre os trabalhadores da indústria do couro, que podem estar relacionados ao câncer de pulmão, cavidade oral, faringe e estômago.</p>	<p>Fornecimento do equipamento de proteção individual (EPI) como medida complementar (máscara de proteção para poeira);</p> <p>Controle rigoroso do tempo de exposição;</p> <p>Sensibilização e treinamento dos colaboradores quanto aos riscos ambientais;</p> <p>Recomenda-se a vigilância à saúde por meio de exames médicos periódicos; e</p> <p>Recomenda-se práticas de higiene pessoal.</p>
II - Poeira da madeira	<p><b>1 No trabalho (ocupacional):</b> A exposição ocupacional ao pó de madeira ocorre durante o uso de máquinas ou ferramentas para cortar ou moldar a madeira. Se inalado o pó é depositado no nariz, garganta e outras vias respiratórias.</p> <p><b>2 Ambiental:</b> A presença de poeira de madeira no ambiente nas industriais que geram, ou manipulam o pó de madeira: moveleira, marcenaria, silvicultura, construção naval, serralherias, produção de pranchas de madeira, contêineres de madeira, polpa e papel, construção civil.</p>	<p>O pó de madeira é uma mistura complexa gerada quando a madeira é processada – cortada, serrada, tomeada, perfurada ou lixada – para diversas finalidades, tais como fabrico de móveis e utensílios domésticos, extração de celulose, fabrico de postes, suportes, painéis de partículas e painéis de fibra (MDF), e mais recentemente, uso conjunto com plásticos. Sua composição química depende da espécie de árvore (celulose, polioses, lignina,)</p>	<p>A capacidade de se depositar no trato respiratório tem sido associada a diversos efeitos respiratórios alérgicos e não alérgicos (tosse seca, mal-estar, bronquite crônica, dispneia, dor torácica, rinite, asma ocupacional, alveolites, déficit da função pulmonar, dermatites, conjuntivite, cefaleia). Também, há relação entre exposição a poeira de madeira e câncer de cavidade nasal, seios paranasais, laringe, pulmão, estômago, cólon e reto, leucemia, linfomas e mieloma múltiplo.</p> <p>A quantidade de pó depositado dentro das vias aéreas depende do tamanho, forma e densidade das partículas e da força do fluxo de ar.</p>	<p>Fornecimento do equipamento de proteção individual (EPI) (máscara de proteção para poeira);</p> <p>Sensibilização e treinamento de trabalhadores;</p> <p>Limpeza das áreas que contém poeira;</p> <p>A ventilação dos locais onde há presença de poeira através de exaustores, para remoção de contaminantes do ambiente de trabalho;</p> <p>A umidificação de locais cuja quantidade de poeira seja intensa;</p> <p>Recomenda-se a vigilância à saúde por meio de exames médicos periódicos.</p>

<p>III - Poeira da sílica</p>	<p><b>1 No trabalho (ocupacional):</b> A sílica representa o maior fator de risco ocupacional em ambientes de trabalho na construção civil, indústrias de cerâmica, agricultura, metalurgia entre outros, cujos equipamentos propiciam ou não impedem a contaminação do meio com poeira de sílica.</p> <p><b>2 Ambiental:</b> A natureza da poeira de sílica propicia que a exposição ambiental ocorra pela proximidade a ambientes cuja rocha seja fraturada em pequenos pedaços (pedreiras, área de arado, construção civil, minas a céu aberto).</p>	<p>A sílica refere-se aos compostos de dióxido de silício, o mineral mais abundante na crosta terrestre, encontrado em rochas e areias. A sílica é utilizada como produto final, subproduto ou matéria-prima em vários processos industriais:</p>	<p>A exposição à sílica pode aumentar o risco de doenças autoimunes, esclerose sistêmica, artrite reumatoide, lúpus, dermatites, anemia hemolítica e vários tipos de câncer (pulmão, estômago, fígado, esôfago, pâncreas, intestino, ósseo, faríngeo, pele, cérebro e rim). O adocimento por silicose propicia o aumento do risco de câncer pulmonar e doenças autoimunes.</p>	<p>Fornecimento do equipamento de proteção individual (EPI) (máscara de proteção para poeira); Sensibilização e treinamento de trabalhadores; Eliminação da substância, a mudança de processo/operação, umidificação, ventilação, manutenção, sinalização e rotulagem, monitoramento ambiental, controle do tempo de exposição, higiene pessoal e exames médicos. Monitoramento do vento, contaminação de solo e da água subterrânea.</p>
-------------------------------	---	---	--	---

Fonte: Síntese elaborada a partir das informações disponíveis em Brasil (2019).

### 3.3 Limite de Exposição Ocupacional para a Poeira Mineral e Norma NR 15

As vias de exposição ocupacional do trabalhador a poeira mineral são a inalação, o contato com a pele, mucosas e olhos (local), pelo contato com a pele seguida de absorção cutânea e ingestão (acidental, hábitos precários de higiene ou deglutição). A exposição ocupacional pode ser classificada como de curta duração (de minutos a 24 horas), de longa duração (dias, semanas, meses, anos), ou a exposição pode ser do tipo singular (ou única). Ressalta-se que os riscos de dano ou efeito adversos à saúde variam em função de aspectos de fatores de riscos ambientais e de fatores de risco individuais (a exemplo da higiene pessoal).

Os limites de Exposição Ocupacional (LEOs) são as doses ou condições sob as quais pensa-se que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta sem sofrer efeitos adversos à sua saúde, um critério de aceitabilidade para a exposição (TRIVELATO, 1998). Outros valores de referências são os Valores Limites de Exposição (VLEs), Limites de Exposição Permitidos (PEL) e Valores Máximos Permitidos (MACs). Nesta pesquisa, tem-se um especial interesse o cálculo do Limite de Exposição Ocupacional da poeira mineral (sílica cristalina amorfa).

O anexo 12 da NR-15 (BRASIL, 1990) admite como poeira que contém sílica cristalina se possuir mais do que 1% de sílica livre cristalizada. Este percentual será obtido pela consulta da Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ), um registro elaborado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma Brasileira de número 14725-4, ou obtido por análises laboratoriais da matéria bruta ou poeira sedimentada. Um mesmo procedimento técnico-analítico-operacional poderá aplicado para as poeiras que tenham fibras de asbesto.

A análise dos teores da sílica cristalina ( $\text{SiO}_2$ ) é realizada por meio de uma amostra do ar, utilizando um cassete, com filtro de PVC, conectado a uma bomba de amostragem que puxa o ar. Em seguida, o particulado retido ao filtro de PVC é enviado ao laboratório para a análise de sílica cristalina, de maneira que a qualidade analítica pode ser obtida pelo envio da amostra para um laboratório certificado pela Associação Norte-Americana de Higiene Industrial (AIHA). A análise laboratorial da sílica cristalina será realizada por difração de Raio-X (DRX), segundo o método NIOSH 7500, ou segue o método NIOSH 7062 (espectroscopia infravermelha).

As formas de sílica cristalina de interesse para a higiene industrial são o quartzo, cristobalita e tridimita, que podem causar doenças ocupacionais (CHEN et al, 2010). Entretanto, a sílica amorfa não oferece potenciais danos ocupacionais à saúde. A difração de Raio-X (DRX) é o único método analítico disponível capaz de diferenciar as formas de sílica que trazem riscos para a saúde humana e ambiente, uma vez que a sílica amorfa não é contabilizada no resultado.

A obtenção analítica das frações das partículas da poeira se reportam a métodos distintos, contando-se apenas o cassete de face fechada, na ausência de nenhum separador de partículas, para amostragem de poeira total de acordo com o método NIOSH 0500. A amostra da fração respirável pode ser obtida com auxílio de um separador de partícula, como o ciclone de alumínio, ou ciclone de nylon, acoplado ao cassete, de acordo com o método NIOSH 0600.

A diferença entre poeira total ou poeira respirável emerge do tamanho das partículas, cujas partículas da poeira respirável têm menor tamanho e penetram pelas vias áreas até os alvéolos pulmonares. Entretanto, a categoria poeira total não é devidamente definida, sendo na prática relacionadas às partículas maiores que abrangem as partículas da poeira respirável. Segue-se para o cálculo do limite de exposição ocupacional para a poeira total ou poeira respirável, uma estimativa da aceitabilidade de riscos ocupacional, que previne danos à saúde.

O cálculo do limite de tolerância, ou limite de exposição ocupacional, para as poeiras minerais seguem o anexo 12 da NR-15, havendo limites para poeiras contendo sílica cristalina nas frações total e respirável, exigindo-se a porcentagem de sílica cristalina no ar. A obtenção do Limite de Tolerância (L.T.), ou Limite de Exposição Ocupacional para poeira contendo ou não sílica cristalina, na fração total pode ser obtida pela Equação 1. Observa-se que a NR-15 não dispõe de limite de exposição ocupacional para poeira total na CGH. Esta orienta apenas sobre os limites de exposição ocupacional para a fração inalável (PNOS) e fração respirável.

$$L.T. = 24/(\% \text{ quartzo} + 3) \text{ (mg.mc-3)} \quad \text{(Equação 1)}$$

A Equação permite o cálculo do Limite de Tolerância (L.T.) para a poeira contendo sílica cristalizada em mg/m<sup>3</sup> na fração da poeira respirável, segundo o Anexo12 da NR-15. Desta forma, a partir do percentual de sílica cristalina apontado no relatório do laboratório se obtém o L.T., o qual deve ser comparado com o

resultado da poeira com o valor encontrado. A obtenção do L.T. assegura a saúde ocupacional e auxilia na prevenção de passivos trabalhistas pela organização.

$$\text{L.T.} = 8/(\% \text{ QUARTZO} + 2) \quad (\text{Equação 2})$$

Retoma-se a relevância da Avaliação de Risco quanto processo amplamente utilizado para estimativas da magnitude do risco ocupacional de um indivíduo, grupo, sociedade e meio ambiente, servindo para a orientar a decisão se o risco seria ou não tolerável ou aceitável. Desta forma, recomenda-se que os níveis ambientais de partículas respiráveis sejam inferiores a  $3 \text{ mg.m}^{-3}$  e menores do que  $10 \text{ mg.m}^{-3}$  para as partículas inaláveis, até que seja estabelecido um limite de exposição para uma substância específica. Quando for excluído o risco relativo à sílica livre cristalina e aos asbestos, a avaliação de risco focará uma substância específica, a exemplo do limite de tolerância para a poeira mineral de manganês que equivale a  $5 \text{ mg.m}^{-3}$ .

A American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), associação privada de profissionais de higiene ocupacional e outros afins, com sede nos Estados Unidos da América, recomenda que as partículas insolúveis ou fracamente solúveis, ainda que inertes, representam fatores de riscos de exposição ocupacional e possam causar efeitos adversos à saúde humana. Neste contexto, os limites de tolerância de fatores de risco ocupacional, como as poeiras, definidos pela NR-15 tiveram origem em publicações da ACGIH, no ano de 1976. Entretanto, a NR-15 não tem acompanhado as pesquisas de novas substâncias químicas e seus respectivos limites. Por est razão, a NR-09 (BRASIL, 2014) estabeleceu que na ausência de limites de exposição ocupacional na NR-15 deve-se utilizar os LEOs da ACGIH para elaboração do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais).

Se a análise de sílica livre cristalizada para uma amostra de poeira mineral não detectar a sílica livre cristalizada, para o enquadramento desta como PNOS (partículas não especificadas de outra maneira), segundo a ACGIH deve-se observar os seguintes critérios: i) substâncias que não têm outro TLV (Threshold Limit Values) aplicável; ii) insolúveis ou fracamente solúveis em água e nos fluidos corpóreos; iii) apresentam uma baixa toxicidade.

A sílica cristalina é uma substância carcinogênica, capaz de provocar a silicose, que é uma fibrose pulmonar, a tuberculose e enfermidades auto-imunes, sendo considerado um dos agentes químicos mais perigoso à saúde do trabalhador (ANALYTICS BRASIL, 2019). Por sua vez, a análise química de sílica cristalina deve

ser realizada para a prevenção de doenças ocupacionais, a exemplo da silicose, a qual é considerada no Brasil uma doença ocupacional. A análise da sílica cristalina aponta o quanto do agente químico está presente no ar e permite uma avaliação do risco do trabalhador aos limites aceitáveis ou não de exposição ocupacional.

### **3.4 Prevenção de doenças ocupacionais causadas pela poeira mineral (sílica amorfa)**

O Quadro 4 mostra as doenças ocupacionais relacionadas a exposição aos agentes de riscos químicos, a dermatose ocupacional, câncer, doenças respiratórias e problemas de visão. Uma doença ocupacional é toda e qualquer disfunção no corpo causada pelas modificações nas condições de saúde de qualquer empregado, em qualquer setor de serviço, a qual sempre está relacionada ao tipo de função que o trabalhador exerce (ANALYTICS BRASIL, 2019).

As doenças ocupacionais causadas pela exposição do trabalhador a agentes químicos de risco se manifestam amiúde no sistema respiratório ou na pele, ocorrem de diversas maneiras, podem demorar anos para apresentarem (silicose) e são passíveis de prevenção. Ressalta-se que as doenças ocupacionais decorrem da exposição do trabalhador a agentes prejudiciais à saúde na ausência de EPIs, ou em níveis acima dos tolerados pela legislação para um intervalo de tempo. As doenças ocupacionais têm natureza distinta dos acidentes de trabalho, mas são equiparadas aos acidentes para fins legais, e geram os mesmos direitos.

Quadro 4 – Doenças ocupacionais, agentes de riscos químicos e aspectos característicos

Doenças Ocupacionais	Agentes Químicos Causadores	Aspectos Característicos
Dermatose ocupacional	A exposição prolongada a agentes nocivos químicos, físicos ou biológicos pode afetar o trabalhador. Alta luminosidade ou radiação podem provocar a dermatose ocupacional.	Manifestação dérmicas por meio da formação de bolhas, coceiras, inflamações e descamação da pele (dermatose).
Câncer	Apesar de ser uma doença que afeta grande parte da população, o que muitos não sabem é que um câncer pode ser desenvolvido em ambientes de trabalho.	Tumores de pulmão, pele, fígado, bexiga, laringe e até leucemia podem estar ligados às condições laborais dos operários. Há uma gama de possibilidades quanto às causas, mas destacam-se a exposição diária a agentes químicos cancerígenos (níquel, cromo, urânio e vinil).
Doenças respiratórias	Tratam-se das doenças ocupacionais mais frequentes, uma vez que diversos fatores de risco podem contribuir para o aparecimento de problemas respiratórias.	A inalação de agentes químicos tóxicos por longos períodos pode resultar em uma alergia crônica, e ainda causar a obstrução das vias respiratórias do colaborador. A asbestose é uma doença ocupacional frequente em trabalhadores que aspiram poeiras com amianto.
Problemas de visão	Dependendo da atividade exercida pelo trabalhador seus olhos podem estar vulneráveis a vários riscos. A exposição a agentes físicos e mecânicos costuma ser bem conhecida, mas devemos nos atentar aos agentes químicos.	Essas doenças podem se tornar perceptíveis quando o funcionário começa a sentir leves desconfortos nos olhos, e progredir para transtornos graves (catarata, cegueira).

Fonte: Elaboração própria.

A realização periódica de sensibilização e treinamento, exames médicos e análises de poeiras minerais contendo sílica respirável, em contextos laborais cujos trabalhadores estejam expostos a riscos quanto a sílica cristalina na fração respirável evitam doenças ocupacionais. Segundo Souza e Quelhas (2003), o Brasil situa-se entre os países que mais pagam indenização trabalhista relacionada a danos à saúde devido a exposição ocupacional à sílica. Neste âmbito, a promoção da saúde ocupacional e prevenção de danos contempla a mudança na cultura organizacional, gerenciamento de riscos, avaliação de riscos, investimento de tecnologias de controle da sílica respirável, sistemas de ventilação, exaustão, umidificação, compartimentalização ou mudanças nos processos industriais que geram sílica respirável e uso de EPIs, ainda que por curtos períodos de tempo.

#### 4. CONCLUSÃO

As doenças ocupacionais relacionadas a exposição às poeiras minerais, principalmente da fração respirável contendo sílica cristalina, no contexto da Higiene Industrial, podem ser prevenidas desde que as organizações estimulem práticas de segurança, realizem exames médicos dos trabalhadores e análises químicas no ar para o gerenciamento dos riscos de exposição de agentes químicos, das poeiras minerais contendo sílica cristalina. Para tanto, pode ser incentivada a mudança de

cultura organizacional e investimentos em tecnologias mais limpas de controle da sílica respirável, uso de EPIs e no aprimoramento de Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), ou Programa de Prevenção dos Riscos Ambientais (PPRA), para a proteção da saúde e prevenção de prejuízos, com base na NR-09 (BRASIL, 2014).

A realização da Avaliação de Risco permite a obtenção de estimativas da magnitude do risco ocupacional de um indivíduo, grupo e meio ambiente, bem como orienta a tomada de decisão quanto a aceitabilidade, controle e gerenciamento do risco ocupacional a exposição a sílica cristalina. Por sua vez, destaca-se a relevância da obtenção do limite de tolerância à saúde ocupacional e integridade física dos colaboradores, ou para evitar o pagamento de indenizações e multas.

Nesta pesquisa foi verificado que a emergência das questões socioambientais e econômicas relacionadas ao gerenciamento dos riscos de exposição ocupacional das poeiras minerais exige a ampliação do conhecimento sobre a problemática socioambiental e médica ocupacional das poeiras minerais de origem antrópica, que abrangem investimento em pesquisas científicas para atualização dos limites de tolerância preconizados e atualizações periódicas da NR-15 quanto aos agentes químicos de risco, em tecnologias mais limpas, monitoramento dos teores de sílica no ar para o controle dos riscos e mitigação dos impactos ambientais negativos.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTE n.º 3.751, de 11 de novembro de 1990. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Atualização portaria SIT n.º 203, 2011. NR-15: Atividades e Operações Insalubres. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 26.11.1990.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria SIT n.º 247, de 12 de julho de 2011. NR-5: Comissão Interna de Prevenção de Acidentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 14.06. 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho (BR). Portaria MTE n.º 1.471, de 24 de setembro de 2014. NR-9: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 25.09.2014.

BRASIL. Ministério da Saúde do Brasil. Instituto Nacional do Câncer - INCA. Exposição no trabalho e no ambiente Poeiras. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poeiras/poeira-de-couro>. Acesso em: 25.04.2019.

CHEN, Ching-Hwa et al. Effects of uniformities of deposition of respirable particles on filters on determining their quartz contents by using the direct on-filter X-ray diffraction (DOF XRD) method. **Journal of hazardous materials**, v. 176, n. 1-3, p. 389-394, 2010.

MENDES, René. Patologia do trabalho. In: **Patologia do trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods, Method 7602: Silica, Crystalline, by IR. 2ª ed. Cincinnati, OH, 1994.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods, Method 0600: Particulates not otherwise regulated, Respirable. 3ª ed. Cincinnati, OH, 1998.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods, Method 7500: Silica, Crystalline, by XRD. 4ª ed. Cincinnati, OH, 2003.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods, Method 0500: Particulates not otherwise regulated, Total. 2ª ed. Cincinnati, OH, 2009.

RODRICKS, J. V.; TARDIFF. Assessment and management of chemical risks. **Washington DC: American Chemical Society**, 1984.

SELINUS, O. et al. Terra e Saúde: construir um ambiente mais seguro. **Earth Science for Society Foundation–Portuguese Edition (UNESCO National Commission brochure)**, 2007.

SISINNO, Cristina Lucia Silveira; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. **Princípios de Toxicologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. SOUZA, Vladimir Ferreira de;

QUELHAS, Osvaldo Luís Gonçalves. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, p. 801-807, 2003.

TRIVELLATO, G. C. Metodologias de reconhecimento e avaliação qualitativa de riscos ocupacionais. **São Paulo: Fundacentro**, 1998.