

TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM PARA POEIRA RESPIRÁVEL COM SÍLICA EM ARMAZÉNS

SAMPLING TECHNIQUES FOR RESPIRABLE SILICA DUST IN WAREHOUSES

TÉCNICAS DE MUESTREO PARA POLVO RESPIRABLE CON SÍLICE EN ALMACENES

Elisangela Apolinario Kuchnir¹
Letícia Leonardi Pedrosa²
Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho³

Resumo

As doenças causadas pela sílica em trabalhadores expostos ao agente, são uma preocupação desde o seu conhecimento ainda no século XIX, quando começou-se a questionar problemas respiratórios seguidos por alergia, tosse crônica, dificuldades respiratórias ao mínimo esforço e até a silicose propriamente dita em casos mais graves. O câncer não era uma doença tão conhecida, mas a medicina já observava que era uma doença incurável. Formas de prevenção e de medida da poeira com sílica, foram sendo desenvolvidas com o passar dos anos. Uma cobrança constante pela ciência, a fim de minimizar os efeitos a saúde. Portarias foram desenvolvidas acondicionando o trabalho exposto a sílica como insalubre. Entidades como a Fundacentro, Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais, NIOSH, ACGIH, criaram normas técnicas para medir a sílica, condutas de trabalho com uso de EPI e limites de tolerância para a exposição a poeira. Equipamentos e métodos foram desenvolvidos, sendo cada vez mais precisos a quantificação da sílica e obtenção de custos menores em relação a análise, atingindo um público cada vez maior. Equipamentos laboratoriais usados pelos métodos que a NIOSH recomenda para a análise em laboratório, buscam precisão na identificação da sílica. A NHO 08 traz a metodologia de como realizar a avaliação a campo. Assim, o presente estudo focou em um levantamento bibliográfico nas principais revistas científicas, livros e normas técnicas da área desde 1997. O trabalho apresentará ainda técnicas mais atualizadas para análise, buscando sempre a precisão nos resultados, acessibilidade, econômica e sustentável.

Palavras-chave: sílica; métodos; difração de raios-x; espectroscópico; NIOSH.

Abstract

The diseases caused by silica in workers exposed to the agent have been a concern since they first became known in the 19th century, when people began to question respiratory problems followed by allergies, chronic coughs, breathing difficulties on the slightest exertion and even silicosis itself in more serious cases. Cancer wasn't well known, but medicine had already noticed that it was an incurable disease. Ways of preventing and measuring silica dust have been developed over the years. There was a constant demand from science to minimize the effects on health. Ordinances have been developed to classify work exposed to silica as unhealthy. Organizations such as Fundacentro, the Brazilian Association of Occupational Hygienists, NIOSH, ACGIH, have created technical standards for measuring silica, work conduct with the use of PPE and tolerance limits for exposure to dust. Equipment and methods have been developed, making it increasingly accurate to quantify silica and obtaining lower costs in relation to the analysis, reaching an ever-wider audience. Laboratory equipment used by the methods that NIOSH recommends for laboratory analysis seeks precision in the identification of silica. NHO 08 provides the methodology for carrying out field evaluation. This study therefore focused on a bibliographic survey of the main scientific journals, books and technical standards in the field since 1997. The work will also present the most up-to-date techniques for analysis, always seeking precision in the results, accessibility, affordability and sustainability.

Keywords: silica; methods; x-ray diffraction; spectroscopic; NIOSH.

¹ Acadêmica no curso de bacharelado em Química no Centro Universitário Internacional (UNINTER).

² Professora no Centro Universitário Internacional (UNINTER).

³ Professor no Centro Universitário Internacional (UNINTER).

Resumen

Las enfermedades causadas por sílice en trabajadores expuestos al agente son una preocupación desde su conocimiento, aun en el siglo XIX, cuando se empezó a cuestionar problemas respiratorios seguidos por alergia, tos crónica, dificultad para respirar con el mínimo esfuerzo e incluso la silicosis propiamente dicha en casos más graves. El cáncer no era una enfermedad tan conocida, pero la medicina ya observaba que era una enfermedad incurable. Formas de prevención y medición del polvo con sílice se han desarrollado, a lo largo de los años, una constante demanda por la ciencia, con el fin de minimizar los efectos sobre la salud. Las órdenes fueron desarrolladas, acondicionando el trabajo expuesto a sílice como insalubre. Entidades como la Fundacentro, Asociación Brasileña de Higienistas Ocupacionales, NIOSH, ACGIH, han creado normas técnicas para medir sílice, conductos de trabajo con uso de EPI y límites de tolerancia para la exposición al polvo. Se han desarrollado equipos y métodos, siendo cada vez más precisos la cuantificación de sílice y obtener menores costos en relación con el análisis, alcanzando un público cada vez mayor. El equipo de laboratorio utilizado por los métodos que NIOSH recomienda para el análisis en laboratorio, busca precisión en la identificación de sílice. La NHO 08 trae la metodología de cómo realizar la evaluación en el campo. Así, el presente estudio se centró en un levantamiento bibliográfico en las principales revistas científicas, libros y normas técnicas del área desde 1997. El trabajo presentará aún más técnicas actualizadas para análisis, buscando siempre la precisión en los resultados, accesibilidad, económica y sostenible.

Palabras clave: sílice; métodos; difracción de rayos X; espectroscopia; NIOSH.

1 Introdução

No século XIX no Brasil houve as primeiras repercussões sobre a exposição de trabalhadores a sílica, causando a silicose nos pulmões dos trabalhadores. Em 1997 foi incluída como atividade especial para fins de aposentadoria. Considerou-se a silicose como doença ocupacional e foi incluída na Portaria MS 1339 de 1999 onde lista as doenças relacionadas ao trabalho (Ribeiro, 2010).

Devido a esta preocupação com a saúde do trabalhador em sua atividade laboral, buscou-se analisar como são utilizadas as técnicas para medir a poeira com sílica livre cristalina nos armazéns de grãos, e conhecer atualmente qual a técnica mais usada em laboratório para análise, citando qual a diferença entre as técnicas usadas no passado e ainda como deve ser realizada a coleta da poeira com sílica livre cristalina, a fim de buscar soluções para minimizar os danos à saúde dos trabalhadores no recebimento de grãos nos armazéns, onde o trabalhador está exposto ao analito.

A proposta tem o intuito de esclarecer, reconhecer e aprofundar conhecimento na área da análise química da poeira respirável contendo sílica, presente em armazéns. A partir dos resultados obtidos será possível comparar recomendações técnicas, pautadas em normas e procedimentos empregados no ambiente fabril. Além disso, a busca por métodos de análises acessíveis, econômicas, sustentáveis e eficientes se tornam fundamentais para que seja atingido resultados satisfatórios, a fim de minimizar os dados relacionados a doenças causadas pela exposição ao analito.

O objetivo geral pretende identificar as técnicas mais utilizadas para análise da sílica, bem como a forma correta de coleta de amostragem e a busca por novos métodos de análise

atualizadas, pautadas nas normas fundamentadas de orientação como a Fundacentro, Normas de Higiene Ocupacional – NHO e NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).

Ainda em relação aos objetivos específicos do estudo, pretende-se analisar os estudos experimentais disponíveis na literatura para realizar a coleta da sílica, seguida da verificação laboratorial, bem como os materiais utilizados *in loco*. Além disso, será compreendido o funcionamento do processo de análise, ou seja, quais as etapas a serem desenvolvidas para avaliar a amostra após a chegada no laboratório. Identificar quais os equipamentos e técnicas atuais amplamente utilizadas para realizar a análise da sílica.

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho é a pesquisa bibliográfica a partir de publicações datadas entre 1997 e 2022, que corroborem na elaboração de metodologias específicas para o levantamento de amostras. Posteriormente, tais métodos e tecnologias analisadas serão capazes de identificar o agente de forma acessível, econômica e sustentável. E, por meio dos conhecimentos obtidos, poder contribuir para um trabalho de melhor qualidade na área da química junto com o agronegócio no recebimento de grãos.

2 Metodologia

O presente estudo objetivou a realização de uma pesquisa bibliográfica, utilizando artigos publicados na área da Química Analítica Qualitativa, sobre o desenvolvimento de técnicas para medir a poeira com sílica livre em armazéns a partir do ano de 1997, em artigos, normas e publicações em revistas nacionais e internacionais da área. A pesquisa foi desenvolvida durante o ano de 2023 até 2024.

Primeiramente foi utilizado buscas em sites e plataformas confiáveis referente ao assunto para trazer definições claras e objetivas em relação à pesquisa para assim obter métodos reconhecidos e de acordo com os procedimentos técnicos. Sendo assim, foi realizado o trabalho utilizando a plataforma: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, Fundacentro, as quais possuem artigos, normas, procedimentos técnicos e publicações que são reconhecidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Os métodos de avaliação como a NHO (Normas de Higiene Ocupacional) e NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) também foram consultados para seguir a orientação por elas fornecidas para compreender o funcionamento do processo de coleta e análise da amostragem.

Sendo assim, a próxima etapa do trabalho foi a seleção dos artigos e livros que corroboram para o desenvolvimento da pesquisa, procurando envolver quais as técnicas e instrumentos laboratoriais indicados para realizar a medição da poeira com sílica livre cristalina no ambiente de trabalho em armazéns de grãos, caracterizando o processo como análise química quantitativa.

3 Fundamentação teórica e desenvolvimento

3.1 Sílica: características e legislação

A poeira é considerada partícula sólida pequena e seca, normalmente de tamanhos de 1 μm (micra) a 100 μm de diâmetro, onde as partículas são lançadas ao ar por condições naturais, mecânicas, moagem, transporte, demolição, trituração, entre outras formas.

Para riscos de exposição ocupacional, a poeira é dividida em frações inalável, torácica e respirável (Atlas, 2014). A parte de fração inalável compreende uma faixa de partículas inferior a 100 μm , a qual atinge apenas a parte interna do nariz e a boca. As partículas de fração torácica consideradas menor que 30 μm a 10 μm acaba atingindo as vias superiores do pulmão. E as poeiras de fração respirável compreendem partículas de tamanho inferior a 10 μm , onde estas podem vir a penetrar muito além dos terminais brônquicos chegando ao alcance da zona de troca gasosa nos pulmões (Buschinelli, 2011).

A sílica é encontrada em inúmeros ambientes, sendo na sua forma constituinte de poeira, como agente contaminante. O termo sílica é referido a compostos de dióxido de silício (SiO_2), formado por dois átomos de oxigênio e um átomo de silício, encontrado na forma de sílica cristalina, vítreas e amorfas. Estudos mostram que esse tipo de mineral se deu origem durante várias eras geológicas. Aproximadamente a sílica e seus compostos constituem 60% do planeta (Ribeiro, 2010).

A sílica cristalina tem o formato de uma estrutura que regularmente se repete, ou seja, uma estrutura cristalina, sendo essa a maior causadora de problemas respiratórios no homem. A mais conhecida é o quartzo, que se encontra em maior abundância em vários tipos de rocha, na areia e é componente básico no solo, mas também temos a cristobalita e a tridimita (Ribeiro, 2010).

O que difere uma das outras é o arranjo tridimensional dos átomos de silício e oxigênio e sua toxicidade, sendo considerada a cristobalita muito mais tóxica que o quartzo, porém sua quantidade encontrada durante a exposição é muito baixa, com isso o limite de tolerância permanece o mesmo que o quartzo na ACGIH de 0,025mg/m³ em fração respirável.

Tendo como base o ponto de vista da legislação trabalhista, segundo a NR 7 portaria nº 3214/, a sílica é considerada uma poeira fibrogênica, ou seja, causa fibrose nos pulmões. Em

1996 ela foi considerada como carcinogênica para humanos pelo IARC (International Agency for Research on Câncer) Agência Nacional de Pesquisa em Câncer.

A sílica livre cristalina quando utilizada para fins de Laudo Técnico das Condições de Trabalho (LTCAT), foi enquadrada como qualitativa até 05 de março de 1997 e a partir de 06 de março de 1997 a 07 de outubro de 2014 a sílica livre enquadrou-se como quantitativa. Nos tempos atuais se usa a forma qualitativa para relacionar a condição em especial para fins de aposentadoria. Para monitoramento do ambiente de trabalho usa-se a forma quantitativa. Vale lembrar que as doenças causadas pelo mineral sílica ocorre de forma lenta, com período de latência de 10 anos para começar a desenvolver, porém são graves e incuráveis.

Inserida no anexo 12 da NR 15 em 1992, a sílica livre cristalina é medida na fração total ou respirável. A ACGIH (do inglês, Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais), considera a concentração limite de tolerância de sílica livre cristalina no ambiente em 0,025 mg/m³. Já o valor de 4,00 mg/m³ como limite de tolerância para poeira total respirável. Valores estes obtidos por meio de métodos e técnicas de amostragem, seguindo a NHO 08 da Fundacentro – norma de higiene ocupacional, com procedimento se dar a partir da coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho e as NIOSH 7500 que é realizada por difração de raios-x e 7602 por espectroscopia de infravermelho (IR) e 7601 por espectrofotometria de absorção no visível. O método NIOSH 0600 por gravimetria é utilizado para mensurar o total de poeiras respiráveis.

O trabalho realizado em silos de armazenamento, constantemente é monitorado para mensurar as condições de trabalho a que os trabalhadores estão expostos em contato com a sílica livre cristalina, por meio do recebimento, limpeza e expedição de grãos. Durante este processo de trabalho, o atrito e velocidade no qual os grãos são conduzidos entre moegas, elevadores e pré-limpeza acabam dissolvendo mais as partículas de poeira e conseqüentemente a sílica, favorecendo a introdução dela ao trato respiratório alveolar devido a facilidade de suspensão no ar.

Quando as condições de ventilação, colheita de grãos não favoráveis devido à falta de chuva ou irrigação nas lavouras e a falta de exaustores, bem como o uso inadequado de EPI como a máscara semifacial de proteção PFF2, é possível aumentar e muito os problemas respiratórios, a incidência de câncer e alergias nos trabalhadores expostos a estas condições de trabalho e conseqüentemente o desenvolvimento da silicose.

Para realizar um trabalho de melhoria nesse setor, além de questões agrícolas, o monitoramento da poeira por meio da química quantitativa, traz métodos capazes de demonstrar

a quantidade de concentração durante as atividades realizadas. Os métodos vão variar de acordo com os equipamentos que o laboratório disponibiliza, de acordo com o laboratório contratado.

A difração de raios-x foi descoberta em 1895 pelo engenheiro e físico alemão por Wilhelm Conrad Roentgen durante a observação de uma fluorescência de uma chapa de platinocianeto de bário que acidentalmente foi exposta a radiação de um tubo de Crookes ou tubo de Hittorf. Ele observou que a propagação era em linha reta, possível de penetrar em espessuras maiores, além de haver diferença de penetração de acordo com a intensidade do material e produzia fluorescência em vários substratos.

Em 1912, a pesquisa desenvolvida por Von Laue, originou novas possibilidades para o estudo das estruturas cristalinas, onde, de forma simplificada, métodos que usavam raios-x para passar por meio de objetos formando imagens, foi possível observar que estes eram difratados por cristais, de característica única e assim de forma promissora estudar estruturas de fases cristalinas.

O estado cristalino por estar em seu estado sólido, possui forma e volume definido, pois as forças atrativas entre as partículas são muito fortes e ultrapassam a barreira da movimentação térmica. Como as partículas são átomos, íons ou moléculas, as forças atrativas são eletrostáticas devido a ligação química ou interação intermolecular, levando a estabilização da substância. Os silicatos apresentam ligações iônicas e covalentes na sua estrutura, se apresentando de forma variada aos arranjos espaciais e com isso originar formas ordenadas ou desordenadas.

Quando existe uma ordem de repetição periódica, chamamos de sólido cristalino e do contrário sólido amorfo. O Óxido de Silício (SiO_2) é um exemplo de sólido cristalino. O sólido amorfo é representado pelo vidro.

3.2 Técnicas de caracterização da sílica

A difração por raios-x tem a capacidade de diferenciar o que é quartzo, cristobalita e tridimita. Esse método possui uma vantagem de possuir um limite de quantificação baixo de 5 microgramas e separação de grande maioria de interferentes, possível de fazer uma identificação mais acurada e certa. Como é um método mais confiável e indicado para análise, precisa-se seguir alguns padrões e recomendações, o que acaba se tornando um custo alto (Magalhães, 2014).

O método NIOSH 7500 é o utilizado para sílica cristalina por difração de raios-x com deposição do particulado sob uma membrana de acetato misto de celulose pela dispersão deste em água deionizada e filtração a vácuo. Com isso, a liberação do particulado da membrana de PVC ocorre pela calcinação a 800°C na mufla por 01 hora. Após o particulado é depositado em

membrana ou filtro de prata para difração de raio-x, validada pela NIOSH 7500, o qual determina esta exigência de filtro e configuração mínima dos equipamentos necessários para realização da análise (Magalhães, 2018). Após ser medido a difração de raios-x e a dispersão de raios x, um software aplica a leitura e faz a descrição dos resultados da análise (Silva, 2020).

O método NIOSH 7602 Espectroscopia de Infravermelho (IR) não é tão seletivo como a difração por raio-x, automaticamente se torna um valor de custo duas vezes menor que a difração de raio-x. Nesse método utiliza-se o cassete com filtro de membrana PVC (policloreto de vinila) para realizar a coleta da poeira que possa conter sílica livre. O cassete é pré pesado e preparado conforme a Norma de Higiene Ocupacional 03 – Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Sólidos Coletados em Filtros de Membrana (2001).

A sensibilidade da análise nesse método, diminui de acordo com o tamanho do particulado, por isso na calibração do equipamento, a distribuição do tamanho da partícula deve atender rigorosamente o tamanho do particulado retido na amostra coletada. A técnica por método infravermelho na análise de amostras de sílica, mede a interação entre os átomos de silício e oxigênio, porém não distingue se o material é cristalino ou amorfa, resultando em uma análise da quantidade de particulado total não discriminado.

A espectroscopia de infravermelho é baseada no fato de que grande maioria das moléculas absorvem luz na região infravermelha do espectro eletromagnético e as converte em vibração molecular. Isso é uma característica da natureza das ligações químicas que estão presentes na amostra (Mendham *et al.*, 2002).

No equipamento espectrômetro, essa absorção será medida em relação ao comprimento de onda. No final da análise, o espectrômetro de infravermelho gera um gráfico que relaciona a intensidade das bandas de absorção de acordo como número de onda correspondente e com isso como cada ligação química possui sua característica intrínseca, cada grupo funcional pode ser observado, permitindo assim a identificação ou presença destes na estrutura molecular.

O método NIOSH 7601 por espectrofotometria de absorção no visível se aproxima das desvantagens como a espectrofotometria do infravermelho pois não distingue os polímeros. A técnica analítica de espectrofotometria mede a quantidade de luz absorvida por determinada substância química, técnica está muito utilizada para determinar concentrações de soluções.

O espectrofotômetro permite com que se consiga realização de medidas precisas de absorvância ou transmitância em diferentes comprimentos de onda independente da região visível como na ultravioleta do espectro eletromagnético. Ocorre dessa forma devido a muitas substâncias possuírem características de absorção muito específicas em determinados

comprimentos de onda, utilizando essas características para identificar e quantificar as substâncias que estão presentes em determinada amostra (D'oca, 2021).

Esse método permite determinar a concentração de determinada substância por meio da Lei de Beer – Lambert, o qual estabelece uma relação linear entre absorvância, concentração da solução e comprimento de onda de luz utilizada.

O espectrofotômetro mede a absorção de luz em determinada faixa de comprimento de onda específica, onde o instrumento consiste basicamente em uma fonte de luz, um monocromador e um detector. A fonte de luz irá emitir luz de comprimento de onda conhecido ou faixa de comprimento de onda, onde é passado por meio da amostra e o detector mede a quantidade de luz que é absorvida por esta amostra (Lacerda Junior, 2018).

Por meio desse instrumento é possível realizar a determinação de concentração, pureza da amostra, identificar compostos, estudos de ligação molecular, controle de qualidade, estudos ambientais, pesquisa e desenvolvimento.

A fonte de luz emite uma radiação eletromagnética na faixa de comprimentos de onda, podendo ser por lâmpada de deutério na faixa UV e lâmpada de tungstênio para a faixa VIS. O monocromador recebe a radiação eletromagnética que foi emitida pela fonte de luz. Ele é um dispositivo óptico responsável por separa a luz em diferentes comprimentos de onda o qual permite selecionar uma faixa específica de comprimento de onda para análise (Mendham *et al.*, 2002).

A amostra para ser analisada é colocada em cubeta de quartzo ou vidro especial transparente para a radiação ultravioleta e visível. Após a radiação passar pelo monocromador a luz é direcionada por meio da amostra e o detector mede a intensidade de luz que passa por entre a amostra em função do comprimento de onda (Vasconcelos, 2019).

O sinal do detector funciona de forma eletrônica e calcula a absorvância ou transmitância da amostra, em específico comprimento de onda e assim pode-se determinar a absorvância comparando a intensidade de luz incidente pela intensidade de luz que passa pela amostra e a transmitância determina-se pela razão entre a intensidade de luz, que passa por meio da amostra pela luz incidente.

Após esse processo, os resultados da análise em questão são exibidos no visor do espectrofotômetro em forma de espectro de absorvância ou de transmitância de acordo com o comprimento de onda, podendo ser utilizado os dados para identificar substâncias, quantificar concentrações e reações químicas (Mendham *et al.*, 2002).

Independente do processo utilizado para análise, o material ou equipamentos são específicos para que possa ser coleta o material para análise, sendo o material que será contido os particulados, tendo uma preparação prévia dentro do laboratório antes de ser enviado o

amostrador para uso a campo, que deve estar livre de qualquer tipo de contaminação. O laboratório deve ser credenciado para o fornecimento de cassetes pré-pesados e para a análise das amostras, ou seja, a determinação da quantidade de poeira que foi recolhida no filtro e assim determinação da quantidade de sílica cristalina ou outros particulados captados.

Normalmente os laboratórios encaminham para o técnico responsável pela coleta planilhas com todos os dados necessários, o chamado plano de amostragem. Nele é possível verificar informações como método de análise, tempo de coleta, vazão a ser calibrado o equipamento a ser usado, enfim, todas as informações necessárias para que seja realizada uma coleta seguindo os padrões técnicos conforme as normas de Higiene Ocupacional. E após coleta deve-se anotar na planilha de relatório temporário, as informações pertinentes a coleta da amostra para envio desta ao laboratório, para enfim, realizar a análise e ver a determinação dos resultados por ela coletados.

3.3 Realização das amostragens da poeira

Para realizar a amostragem de poeira respirável são necessários os seguintes materiais: cassetes, suporte de filtros, filtros, separador de partículas, bomba de amostragem, mangueira e calibrador de vazão (Souza; Quelhas, 2003).

O cassete é de plástico pré-montado com filtro de cloreto de polivinila (PVC), pré-pesado de 37 mm, com tamanho de poro de 0,5 micrômetros. Para apoiar o filtro de PVC é utilizado um suporte de papelão dentro do cassete. Tampões também são usados para vedar os orifícios de entrada e saída do fluxo de ar após a coleta. O cassete também pode ser de duas ou três seções, sendo o de três seções o mais utilizado para coletas de fração respirável (Souza; Quelhas, 2003). Existe uma parte ou tampa ranhurada na montagem do cassete, o qual indica que nessa parte, sempre deverá ser conectada ao tubo (mangueira) da bomba de amostragem.

Com a intensão da coleta ser para análise de quantidade de sílica ou não encontrada no ambiente de trabalho, sendo o interesse em partículas menores de 10 micra, é necessário o uso de um separador de partículas, o chamado ciclone. Estes separam as partículas dentro de uma faixa de tamanho pré-determinada.

O funcionamento do ciclone pode lembrar o movimento de uma centrífuga, pois a rápida circulação de ar dentro da câmara acaba separando as partículas de poeira de acordo com o diâmetro aerodinâmico equivalente. Assim as partículas menores de poeira respirável são depositadas no filtro na parte superior, enquanto as partículas maiores na centrifugação se alojam na parte inferior do ciclone, recolhidas em um recipiente acoplado deste (Metz, 2016).

Os ciclones mais utilizados são os ciclones de alumínio e o de nylon. Existem outros modelos, mas não comumente usados como o Dorr-Oliver e o ciclone HD (Higgins Dewell), devido a seu valor e não praticidade (Magalhães, 2014).

Para cassete de 3 secções usa-se o ciclone de alumínio, removendo a tampa superior do cassete, parte não ranhurada que será a entrada de ar, e acoplando o ciclone no encaixe. O fluxo ideal de ar da bomba de amostragem para este tipo de ciclone é de 2,5L/min. Após feita a montagem e calibração do instrumento a bomba de amostragem é fixada na cintura do trabalhador e o cassete posicionado no colarinho do trabalhador, na zona de respiração (Carvalho, 2018). Para o ciclone de nylon é usado o cassete de 2 secções ou 3 secções devendo sempre respeitar a zona de entrada de ar na montagem. Para este ciclone a vazão ideal é de 1,7L/min (Carvalho, 2018).

A bomba de amostragem é um dispositivo portátil e faz a aspiração do ar por meio de um tubo flexível até o cassete, sua vazão é pré-determinada por meio de um calibrador de fluxo. Atualmente as bombas possuem características de compensação do fluxo de ar e assim manter a taxa de fluxo desejada durante a coleta, mesmo com carga de pó no filtro aumentada (Carvalho, 2018).

O volume de ar amostrado segue orientações conforme a NIOSH 7500, 7601 e 7602 que determina a quantidade de mínimo 400 litros e máximo 1000 litros. O cálculo de tempo deve ser feito de acordo com o tipo de ciclone que determinará a vazão a ser usada (Santos, *et al.* 2009).

Sobre o limite de tolerância para poeira respirável e sílica cristalina a NR 15 estabelece a fórmula em seu Anexo 12, seguindo o limite recomendado pela ACGIH que é de 0,025mg/m³. No laboratório o filtro pré-pesado é pesado novamente quando retornado após a coleta para conhecer o peso da amostra coletada (Vendrame, 2011).

3.4 Poeira de sílica no ambiente: como tratar?

Assim, seguindo as normas técnicas e fórmulas conforme a NR 15, é possível fazer o reconhecimento da presença da sílica livre cristalina conforme equipamento/método utilizado pelo laboratório e obter o resultado da coleta a campo na atividade de exposição. Com o laudo gerado o técnico ou engenheiro responsável na empresa consegue identificar EPIs, EPCs para uso que venham minimizar os danos que possam causar na saúde do trabalhador. Também, com a ajuda de suporte de treinamentos, conscientizar a conduta adequada de uso de EPI.

Quanto ao ambiente no local de trabalho, procurar manter o mesmo o mais arejado possível, evitando obstruir portas ou janelas e corredores, mantendo os mesmos, livres para

circulação do ar. A utilização de exaustores nesses locais com coleta de poeira em um sistema fechado, para depois descarte em local seguro e adequado também deve ser considerada.

Quanto a empresa, é de suma importância buscar a realização do monitoramento da exposição da poeira no ambiente de trabalho, independentemente do método utilizado, seja ele por difração de raios-x, espectroscopia por infravermelho ou espectrofotometria de absorção no visível. Considerando sempre a condição financeira de cada empresa, o custo da análise pode ser pesquisado e contratado conforme o método utilizado pelo laboratório credenciado.

4 Considerações finais

Durante o desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se que na década de 90 a exposição a sílica foi considerada como trabalho insalubre e pode ser ainda avaliada para aposentadoria especial de forma qualitativa e não somente quantitativa.

Nas atividades de recebimento, limpeza, classificação e expedição de grãos nos armazéns, as empresas precisam se adequar as normas técnicas e métodos de controle e prevenção, para minimizar os efeitos do agente sílica a saúde do trabalhador, realizando para isso medições periódicas da poeira gerada pelo trabalho de armazenamento de grãos e buscar formas legais de, caso a sílica estar presente no ambiente de forma próxima ou acima dos limites de tolerância, minimizar a exposição do trabalhador.

Obviamente, a sílica não se torna um problema apenas das empresas receptoras de grãos, que normalmente são empresas que trabalham como cooperativas e tem seus associados inscritos para realizar a entrega das colheitas da lavoura. Mas cabe a ela entrar com a conscientização do cooperado, por meio de palestras, suporte técnico e acompanhamento do cultivo e colheita, para que durante esse processo de colheita dos grãos a captação de resíduos do solo, seja o menor possível, visto que a sílica está presente em grande quantidade no solo, até mesmo por questões de origem e manejo com a terra.

O método mais preciso atualmente em relação a quantificação da sílica livre cristalina seria a difração por raios-x, pois durante o estudo verificou-se que esse equipamento consegue identificar a sílica cristalina da sílica amorfa. Essa diferenciação da forma da sílica ganha maior ênfase por este método nos resultados de análise laboratorial, pois o que se busca com a medição é saber se há presença de sílica livre cristalina que é a mais agressiva e causa maiores danos à saúde do trabalhador do que a sílica amorfa.

Outros métodos como a Espectroscopia de Infravermelho (IR) e por Espectrofotometria de Absorção no Visível, mostram que são métodos, muito parecidos para análise laboratorial e

que não são tão precisos durante a análise para fazer o reconhecimento da sílica, devido a presença de outros analitos e diferentes tipos de sílica. Mas são métodos mais econômicos que a Difração por Raios-x e, sendo assim, mais acessíveis, pois os valores dos equipamentos também possuem uma grande diferença o que irá resultar também em um valor diferenciado no valor da amostra na contratação. Porém, eles medem a sílica como um todo, o que traz resultados também confiáveis e que podem ser usados para elaborar melhor condições de trabalho nos armazéns.

Observa-se que a Espectroscopia por Infravermelho conforme a NIOSH 7602 é o método mais utilizado nos laboratórios credenciados para a realização das análises de sílica, pois considera-se principalmente para isso, o valor do equipamento para aquisição no laboratório que é muito mais barato que o de difração por raios-x, e superior a espectrofotometria de absorção no visível. Com isso os orçamentos voltados aos clientes tecnicamente podem chegar com um preço muito mais acessível economicamente. E ainda consegue atender as exigências das normas regulamentadoras e padrões da NIOSH, AICGH e Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais.

Quanto ao uso de material ou kit para a amostragem que inclui a bomba, suporte, ciclone e calibrador, este pode seguir para as mesmas técnicas de manuseio e análise, independentemente do método que será utilizado no laboratório após a coleta e envio para análise.

Lembrando sempre que o laboratório é responsável pelo envio do plano de amostragem com as especificações técnicas de vazão de ar e quantidade de litros por minuto, para que a coleta seja realizada de forma mais correta possível de acordo com o equipamento pelo laboratório utilizado. Com a utilização de técnicas e equipamentos modernos, existe também a necessidade de ter analistas especializados e atualizados na área, para poder operar os instrumentos analíticos com a devida capacidade e competência para obter assim as funcionalidades ao qual o instrumento e software exige.

É possível ainda, além das medições periódicas quantitativas da poeira respirável com sílica livre, manter a fiscalização do uso de EPI no trabalhador, bem como o treinamento para uso correto do mesmo, realizar construções mais arejadas, pode haver ainda uma adaptação da construção de cabines isoladas durante a descarga de grãos no tombador, onde por mecanismo a distância o equipamento possa ser ativado e desativado, podendo o operador ficar sem contato máximo a poeira durante a realização da descarga para as moegas. E assim depois de alguns minutos voltar ao local para sequenciar as atividades necessárias.

Durante a pré-limpeza manter um sistema de exaustão para poder sugar a poeira gerada durante a movimentação das peneiras de classificação, encaminhando essa poeira para fora do

armazém onde possa ficar armazenada em bags ou armazenamento tipo cone, para depois ser removido e desprezado em local seguro.

A revisão bibliográfica mostra que as doenças respiratórias e alérgicas causadas pela sílica, causa danos graves a saúde do trabalhador e podem ser irreversíveis, como a silicose ou câncer. Por isso, se faz necessário a mensuração também do agente em locais de armazenagem de grãos e não somente em outras indústrias como na mineração. Além disso, juntamente com a prevenção de doenças ocupacionais, pode-se evitar o risco de explosões que a poeira também pode gerar nestes ambientes de trabalho.

Referências

ATLAS, M. L. **Segurança e Medicina no Trabalho**. 74. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2014.

BUSCHINELLI, J. T. **Manual para Interpretação de Informações Sobre Substâncias Químicas**. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.

CARVALHO, A. B. **Guia técnico sobre estratégia de amostragem de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2018.

D'OCA, C. R. M. **Ferramentas espectroscópicas na análise de compostos orgânicos – uma aproximação descomplicada**. Curitiba: Intersaberes, 2021.

LACERDA JUNIOR, V. **Fundamentos da Espectrometria e Aplicações**. 7. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2018.

MAGALHÃES, L. A. **Desenvolvimento de Metodologia para Determinação de Sílica Cristalina Respirável para Particulado de Minério Brasileiro por Difração de Raios - X**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Química – Química Analítica.) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SFSA-9TWFNM>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MAGALHÃES, L. **Saiba Como Funciona a Análise de Sílica Cristalina por Difração de Raios-x**. LinkedIn, 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/saiba-como-funciona-an%C3%A1lise-de-s%C3%ADlica-cristalina-por-magalh%C3%A3es/?OriginalSubdomain=pt>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MENDHAM, J. *et al.* **Análise Química Quantitativa**. 6. ed. São Paulo, 2002.

METZ, N. T. **Implantação de Procedimento Operacional para Monitoramento da Exposição Laboral à Sílica Cristalina Contida em Poeira Respirável**. 2016. 49 f. TCC (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/189869>. Acesso em: 12 fev. 2024.

RIBEIRO, F. S. N. **O mapa da Exposição à Sílica no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, A. M. A. *et al.* **Normas de Higiene Ocupacional – NHO 08: Coleta de Materiais Particulado Sólido Suspenso no Ar e Ambientes de Trabalho – Procedimento Técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2009.

SILVA, R. A Difração de Raios –x: uma Técnica de Investigação da Estrutura Cristalina de Materiais. **Revista Processos Químicos**, [s. l.], v. 14, n. 27, p. 73-82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19142/rpq.v14i27.577>. Disponível em: https://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/577. Acesso em: 12 fev. 2024.

SOUZA, V. F.; QUELHAS, O. L. G. Avaliação e Controle da Exposição Ocupacional à Poeira na Indústria da Construção. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 801-807, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232003000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/5Rrc6pYWtJZYhWP7r7bXgTv/>. Acesso em 15 fev. 2024.

VASCONCELOS, N. M. S. **Fundamentos de Química Analítica Quantitativa**. 2. ed. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2019.

VENDRAME, A. C. **Agentes Químicos na Higiene Ocupacional - Reconhecimento, Avaliação e Controle**. 2. ed. São Paulo: Revista e Ampliada, 2011.