

Análise da concentração de poeira respirável na fabricação de telhas de cerâmica vermelha

Humberto Mycael Mota Santos^{1*}, Ricardo Henrique de Lira Silva², Anália de Assunção Melo³

¹Instituto Federal da Paraíba, PB-264 s/n, Vila Santa Maria, 58500-000, Monteiro, Paraíba

²Instituto Federal de Pernambuco, Alto do Moura s/n, Distrito Industrial, 55040-120, Caruaru, Pernambuco

³Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Av Adjar da Silva Casé 800, Indianópolis, 55024-740, Caruaru, Pernambuco

*e-mail: humbertomycael@gmail.com

Resumo:

A poeira oriunda do processo de fabricação de telhas cerâmicas é um agente químico que pode ter em sua composição química a sílica cristalina e possui partículas com pequenos diâmetros que podem ingressar pelas vias respiratórias e comprometer a saúde do trabalhador, tendo como uma das doenças a silicose. O objetivo desse estudo foi analisar dois ambientes que estão expostos à poeira respirável de uma fábrica de telhas cerâmicas usando o tipo de coleta estática, a fim de verificar se a permanência nesses ambientes, durante a jornada de trabalho, pode prejudicar a saúde do colaborador, bem como compreender a influência da arquitetura e dos elementos climáticos na concentração de poeira nos ambientes. Avaliou-se a composição química das argilas utilizadas para a fabricação das telhas em que foi constatado como principal elemento o óxido de silício. Foi identificada a presença de sílica cristalina nas amostras em razão da matéria-prima. A ventilação natural e a arquitetura da edificação, possivelmente, influenciaram nos resultados, e um dos ambientes apresentou maior concentração média de poeira respirável. Por fim, as concentrações de poeira respirável e sílica cristalina ficaram com teores abaixo do limite de exposição ocupacional da NR-15 e da ACGIH, indicando que os ambientes não oferecem risco à saúde do trabalho com base no tipo de análise realizada.

Palavras-chave: Norma regulamentadora; sílica cristalina; ambiente de trabalho industrial

1. INTRODUÇÃO:

A indústria de materiais cerâmicos é um segmento produtivo em expansão no Brasil, apresentando, nos últimos anos, um crescimento importante da sua capacidade de produção e de exportação [1]. De acordo com Lima [2], os fatores que impulsionam o crescimento desse setor são a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e o desenvolvimento de tecnologias próprias. Além disso, a construção civil é um dos setores que mais absorvem materiais cerâmicos, como: telhas, tijolos, blocos cerâmicos e cerâmica sanitária, pois são amplamente usados em edificações.

No Brasil, foram produzidos, em 2023, 751 milhões de m² de revestimentos cerâmicos. Além disso, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial, o terceiro maior consumidor mundial e sexto maior exportador mundial, onde esse setor representa 6% do PIB da indústria de materiais de construção [3]. Segundo a Anicer [4], o número de empresas e fábricas de cerâmica no Brasil é de 5.578, sendo a produção por ano de telhas cerâmicas de 2.261.565.000 unidades.

De acordo com Anfacer [3], a indústria de materiais de revestimentos cerâmicos é geradora de 50 mil empregos diretos e 200 mil indiretos. Logo, observa-se o poder de empregabilidade desse setor. Entretanto, muitos desses empregos são destinados a funções no setor de produção das fábricas, onde a mão de obra para esse setor, em boa parte, tem pouca qualificação e o baixo nível de instrução formal. Além disso, esses colaboradores têm contato direto com a matéria-prima para a produção dos materiais a serem desenvolvidos.

A matéria-prima utilizada na produção de materiais cerâmicos é constituída, predominantemente, pela argila, que é uma substância constituída majoritariamente de argilominerais, minerais do grupo dos filossilicatos [5] [6] [7] [8]. Segundo a ABNT NBR 6502 [9], a argila também pode ser definida como um solo composto por partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade.

Logo, verifica-se duas problemáticas, no setor de produção de uma fábrica de cerâmica, que são a mão de obra com baixo conhecimento técnico, principalmente, no tocante à segurança do trabalho, e a qualidade do ar no ambiente de trabalho, visto que a argila é um material pulverulento, podendo ser inalado e, conseqüentemente, provocar grandes prejuízos à saúde.

Dentre as doenças respiratórias que podem ser geradas devido à inalação da poeira nesses ambientes, destaca-se a silicose, que é uma doença pulmonar relacionada com a exposição às poeiras minerais contendo quartzo e outras formas cristalinas da sílica [1] [10] [11]. Essa doença depende da inalação e da deposição de partículas de sílica livre cristalina com diâmetro menor do que 10 µm [12] [13].

Segundo Lima e Camarini [1], no Brasil, a silicose pode ocorrer em colaboradores de diversos segmentos industriais, e um deles é a indústria cerâmica. Devido a esse problema conhecido, essas indústrias necessitam investir em tecnologia de controle ambiental da poeira para garantir a integridade da saúde dos colaboradores expostos e, conseqüentemente, das empresas.

Apesar dos riscos conhecidos, a exposição à sílica persiste elevada. No Brasil, os registros de óbitos que tiveram como causa básica silicose, a pneumoconiose provocada pela inalação de poeiras contendo sílica, em adultos de 20 anos ou mais, contabilizaram 3.164 mortes no período de 1980 a 2017. Já os registros de óbitos com silicose como causa básica ou contribuinte somaram 2.895 casos em adultos de 20 anos ou mais, de 2000 a 2017 [14].

Devido a esse problema, diversos pesquisadores estudam o impactado dos ambientes de trabalho com alta concentração de poeira respirável contendo sílica. Gruenzner [15] analisou o ambiente de trabalho em uma empresa de mineração à céu aberto produtora de brita na região metropolitana de São Paulo. Souza e Quelhas [16] realizaram estudo em canteiros de obra no Rio de Janeiro e Martins [10] também analisou canteiros de obras na região metropolitana do Recife, PE. Rodrigues [17] avaliou o ambiente de trabalho de mineradoras das regiões de Londrina e Curitiba, PR, na produção de brita. Bon [18] e Santos et al. [19] analisaram o ambiente de trabalho de marmorarias em São Paulo, SP. Lima [2] analisou o processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento no polo de Santa Gertrudes, SP. Bayram, Kale e Baradan [20] analisaram o laboratório de construção civil da Universidade Ege em Esmirna, Turquia. Normohammadi et al. [21] estudaram os ambientes destinados à atividade de demolição de edifícios em Teerã, Irã. Alerta-se que em todas essas pesquisas mencionadas foram constatados altos níveis de concentração de poeira respirável contendo sílica, sendo superiores ao limite estabelecido pelas normas dos seus países.

No Brasil, as Normas Regulamentadoras (NR) têm como objetivo garantir um trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho [22]. Dentre essas normas, a NR-15, que trata sobre as atividades e operações insalubres, em seu anexo 12 são fornecidos os limites de tolerância (L.T.) para poeiras minerais, como o caso da sílica livre cristalizada [23].

Em âmbito internacional, a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) recomenda valores limites de exposição para diversas substâncias onde o colaborador pode estar submetido em sua jornada de trabalho sem ocasionar danos à sua saúde. Logo, tem-se estabelecido um limite de concentração de sílica cristalina [24].

Devido a todos os fatores apresentados, o presente trabalho tem como objetivos analisar as condições de higiene de ambientes de trabalho de uma fábrica de telhas cerâmicas no tocante à concentração de poeira respirável, entender os fatores que podem influenciar nos níveis de concentração, além de comparar os valores obtidos da concentração de poeira respirável com os limites de tolerância estabelecidos em norma nacional e internacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

Para compreender melhor como foi realizado o passo a passo dessa pesquisa, na Fig.1, é apresentado o fluxograma com todas as etapas.

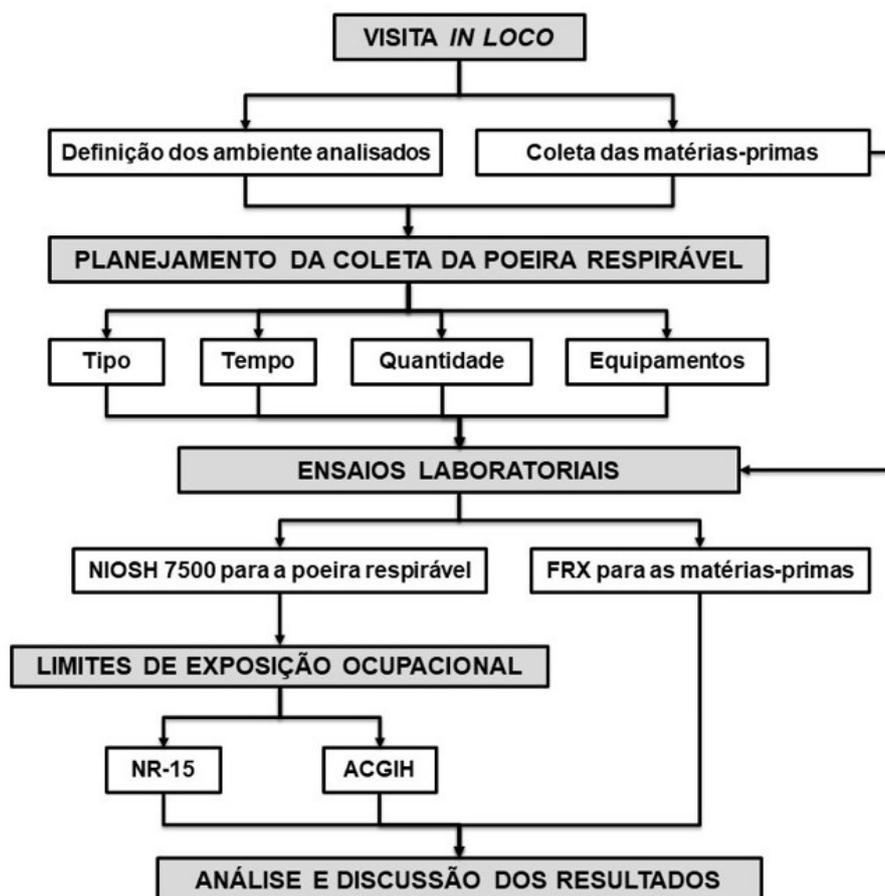


Figura 1. Fluxograma das etapas realizadas

2.1. Descrição da fábrica e dos ambientes analisados:

A fábrica utilizada no estudo está localizada no município de Caruaru, PE. No seu processo de fabricação das telhas cerâmicas, utilizam-se diversos equipamentos, como: esteira, laminador, misturador, extrusora, cortador e forno.

Como a pesquisa em questão visa analisar a poeira respirável, observa-se que a matéria-prima utilizada é a argila e sabe-se que ela possui uma pequena granulometria, o que facilita para que o material fique disperso no ar do ambiente de trabalho. Caso inalado esse tipo de poeira, poderá desencadear doenças nos trabalhadores, como a silicose, se a poeira tiver sílica livre cristalina.

Por meio da visita in loco, foram verificadas as fontes de geração de material particulado (poeira). Observou-se que a poeira se forma, principalmente, em duas etapas: a de preparação da massa cerâmica (preparação do material argiloso, alimentação, desintegração, mistura e laminação) e a de conformação ou moldagem (extrusão, corte e prensagem). No decorrer do processo, surgem fontes secundárias, originadas dos procedimentos de quebra dos materiais, de processos internos de transporte de resíduos e de limpeza das áreas de trabalho, porém em uma quantidade bem menor que as anteriores.

Logo, os ambientes escolhidos para a realização da avaliação à exposição ocupacional à poeira respirável foram os ambientes 1, Fig.2(a), e 2, Fig.2(b), por estarem diretamente relacionados ao processo produtivo, sendo: ambiente 1, etapas de secagem e queima; ambiente 2, etapas de preparação da matéria-prima e moldagem.



Figura 2. Ambiente 1 (a); Ambiente 2 (b)

2.2. Caracterização química das matérias-primas:

A técnica de espectroscopia por fluorescência de raios X foi utilizada para determinar a composição química da argila gorda e magra que são as matérias-primas para a fabricação das telhas, a fim de fornecer os percentuais de óxidos presentes. As análises químicas das matérias-primas e dos produtos obtidos foram realizadas pelo método semiquantitativo sob vácuo. Os elementos presentes foram identificados, na forma de óxidos por meio de analisador Shimadzu EDX 720, em atmosfera de nitrogênio (N_2), em que foram determinadas as constituições de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , CaO , MgO e Na_2O . O referido equipamento possui um tubo de raios X com ânodo de Rh que opera entre 5-50 kV e 1-1.000 μA .

2.3. Planejamento de coleta da poeira respirável:

De acordo com a NHO 08 [25], a coleta pode ser individual (pessoal) ou de área (estática). Nessa pesquisa optou-se por utilizar a coleta de área, pois tem-se os dados de cada ambiente separadamente, tendo assim informações relevantes sobre os ambientes 1 e 2. Escolheu-se um ponto fixo em cada ambiente, Fig.3, para a colocação dos equipamentos usados no sistema de coleta em um tripé de alumínio.



Figura 3. Pontos dos locais de coleta, ambiente 1 (a); ambiente 2 (b).

Para a realização das coletas desta pesquisa, conforme estabelecido pela NHO 08 [25], foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: bomba de amostragem (Criffer Accura 2, Fig.4(a)), que foi operada com uma vazão de 2,5 L/min, valor que permaneceu constante durante as coletas; calibrador analógico (Criffer, Fig.4(b)), com escala de fluxo de 0 a 4 L/min; filtro de membrana de PVC, 5 μ m de poro, 37 mm de diâmetro; porta-filtro tipo cassete de PVC (Fig.4(c)), com capacidade de coletar um volume de até 1000 L; separador de partículas do tipo ciclone de alumínio (Fig.4(d)), com 37 mm de diâmetro para coleta de material particulado respirável; câmara de calibração de alumínio com mangueira de PVC (Fig.4(e)), que conecta o calibrador de alumínio ao calibrador analógico; e suporte para cassete (Fig.4(f)), que possui uma mangueira de PVC que faz a conexão do cassete a bomba.

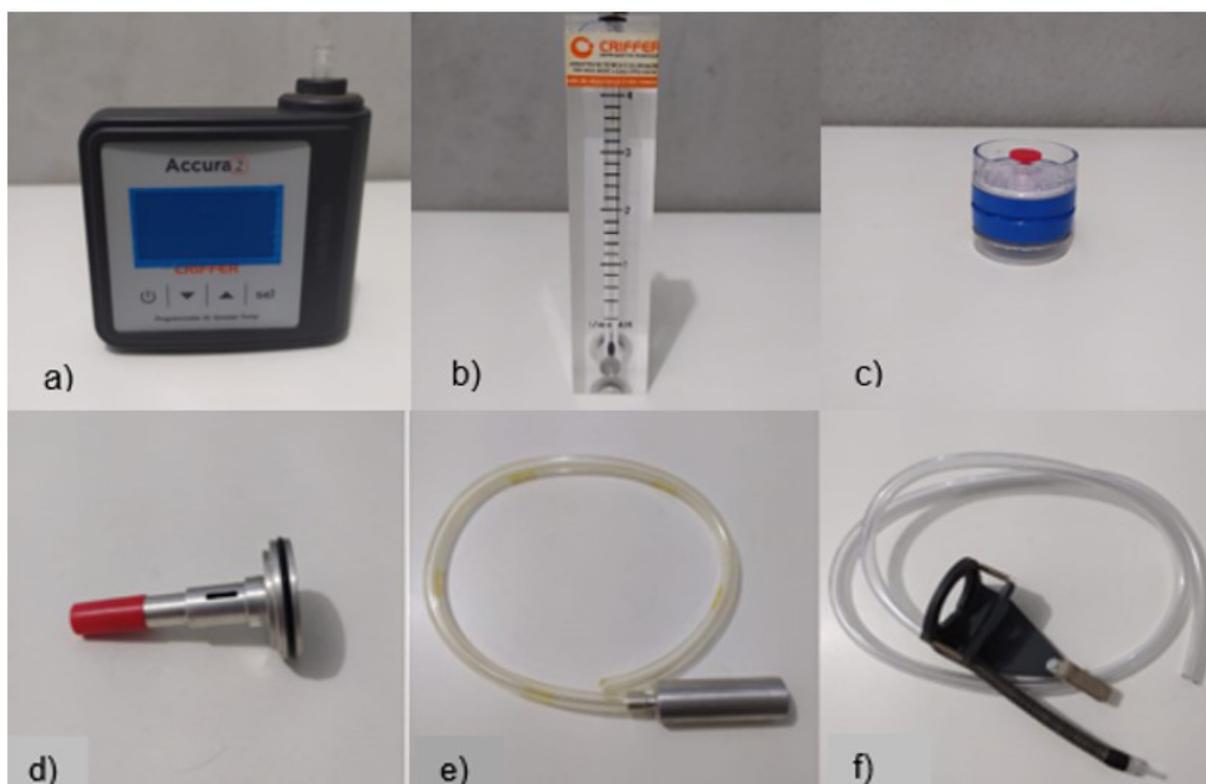


Figura 4. Bomba de amostragem (a); calibrador analógico (b); porta-filtro (c); separador de partículas (d); câmara de calibração (e); suporte para cassete (f)

Em cada ambiente analisado foram realizadas três coletas de amostra de ar com poeira respirável. O tempo de coleta para cada amostra foi de 6 horas. Como a jornada diária de trabalho é de 8 horas, a duração utilizada corresponde a 75% dessa jornada, sendo superior ao mínimo estabelecido pela NHO 08 que é de 70% [25]. Durante o período de coleta, o processo de fabricação das telhas não parou. São apresentadas na Tab.1 as informações pertinentes às coletas.

Tabela 1. Dias e horários de coleta para cada ambiente

Ambientes	Dias	Horário (h)	Designação
Ambiente 1 (secagem e queima)	03/09/2021	8:00 às 14:00	Amostra 1.1
	08/09/2021	8:00 às 14:00	Amostra 1.2
	09/09/2021	8:00 às 14:00	Amostra 1.3
Ambiente 2 (preparação da matéria-prima e moldagem)	30/09/2021	8:00 às 14:00	Amostra 2.1
	06/10/2021	8:00 às 14:00	Amostra 2.2
	08/10/2021	8:00 às 14:00	Amostra 2.3

2.4. Análise laboratorial das amostras de poeira respirável:

Foi utilizada a metodologia da NIOSH 7500 [26]. Esse método é realizado por meio da difratometria de raios X (DRX) que promove a identificação das fases cristalinas presentes nas amostras em análise (poeira contendo sílica livre cristalina). Para a realização deste experimento as amostras foram acondicionadas em um porta amostra de Al para análise por difração de raios X, em equipamento XRD 6000 da Shimadzu, a radiação utilizada foi K_{α} do Cu, tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, varredura de 5 até 60° e velocidade do goniômetro de 2°/min. Essa metodologia é indicada pela NHO 08 [25]. A referida análise fornece o valor quantitativo de poeira respirável e de sílica livre cristalina presente na amostra e para determinar as suas concentrações no ambiente, seguiu-se o roteiro constante na NHO 07 [27] e pela NHO 08 [25].

2.5. Determinação dos limites de exposição para poeira respirável:

A fim de verificar os limites de exposição à poeira respirável e estabelecer a ocorrência ou não de riscos à saúde do trabalhador, determinou-se o Limite de Tolerância (LT), conforme estabelecido na NR-15 em seu Anexo 12 [23], e o Limite de Exposição Ocupacional (LEO) na ACGIH [24].

O Anexo nº 12 da NR-15 estabelece o Limite de Tolerância (L.T.) para poeira contendo sílica livre cristalizada, sendo o L.T. para poeira respirável, expresso em mg/m³, dado pela equação 1 [23].

$$LT = \frac{8}{\% \text{quartzo} + 2} \quad (1)$$

Sendo: LT = Limite de Tolerância; e % quartzo = massa de quartzo no total de massa de poeira respirável × 100.

Com relação ao Limite de Exposição Ocupacional da ACGIH, houve a necessidade de utilizar o Fator de Redução (FR). Como os colaboradores da fábrica têm jornada de trabalho de 48 horas semanais, o limite de exposição, *Threshold Limit Value* (TLV), foi ajustado. O modelo matemático para essa adequação, adotado pela legislação brasileira, é o proposto por Brief e Scala [28], referenciado e indicado pela ACGIH [24]. O modelo de Brief e Scala é expresso pela equação 2 [28].

$$FR = \left(\frac{40}{h}\right) \left(\frac{168-h}{128}\right) \quad (2)$$

Sendo: FR = fator de redução; 40 = jornada de trabalho de referência (horas); 168 = número de horas totais em uma semana (24 horas × 7 dias = 168); 128 = tempo de não exposição durante a semana (168 – 40 horas); e h = tempo da jornada real (horas).

Com o FR calculado, aplica-se o mesmo sobre o TLV, como indicado na equação 3, e determina-se o valor do Limite de Exposição Ocupacional (LEO) ajustado para comparação com as concentrações ambientais obtidas durante a jornada de trabalho avaliada. Vale ressaltar que esse modelo de correção não é aplicado para jornadas de trabalho menores do que 7 horas por dia ou 35 horas por semana [28].

$$LEO = FR \times TLV \quad (3)$$

A ACGIH recomenda um único valor de TLV de 0,025 mg/m³ para a sílica cristalina nas formas do α -quartzo e da cristobalita, para as quais há a associação bem estabelecida entre a poeira desses minerais, a silicose e as concentrações de massa respirável, além das suspeitas que estas formas de sílica podem causar câncer de pulmão [24].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização e análise química das matérias-primas

Os dados obtidos das composições químicas das matérias-primas para fabricação das telhas cerâmicas por meio da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX) são apresentados na Tab.2.

Tabela 2. Análise química por FRX das argilas

Elementos	Teores (%)	
	Argila gorda	Argila magra
SiO ₂	38,607	60,237
Al ₂ O ₃	35,037	21,774
Fe ₂ O ₃	11,333	4,565
TiO ₂	0,865	0,856
K ₂ O	0,175	5,254
CaO	0,150	1,313
SO ₃	0,184	0,102
P ₂ O ₅	0,183	0,090
Cl	0,016	0,061
MgO	-	0,786
Na ₂ O	-	0,822
Perda ao Fogo	13,450	4,140

Observou-se, na Tab.2, que as argilas são compostas predominantemente de óxido de silício (SiO₂), seguido de óxido de alumínio (Al₂O₃), tendo também um percentual considerável de óxido de ferro, que é responsável pela coloração vermelha da cerâmica [29]. Logo, a poeira em suspensão no ambiente tende a possuir um determinado teor de sílica, que pode causar danos à saúde do trabalhador, caso ela tenha uma estrutura cristalina. Por esse motivo que, nas análises da poeira respirável, utilizou-se a técnica de difratometria de raios X (DRX) que identifica as fases cristalinas do material.

Ainda analisando os resultados obtidos do FRX, notou-se, na argila gorda, um percentual menor de SiO₂ e um percentual maior de Al₂O₃, se comparada à argila magra. Essa característica era esperada, visto que a argila gorda possui uma maior plasticidade caracterizada por uma maior quantidade de argilominerais. Já a magra é caracterizada pela maior quantidade de quartzo por ser mais arenosa, composta principalmente de óxido de silício [30].

Por fim, verificou-se também a perda ao fogo, e a argila gorda apresentou um teor superior ao da argila magra, decorrente da maior quantidade de matéria orgânica e/ou presença de materiais de fácil decomposição a temperaturas elevadas. Um dos fatores que provavelmente contribuiu para essa maior perda ao fogo na argila gorda é devido a uma quantidade de argilominerais como a caulinita. De acordo com Vieira e Pinheiro [30], as hidroxilas da caulinita apresentam uma decomposição à aproximadamente 490 °C, bem inferior à temperatura de queima da cerâmica (aproximadamente 1000 °C). Por isso, na massa cerâmica, utiliza-se também a argila magra, que possui uma menor perda ao fogo diminuindo a retração e a porosidade durante a queima.

3.2. Análise das amostras coletadas de poeira respirável:

Os resultados das amostras coletadas de poeira respirável nos ambientes estão apresentados na Tab.3.

Tabela 3. Quantidade e concentração de poeira respirável e sílica cristalina livre

Amostras	Volume coletado (m ³)	Poeira respirável (mg)	Concentração de poeira respirável (mg/m ³)	Massa de Sílica (mg)	Concentração de sílica (mg/m ³)
Amostra 1.1	0,9	0,170	0,189	0,004	0,004
Amostra 1.2	0,9	0,107	0,119	0,003	0,003
Amostra 1.3	0,9	0,108	0,120	0,003	0,003
Amostra 2.1	0,9	0,098	0,109	0,002	0,002
Amostra 2.2	0,9	0,036	0,040	0,001	0,001
Amostra 2.3	0,9	0,128	0,142	0,003	0,003

Conforme apresentado na Tab.3, foi identificada em todas as amostras uma quantidade de massa de sílica presente na poeira respirável que era esperada devido à natureza das matérias-primas (argilas),

cujas composições químicas foram apresentadas na Tab.2, que constatou, em maior quantidade, o óxido de silício.

Notou-se que a concentração maior de sílica foi obtida na amostra 1.1, que apresentou a maior concentração de poeira respirável. O inverso foi registrado na amostra 2.2, que obteve menor concentração de sílica e de poeira respirável, tendo assim uma determinada proporcionalidade.

Verificou-se que os valores encontrados na Tab.3, não foram constantes, pois as coletas foram realizadas em dias diferentes e os elementos climáticos, como a umidade relativa do ar e a velocidade do vento podem interferir na concentração de poeira em um ambiente, sendo que eles não são constantes ao longo dos dias. Elminir [31] destaca que quanto maior a umidade do ar, maior será o vapor de água presente na atmosfera e, conseqüentemente, as partículas de poeira em suspensão podem absorver essa água aumentando a sua massa e possibilitando a sua sedimentação. Com relação ao vento, sabe-se que ele possui o poder de carrear as partículas de um lugar para o outro [32] e isso pode ser determinante para dispersar a poeira em uma fábrica que gera material pulverulento.

Para avaliar e comparar a concentração de poeira respirável nos dois ambientes em estudo, na Fig.5 é apresentada a média e o desvio padrão dos valores obtidos pelas amostras. No ambiente 1 obteve-se uma concentração de poeira respirável média de 0,143 mg/m³; já no ambiente 2 foi obtida uma média de 0,097 mg/m³.

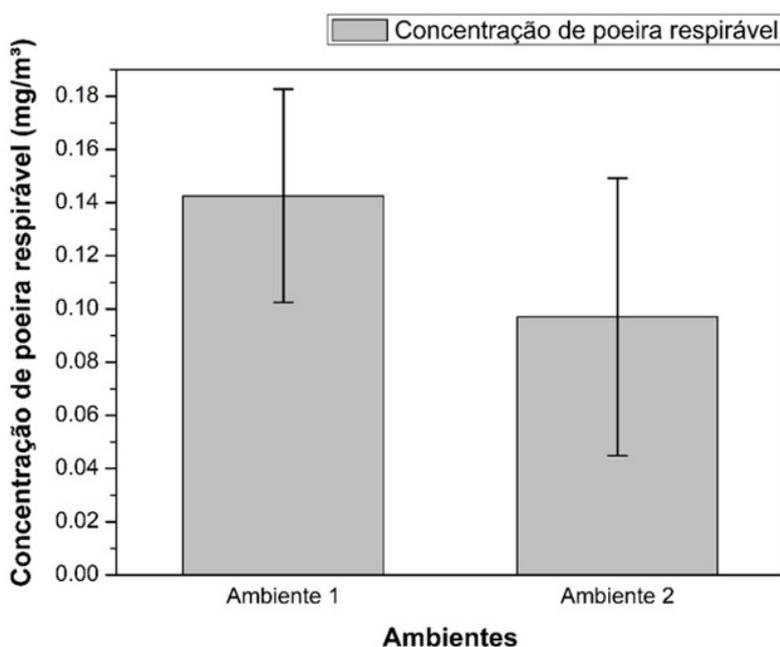


Figura 5. Concentração média de poeira respirável em cada ambiente

Verificou-se que o ambiente 1 (secagem e queima) apresentou uma concentração média de poeira 47% maior que o ambiente 2 (preparação da matéria-prima e moldagem). Apesar de isso chamar atenção, pois o ambiente 2 gera mais poeira que o ambiente 1, devido à atividade desenvolvida, acredita-se que, além da interferência dos elementos climáticos, a ventilação natural e a arquitetura provavelmente contribuíram para esses valores.

De acordo com a pesquisa desenvolvida por Silva et al. [33], a direção predominante do vento anual em Caruaru é do Sudeste (SE), sendo observado no período de coleta das amostras em 2021. Em relação ao Norte, é representada na Fig.6 a direção predominante do vento atuante na fábrica.

Com a direção do vento, foi necessário conhecer o projeto arquitetônico, pois, analisando como os ambientes em questão estão dispostos pode-se supor como o vento pode atuar no interior da edificação e, conseqüentemente, entender como ele pode ter contribuído nos resultados obtidos de concentração de poeira respirável nos ambientes. É apresentado na Fig.7 um esquema da planta baixa da fábrica, destacando os ambientes estudados e a direção do vento.

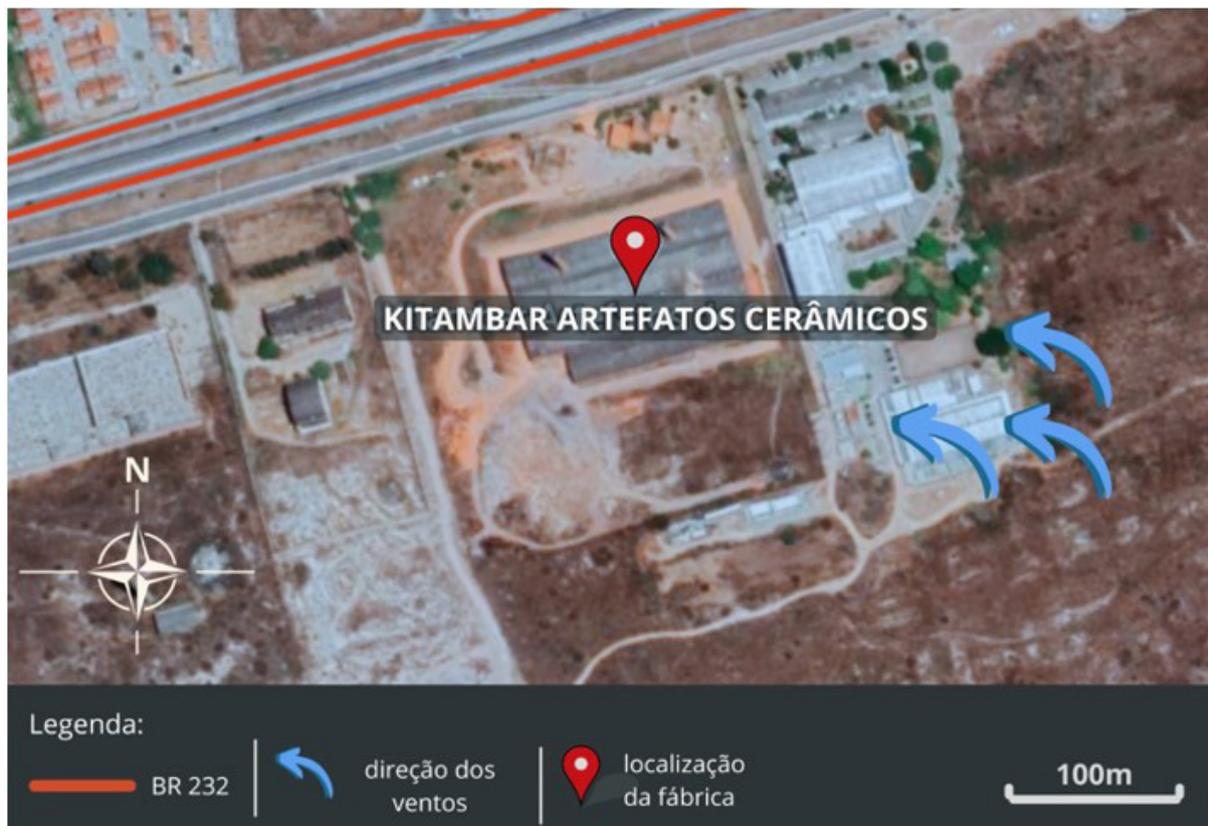


Figura 6. Direção predominante do vento na fábrica. Adaptado de Maps [34].

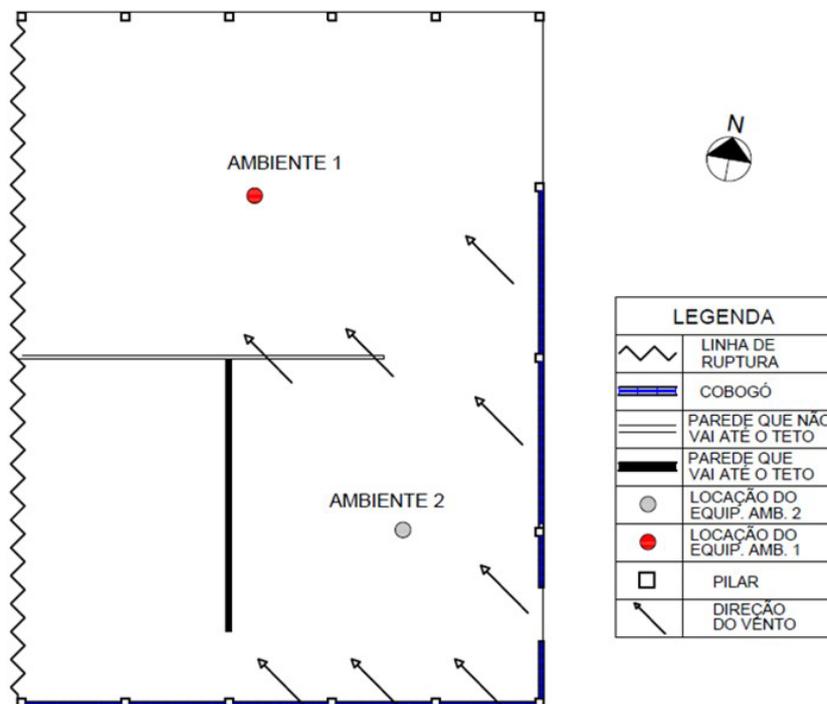


Figura 7. Esquema da planta baixa da fábrica

Observou-se que, no projeto arquitetônico, o projetista teve o cuidado de levar em consideração a ventilação natural, utilizando cobogós em todas as vedações verticais externas da fábrica, permitindo

assim a entrada de ar, conforme pode ser observado nas Fig.7 e Fig.8. De acordo com Holanda [35], o cobogó é um elemento que deixa a ventilação natural penetrar na edificação, sendo muito utilizado no Nordeste brasileiro devido ao clima da região.



Figura 8. Cobogós na vedação vertical externa

Na Fig.7 nota-se também que há diversas aberturas de saída de ar voltadas para a direção do vento, localizadas ao norte do projeto, onde não existem barreiras físicas que impeçam a saída da ventilação, tendo apenas alguns pilares distribuídos. Segundo Baeza et al. [36] é possível aproveitar ao máximo a ventilação impulsionada pelo vento por meio de aberturas de saída de ar voltadas para a direção predominante do vento.

Observando a direção do vento e a facilidade dele entrar no ambiente, verificou-se no esquema da planta baixa, Fig.7, que o fluxo de ar que passa pelo ambiente 2 encaminha-se para o ambiente 1 pela abertura lateral existente entre os ambientes ou pela parte superior do trecho da parede, que os separam, pois ela não está fixada no teto, conforme observado na Fig.9.

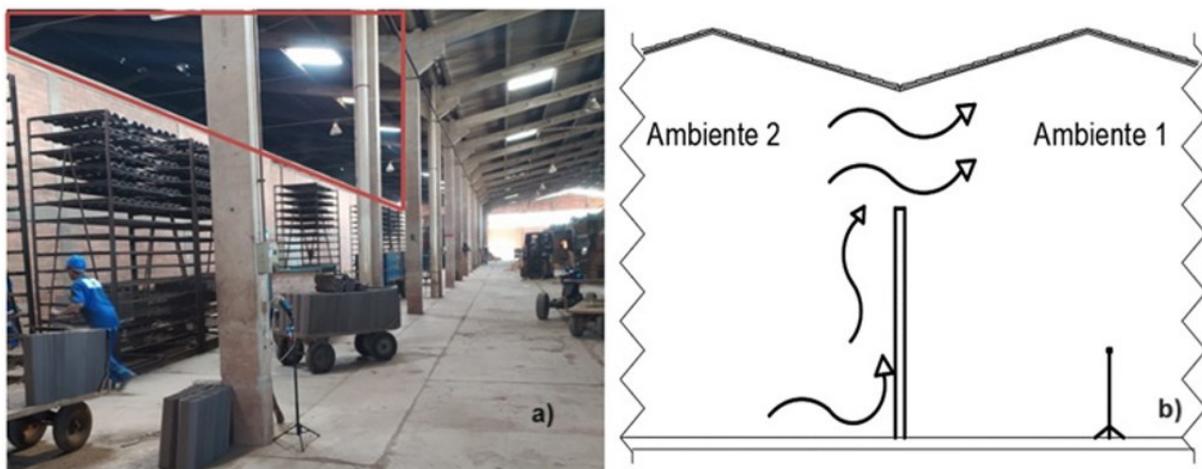


Figura 9. Detalhe da parede que divide os ambientes (a); corte da parede e dos ambientes

3.3. Análise dos resultados obtidos com os limites de exposição da NR-15 e da ACGIH:

Com os dados obtidos nas amostras coletadas, avaliou-se os mesmos com relação aos limites de exposição ocupacional, a fim de verificar se há uma grande probabilidade de risco à saúde do colaborador. Na Tab.4 é apresentada a porcentagem de sílica livre cristalina, o Limite de Tolerância (LT) de acordo com a NR-15 e a concentração de poeira respirável de cada amostra.

Tabela 4. Dados para análise do Limite de Tolerância da NR-15

Amostras	% de sílica	Limite de Tolerância (mg/m ³)	Concentração de poeira respirável (mg/m ³)
Amostra 1.1	2,353	1,838	0,189
Amostra 1.2	2,804	1,665	0,119
Amostra 1.3	2,778	1,674	0,120
Amostra 2.1	2,041	1,980	0,109
Amostra 2.2	2,778	1,674	0,040
Amostra 2.3	2,344	1,842	0,142

A porcentagem de sílica livre presente na poeira respirável, apresentada na Tab.4, foi obtida a partir dos dados da Tab.3. Observou-se que em todas as amostras a porcentagem de sílica ficou entre 2 e 3%. Com relação ao Limite de Tolerância, verificou-se que a concentração de poeira respirável de cada amostra ficou bem abaixo do LT. As amostras 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2 e 2.3 ficaram, respectivamente, com valores correspondentes a 10,28%, 7,14%, 7,17%, 5,50%, 2,39% e 7,72% dos seus respectivos LT. Notou-se que a amostra 1.1 teve um resultado mais próximo do LT, porém o valor foi muito baixo e não atingiu o nível de ação, que corresponde a 50% do Limite de Tolerância [37].

Com respeito aos limites de exposição da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) são mostradas na Tab.5, as informações necessárias para a avaliação do Limite de Exposição Ocupacional (LEO). Para determinar o LEO, foi necessário utilizar o Fator de Redução (FR), pois a jornada de trabalho semanal dos colaboradores da fábrica é de 48 horas.

Tabela 5. Dados para análise do Limite de Exposição Ocupacional

Amostras	Concentração de sílica (mg/m ³)	TLV (mg/m ³)	FR	LEO (mg/m ³)
Amostra 1.1	0,004	0,025	0,781	0,020
Amostra 1.2	0,003	0,025	0,781	0,020
Amostra 1.3	0,003	0,025	0,781	0,020
Amostra 2.1	0,002	0,025	0,781	0,020
Amostra 2.2	0,001	0,025	0,781	0,020
Amostra 2.3	0,003	0,025	0,781	0,020

De acordo com a Tab.5, observou-se que em todas as amostras o valor de concentração de sílica ficou abaixo do LEO. Em porcentagem, a concentração de sílica corresponde a 22,76% para a amostra 1.1; 17,07% para as amostras 1.2 e 1.3; 11,38% para a amostra 2.1; 5,69% para a amostra 2.2; e 17,07% para a amostra 2.3, com relação aos seus respectivos LEOs.

A fim de comparar os resultados obtidos pela NR-15 e pela ACGIH, agrupou-se os resultados de todas as amostras, independente do ambiente, e realizou-se a média da concentração de poeira respirável, da concentração de sílica, do LT e do LEO, além da porcentagem das concentrações comparadas aos seus respectivos limites de exposição, conforme mostrado na Tab.6.

Tabela 6. Média dos valores obtidos pela NR-15 e pela ACGIH

Concentração de poeira respirável (mg/m ³)	NR-15		ACGIH		
	LT (mg/m ³)	% equivalente	Concentração de sílica (mg/m ³)	LEO (mg/m ³)	% equivalente
0,120	1,779	6,735	0,003	0,020	15,170

De acordo com a Tab.6, verificou-se que o método estabelecido pela ACGIH para verificação do limite é mais cauteloso com relação à saúde do trabalhador, tendo a concentração mais próxima do

limite de exposição (15,17%) se comparado ao método estabelecido pela NR-15 que atingiu apenas 6,735%.

Lima [2] relatou em seu trabalho a relação da NR-15 e da ACGIH no tocante aos limites de exposição ocupacional à poeira contendo sílica. A autora destacou que a NR-15 utiliza o método de determinação do LT com base na publicação dos TLVs da ACGIH do ano de 1972, em que se considera para o limite de tolerância apenas o quartzo, conforme apresentado na equação 1, comparando-o com a concentração de poeira respirável. Entretanto, os TLVs da ACGIH sofreram diversas modificações ao longo dos anos devido a várias recomendações e normas técnicas de instituições internacionais, que estabeleceram os limites de exposição ocupacional com valores fixos para a sílica livre cristalina, deixando de utilizar o critério de mistura que ainda é o adotado no Brasil. Por fim, Lima [2] destaca que desde 1986 a ACGIH não faz o uso da equação 1 e a partir de 2006 estabeleceu o TLV único para sílica cristalina igual $0,025 \text{ mg/m}^3$, que é utilizado até o presente momento.

Logo, em virtude de todo esse histórico, o método da ACGIH para avaliação de poeira respirável com sílica é de fato mais criterioso do que o estabelecido pela NR-15. Dados que corroboram com o comportamento apresentado neste trabalho, com relação a essa comparação, também foram evidenciados por Lima [2] que, em sua pesquisa, observou que 25% de suas amostras apresentaram concentrações superiores ao LT da NR-15. Porém, quando adotado o método da ACGIH, verificou-se que 42% das amostras ficaram acima do LEO.

Independentemente do método utilizado, no trabalho em questão, conforme analisado, as concentrações de poeira respirável e sílica livre cristalina foram baixas, possivelmente em razão da renovação de ar constante dentro da fábrica, como observado na Fig.10.



Figura 10. Corte esquemático da fábrica destacando os ambientes 1 e 2

Portanto, isso pode ter contribuído na remoção da poeira respirável em suspensão para fora da edificação, visto que as partículas são facilmente carreadas pelo vento, diminuindo a sua concentração nos ambientes. De modo geral, o agente químico, poeira, analisado não possui uma grande probabilidade de risco à saúde do trabalho nos ambientes em estudo com base na coleta de área realizada.

4. CONCLUSÃO:

Em função dos resultados alcançados na pesquisa a partir da identificação das matérias-primas, das concentrações de poeira respirável e de sílica livre cristalina em cada ambiente, formularam-se as seguintes considerações finais:

A poeira respirável apresentou teores de sílica (entre 2 a 3%) advinda das matérias-primas (argilas), que apresentaram, em sua composição química, maiores quantidades de óxido de silício (SiO_2), visto que, no processo de fabricação das telhas cerâmicas, os componentes das matérias-primas são dispersos no ar facilmente em razão de sua finura.

Com relação às diferenças de concentrações de poeira respirável obtidas em cada ambiente, possivelmente os elementos climáticos contribuíram para isso, visto que as coletas foram realizadas em dias diferentes. Além disso, a ventilação natural e o projeto arquitetônico provavelmente influenciaram também para essa variação, pois, de acordo com as aberturas da fábrica, posicionamento dos ambientes e a direção do vento, as partículas de poeira do ambiente 2 tendem a serem transportadas para o ambiente 1. Com isso, observou-se que o ambiente 1 apresentou uma média de concentração superior comparada ao ambiente 2, 47% maior.

Na análise em que foram verificados os limites de exposição da NR-15 e da ACGIH, nenhuma amostra ultrapassou os limites das referidas normas, tendo a amostra 1.1 valores mais altos entre as demais. Porém atingiu-se um valor que correspondeu a 10,28% do LT, que é menor que o nível de ação, além de ter atingido um valor que correspondeu a 22,76% do LEO. No geral, a média dos valores obtidos ficou mais próxima dos limites da ACGIH, que possui constantes atualizações e maior acurácia no que se refere a higiene ocupacional, pois a NR-15 utiliza parâmetros antigos. Possivelmente, a ação do vento e a arquitetura da fábrica contribuíram para a obtenção desses números bem abaixo dos limites, em virtude da circulação e renovação de ar constante.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho do Instituto Federal de Pernambuco do Campus Caruaru por todo o apoio prestado, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco pela caracterização das matérias-primas e à Kitambar por permitir a realização do estudo em suas dependências.

REFERÊNCIAS:

- [1] Lima MMTM, Camarini G, 2006. Método de determinação da sílica cristalina na poeira dos processos de fabricação de revestimentos. *Cerâmica Industrial* 11, 4, 21-27.
- [2] Lima MMTM, 2007. Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento: estudo no polo de Santa Gertrudes. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- [3] ANFACER, 2024. Números do setor cerâmico. <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>
- [4] ANICER, 2023. Dados do setor. <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>
- [5] Motta JFM, Zanardo A, Cabral Junior M, Tanno LC, Cuchierato G, 2004. As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: Argilas e caulins. *Cerâmica Industrial* 9, 33-46.
- [6] Silva JRR, 2005. Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos. Programa de Pós-graduação em Engenharia. Curitiba: UFPR.
- [7] Prado CMO, 2011. Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe. Programa de Pós-Graduação em Química São Cristóvão: UFSE.
- [8] Moreno MMT, 2012. Argilas: Composição mineralógica, distribuição granulométrica e consistência de pastas. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro: UNESP.
- [9] ABNT NBR 6502, 1995. Rochas e solos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] Martins ARB, 2009. Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edificações verticais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Recife: UFPE.
- [11] Ribeiro FSN, 2010. O mapa da exposição à sílica no Brasil. Rio de Janeiro: UERJ.
- [12] Peixoto NH, Ferreira LS, 2012. Higiene ocupacional I. Santa Maria: UFSM/CTISM.
- [13] Saliba TM, 2018. Manual prático de avaliação e controle de poeira e outros particulados PPRA. 9ª ed. São Paulo: LTR.
- [14] Algranti E, Saito CA, Carneiro APS, Bussacos MA, 2021. Mortality from silicosis in Brazil: Temporal trends in the period 1980 - 2017. *American Journal of Industrial Medicine* 1-7. <https://doi.org/10.1002/ajim.23215>
- [15] Gruenzner G, 2003. Avaliação da poeira de sílica: um estudo de caso em uma pedreira na região metropolitana de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- [16] Souza VF, Quelhas OLG, 2003. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção. *Ciênc. Saúde Coletiva* 8, 3, 801-807. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232003000300014>
- [17] Rodrigues GL, 2004. Poeira e ruído na produção de brita a partir de basalto e gnaiss nas regiões de Londrina e Curitiba, Paraná: Incidência sobre trabalhadores e meio ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- [18] Bon AMT, 2006. Exposição ocupacional à sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias, no município de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- [19] Santos AMA, Caçado RZL, Anjos RM, Amaral NC, Lima LCA, 2007. Características da exposição ocupacional a poeiras em marmorarias da cidade de São Paulo. *Rev. bras. Saúde Ocupacional* 32, 116, 11-23. <https://doi.org/10.1590/S0303-76572007000200003>
- [20] Bayram I, Kale O, Baradan S, 2016. Dust control in construction: A case study of the civil engineering laboratories. *Istanbul: 12th International Congress on Advances In Civil Engineering*, 12-18.
- [21] Normohammadi M, Kakooei H, Omidi L, Yari S, Alimi R, 2016. Risk assessment of exposure to silica dust in building demolition sites. *Safety and Health at Work* 7, 3, 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.12.006>
- [22] Brasil, 2024. Normas Regulamentadoras NR. Brasília: Ministério da Economia. <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora>

- [23] NR 15, 2022. Atividades e operações insalubres. Portaria MTP nº 806. Brasília: MTE.
- [24] ACGIH, 2021. Limites de exposição ocupacional (TLVs®) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs®). American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- [25] Fundacentro, 2009. Norma de higiene ocupacional NHO 08: Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. São Paulo: Fundacentro.
- [26] NIOSH, 2003. Silica, crystalline, by XRD (filter deposition). Method 7500, issue 4. Schelech PC, O'connor PF (eds.). NIOSH manual of analytical methods. 4th ed, 3rd suppl, 154. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health.
- [27] Fundacentro, 2002. Norma de higiene ocupacional NHO 07: Calibração de bombas de amostragem individual pelo método da bolha de sabão. São Paulo: Fundacentro.
- [28] Brief RS, Scala RA, 1975. Occupational exposure limits for novel work schedules. American Industrial Hygiene Association Journal 36, 6, 467-469. <https://doi.org/10.1080/0002889758507272>
- [29] Azevedo MC, 2018. Desenvolvimento de telhas extrudadas em Campos dos Goytacazes, RJ. Centro de Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- [30] Vieira CMF, Pinheiro RM, 2011. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. Cerâmica 57, 319-323. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000300010>
- [31] Elminir HK, 2005. Dependence of urban air pollutants on meteorology. Science of the Total Environment 350, 1-3, 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>
- [32] Campos AFMC, 2013. Estudo de poeiras respiráveis e análise da pluma de poeiras numa pedreira a céu aberto. Faculdade de Engenharia. Porto, Portugal: Universidade do Porto.
- [33] Silva MC, Medeiros RM, Holanda RM, França MV, 2023. Direção predominante do vento para Recife e Caruaru, Pernambuco, Brasil. Revista Observatório de la Economía Latinoamericana 21, 10, 17087-17112. <https://doi.org/10.55905/oelv21n10-139>
- [34] MAPS G, 2021. Kitambar Artefatos de Cerâmica.
- [35] Holanda A, 2018. Roteiro para construir no Nordeste: Arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados. 3^a ed. Brasília: Cepe.
- [36] Baeza E, Pérez-Parra J, Lopez J, Montero J, 2006. CFD study of the natural ventilation performance of a parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. Acta Horticulturae 719, 333-340. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.719.37>
- [37] NR 9, 2021. Programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA). Portaria SEPRT nº 8.873. Brasília: MTE.