

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
EM CANTEIRO DE OBRA

TAMIRES DA SILVA ISRAEL SALES

LAVRAS-MG

2024

TAMIRES DA SILVA ISRAEL SALES

**QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
EM CANTEIRO DE OBRA**

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Lavras, como parte das
exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

ORIENTADOR

Prof. Me. Simone Mancini

CONVIDADO

Me. Dennis Santos Tavares

PRESIDENTE DA BANCA

Prof. Me. Hafez Tadeu Sadi Junior

LAVRAS-MG

2024

Ficha Catalográfica preparada pelo Setor de Processamento
Técnico da Biblioteca Central do UNILAVRAS

S163q Sales, Tamires da Silva Israel.
Quantificação de material particulado em suspensão em canteiro de obra / Tamires da Silva Israel Sales – Lavras: Unilavras, 2024.

32f.:il.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Unilavras, Lavras, 2024.

Orientador: Prof.^a Simone Mancini.

1. Contador de partículas 2. Concreto. 3. Canteiro de obra.
I. Mancini, Simone. (Orient.). II. Título.

TAMIRES DA SILVA ISRAEL SALES

PROJETO DE PESQUISA

QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
EM CANTEIRO DE OBRA

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Lavras, como parte das
exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

S. Mancini

Prof. Me. Simone Mancini

Dennis Santos Tavares

Me. Dennis Santos Tavares

Hafez Tadeu Sadi Junior

Prof. Me. Hafez Tadeu Sadi Junior

Aprovado em ____/____/____

LAVRAS-MG

2024

Dedico a Deus toda a minha caminhada até aqui, que nos momentos mais difíceis me sustentou e fez renascer o sonho todos os dias, com força, esperança e gratidão por mais uma etapa concluída.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me proporcionou a oportunidade de cursar um curso superior, por me fortalecer a cada dia mesmo em meio ao cansaço e desânimo não me fez perder a fé e a esperança.

Agradeço aos meus familiares, que mesmo longe sempre me apoiaram e incentivaram a caminhada nos estudos.

Aos meus parceiros de estudos, amigos e a cada pessoa que na minha caminhada acadêmica contribuíram para meu crescimento, meu muito obrigado.

A minha orientadora Prof^a Me. Simone Mancini, por todo apoio, atenção e incentivo para pesquisa.

Ao Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS e aos docentes meu muito obrigada por ensinamentos e compartilhamento de conhecimento.

“Amar é um ato de coragem.”

Paulo Freire
(1921-1997)

RESUMO

O ambiente de trabalho na construção civil provoca um grande número de partículas, que são agentes nocivos à saúde no trabalhador. Essas partículas estão presente na produção e manuseio do concreto na obra. A exposição à quantidade excessiva de partículas no ambiente de trabalho pode causar contaminações e danos à saúde do trabalhador. O objetivo do trabalho foi quantificar as partículas presentes no ambiente próximos a produção e manuseio do concreto na construção civil. Foi coletado dados na concretagem de sapatas, pilares e vigas de forro juntamente com a laje. Para cada tipo diferente de concretagem foi coletado o número de 10 amostras. A quantidade de partículas foi coletada e separada por dimensões de 0.3 μ m, 0.5 μ m, 1.0 μ m, 2.5 μ m, 5.0 μ m e 10 μ m. Na pesquisa as partículas de menores dimensões, apresentaram-se em maior quantidade na concretagem de todas as amostras. As partículas são muito pequenas e fácil de serem inaladas pelos trabalhadores. Em comparação a partícula de 0.3 μ m é proporcional a dimensão da maioria do vírus presentes no ambiente, o que infelizmente proporciona uma inalação até mesmo sem percepção do trabalhador.

Palavras-chave: Contador de partículas. Concreto. Canteiro de obra.

ABSTRACT

The work environment in civil construction causes a large number of particles, which are agents that are harmful to the worker's health. These particles are present in the production and handling of concrete on site. Exposure to excessive amounts of particles in the work environment can cause contamination and damage to the worker's health. The objective of the work was to quantify the particles present in the environment close to the production and handling of concrete in civil construction. Data were collected in the concreting of footings, pillars and ceiling beams along with the slab. For each different type of concreting, 10 samples were collected. The amount of particles was collected and separated by dimensions of 0.3 μ m, 0.5 μ m, 1.0 μ m, 2.5 μ m, 5.0 μ m and 10 μ m. In the research, smaller particles were present in greater quantities in the concreting of all samples. The particles are very small and easy for workers to inhale. In comparison, the 0.3 μ m particle is proportional to the size of the majority of the virus present in the environment, which unfortunately allows for inhalation even without the worker's perception.

Keywords: Particle counter. Concrete. Construction site.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pulmão de um portador de Silicose aguda.	17
Figura 2 - Contador de Partículas com Câmeras do Modelo CPT-100.....	19
Figura 3 – Local de Concretagem.....	20

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo da quantidade de partículas na concretagem de sapatas, pilares e laje com vigas.....	24
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tamanho das partículas de acordo com o local extraído.....	20
Tabela 2 - Comparativos de indicadores estatísticos na predição de partículas na concretagem de sapatas, pilares e laje com vigas.....	23

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al – Alumínio
Ca - Cálcio
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CP - Cimento Portland
EPI - Equipamento de Proteção Individual
ES - Espírito Santo
Fe – Ferro
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD - Display de Cristal Líquido
MG - Magnésio
MG – Minas Gerais
MP - Materiais Particulados
NBR - Norma Brasileira
NHO 08 - Norma de Higiene Ocupacional
NR - Norma Regulamentadora
PTS - Partículas Totais em Suspensão
S – Enxofre
SEST - Serviço Especializado em Saúde do Trabalhador
Si - Silício
SRTE - Superintendência Regional do Trabalho e Emprego
Ti - Titânio
µm – Micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3. MATERIAL E MÉTODO	18
3.1 Material	18
3.2 Método.....	20
4. RESULTADOS	23
5. DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil teve sua expansão acelerada com o crescimento das cidades e das populações, gerando grande demanda de recursos e mão de obra. Com essas grandes evoluções também é possível presenciar o avanço das poluições decorrentes pelo grande acúmulo de resíduos, desde a produção dos insumos até seu uso.

Um dos materiais mais consumidos no mundo depois da água é o concreto. Composto por insumos como cimento, água, agregados graúdos e miúdos como pedra e areia, o concreto é classificado como um material heterogêneo, que pode ser incorporado com adições de cinzas volantes e escoria, a fim de melhorar ou modificar sua propriedade básica. Sua preparação pode ser realizada in loco, ou seja; no próprio canteiro de obras, ou ainda em centrais de produção de concreto usinado.

Em um canteiro de obras além do uso do concreto, temos a presença de materiais diversos, como; argamassa, pedra, areia, cimento, brita, azulejos, blocos etc., que pode durante o seu manuseio liberar material particulados decorrentes de sua composição no ambiente de trabalho, já que em sua granulometria variada e dimensões diversas constituem sua composição, expondo o trabalhador aos seus componentes químicos que ficam no local frequentado.

O material particulado ou poeiras minerais são agentes de risco para o trabalhador quando expostas por longos períodos, ou seja; o fator tempo de inalação em um ambiente que é frequentado por um trabalhador todos os dias, e que muitas das vezes desempenha a mesma função faz com que ele inale e tenha contado com o material de forma contínua e prolongada durante a sua jornada de trabalho, podendo produzir efeitos negativos à saúde.

Dentre as doenças ocupacionais que podem ser ocasionadas pela exposição prolongada dos materiais particulados, temos as pneumoconioses, que são as doenças decorrentes de inalação de poeiras minerais em ambiente de trabalho, onde as poeiras inaladas são capazes de chegar aos alvéolos pulmonares, pois o sistema imunológico e leucócito humano não é capaz de combater de forma eficaz a entrada de tais componentes.

Um dos tipos de pneumoconioses é a silicose, que é desenvolvida pela inalação de pó de sílica (quartzo) encontrada em amplamente em materiais da construção civil, já que ela é um mineral presente em rochas e areias. A silicose pode ocasionar

sintomas como; tosse com presença ou não de catarro, fadiga devido ao esforço para respirar, e em casos mais graves doença renal crônica ou câncer de pulmão.

A Norma Regulamentadora (NR) – 15, define limites para a exposição de poeiras minerais em ambiente de trabalho, já que está pode ser prejudicial à saúde ocupacional do trabalhado.

De forma geral, objetivo do trabalho foi quantificar o número de partículas em suspensão em um canteiro de obras.

Analisar e correlacionar como as partículas estão dispersas em um ambiente do setor da construção civil é necessário para compreender como tais atividades afetam a saúde ocupacional dos trabalhadores.

Visando uma forma de quantificar e mensurar as dimensões das partículas decorrentes de atividades como; lançamento de concreto e seu adensamento durante concretagem em um canteiro de obras, podem gerar medidas preventivas ou corretivas, como uma forma de amenizar o risco de doenças ocupacionais decorrente da inalação ou contato de material particulado resultante do processo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O setor da construção civil é um dos setores mais importantes e produtivos do país, através dele há crescimento e desenvolvimento econômico, além da criação direta e indireta de empregos e renda para a população. Uma das formas mais impactantes relacionadas no consumo de insumos, é o uso do cimento (MARCELLO, 2018).

No processo produtivo do cimento temos calcário constituído de carbonato de cálcio (CaCO_3) sendo um dos principais componentes; areias ou argila compostas de silicatos como o alumínio, óxido de ferro e silício; o gesso como forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sendo um mineral presente em todos os tipos de cimento Portland; e escórias sendo adições que possui propriedades aglomerantes, que auxiliam na resistência final do cimento (LIMA, 2011).

A indústria cimenteira citadas por MAURY e BLUMENSCHNEIN (2012), é responsável por causar desde impactos ambientais, à conflitos com habitantes locais pelo fato de que, durante a produção há uma liberação de material particulado no ambiente, o que além disso, pode gerar problemas relacionados à saúde humana devido as poeiras minerais decorrentes de sua composição.

Decorrente de uma das etapas do processo produtivo do cimento temos o clínquer. Uma composição química adequada de clínquer deve conter, cal, sílica, alumina e óxido de ferro; estes são levados ao forno, onde alcança temperaturas aproximadas de 1450° para fusão e formação de bolotas. O seu ciclo finaliza no estágio de resfriamento, no qual ocorre reações químicas, que garantem a resistência do concreto. Após o resfriamento o clínquer passa para o processo de moagem, onde o objetivo é a redução da dimensão da partícula, entregando posteriormente o seu produto final, o cimento (MACHADO, 2019).

O processo de moagem do clínquer é que define se o cimento produzido vai atingir a resistência necessária em 28 dias, fornecendo assim um concreto de qualidade; para isso o moinho deve retornar um produto com partículas que estejam entre 3-32 μm .

O concreto possui diferentes destinos dentro da construção civil, desde uso em fundações, vigas, pilares, lajes, até uso como acabamento decorativo; desta forma ressaltamos que seu uso é expressivo em todo período de construção civil, citado por LOPES, PENHAÇA e CASTRO (2020), como o material mais consumido do mundo, perdendo apenas para o consumo de água.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), define que as substâncias encontradas na atmosfera de um ambiente, em uma concentração considerável, podem torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo a saúde. Estas substâncias podem ser primárias, que estão ligadas a fonte de emissão; ou secundárias que são formadas através de reações químicas entre as substâncias primárias e componentes presentes na atmosfera.

Uma das formas de utilizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), como indicador de qualidade do ar é a realização da medição de Materiais Particulados (MP). Os materiais particulados podem ser classificados então como; Material Particulado (MP), Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP10) e Partículas Inaláveis Finas (MP2,5).

As Partículas Totais em Suspensão (PTS), são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 μm . Já as Partículas Inaláveis (MP10), são as que apresentam diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 μm , estas são capazes de atingir o sistema respiratório, podendo chegar aos alvéolos pulmonares. A Partículas Inaláveis Finas (MP2,5), são constituídas de diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 μm , estas já são capazes de se aprofundar no sistema respiratório, atingindo os alvéolos pulmonares.

O risco ocupacional envolvido aos trabalhadores em um canteiro de obras são diversos, sendo um deles a exposição ao Material Particulado presentes nos materiais utilizados nas rotinas diárias, a exposição prolongada à eles, pode desenvolver aos trabalhadores que chamamos de doenças ocupacionais. As pneumopatias estão relacionadas à inalação de poeiras em ambientes de trabalho, onde o material inalado chega até as vias aéreas inferiores, causando doenças como a silicose e asbestose. Além das doenças respiratórias temos as dermatoses que ocorrem por meio de agentes físicos, biológicos e químicos; e a dermatite causada por processos alérgicos ou inflamatórios (GROSSKOPF, BORGES e CAMPOS, 2020).

No artigo Pneumoconiose publicado em 2006, pelo Ministério da Saúde, revela que as formas epidemiológicas ocorrem pela exposição à inalação das poeiras durante as atividades no ramo da construção civil, durante o processo de fabricação ou nas operações realizadas no canteiro de obra. Em 1996, dados do IBGE estimaram que o número de trabalhadores do ramo da construção expostos às poeiras era em torno de 4,5 milhões de trabalhadores. Apesar dos avanços tecnológicos e novas políticas de trabalho que visam melhores condições de trabalho, vale mantermos atentos os riscos ocupacionais relacionados em um canteiro de obra.

SANTOS, JÚNIOR e GALVÃO (2022), citam ainda que a dimensão aerodinâmica das partículas está diretamente ligada, a capacidade de serem ou não absorvidas pelo nosso organismo, seja pelas vias áreas superiores ou até mesmo as vias aéreas profundas. Além da dimensão, a composição química é um fator de risco, pois ela interfere diretamente nos padrões de qualidade do ar. Um exemplo de uma composição química muito presente no canteiro de obra é a sílica, está por sua vez consegue permanecer nas vias aéreas ocasionando processo inflamatório das células pulmonares. Além da sílica temos o gesso, que também é constituído por uma partícula fina que conseqüentemente eleva a presença de poeira no ambiente.

A Norma de Higiene Ocupacional (NHO 08), cita a necessidade da avaliação quantitativa de materiais particulados suspensos no ar, já que estes em um ambiente sem controle pode implicar no surgimento de doenças respiratórias. O objetivo da norma é obter amostras que sejam representativas das partículas suspensas em um ambiente de trabalho. A Norma apresenta que para ser inalável, basta que a fração de material particulado no ar tenha diâmetros menores a 100 μm , podendo adentrar pelas narinas ou boca, durante a inalação.

Para reconhecimento de riscos, a Norma de Higiene Ocupacional (NHO 08), cita que as informações devem ser obtidas a partir de processos de trabalho, como; operações, manuseio de matéria prima e quais são, produtos manipulados e resíduos. Dentre as investigações necessárias de atenção temos; materiais que possam ser manipulados e lançados no ar do ambiente durante as operações, processos que envolva moagem, peneiramento, lixamento, corte, polimento, dentre outros; condições do ambiente de trabalho, podendo ser este em local aberto ou fechado e condições climáticas, como correntes de ar, ventilação temperatura ou umidade.

QUELHAS e SOUZA (2003), apresentam um estudo no qual, o objeto foi classificar e identificar algumas das principais situações e atividades da construção civil que resultam na presença de sílica livre na poeira no ambiente. Eles ressaltam que, para uma amostragem adequada é necessário que o aparelho utilizado para coleta deve ser necessário de coletar partículas que sejam representativas como material particulado respirável, ou seja, neste caso ela se torna representativa como exposição ocupacional. Dentre as atividades estudadas foram; processo de demolição, perfuração de rochas, terraplanagem, quebra de concreto, preparação de argamassa e concreto, lixamento e corte de granito, dentre outros.

DIAS et al. (2017), falam sobre a doença pela exposição a sílica, decorrentes as atividades ocupacionais, que deste de a criação do Ambulatório de Pneumologia Ocupacional, do Serviço Especializado em Saúde do Trabalhador (SEST), do Hospital das Clínicas da UFMG, em Belo Horizonte, sendo aproximadamente 30 anos, foram constatados cerca de 2.000 trabalhadores expostos a sílica. Uma exposição que até os anos 2000 foi mais fortemente presente no setor da mineração passou a estar presente em outros setores, como; garimpo, lapidação de pedras e pedreiras.

Um dos relatos importantes que DIAS et al. (2017) expõem é a extração de quartzito folhado de São Tome das Letras, MG; revelando que em 2008 segundo a Superintendência Regional do Trabalho e Emprego (SRTE), o número de trabalhadores formalmente no beneficiamento era em torno de 1.200 a 800 trabalhadores, desconsiderando os informais. Como consequência prolongada foram identificados 185 trabalhadores expostos a sílica na região, sendo 73 diagnosticados com silicose.

A silicose é uma doença decorrente de um processo inflamatório parenquimatosa, causada pela inalação de poeira de sílica livre cristalina presente na figura 1. Ela apresenta uma forte relação entre dose-resposta, ou seja, o risco e gravidade aumentam decorrente da dose inalada e o tempo de exposição e concentração.

Figura 1 – Pulmão de um portador de Silicose aguda.



Fonte: Atenção à saúde dos trabalhadores expostos à poeira de sílica e portadores de silicose, pelas equipes da atenção básica/saúde da família. Dias et al, 2017.

Em estudo divulgado pelo Fundacentro em 2022, revela a taxa de mortalidade decorrentes da silicose. No período dos anos entre 2000 a 2017 somam um total de 2895 óbitos, dentre eles 2806 homens e 89 mulheres.

Dentre os vários materiais manipulados e usados no setor da construção civil, a presença de material particulado inalável é fortemente abundante, visto que materiais como areias que pode chegar a granulometrias de até 0,075 mm e no caso de cimentos temos ABNT NBR 11579 (2013) – Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200).

Em um estudo SIMONETO (2020), fazendo uma relação sobre o grau de finura do cimento de forma temporal, onde eles apresentam um crescente grau de finura ao longo dos anos. Em conclusão o autor traz que o emprego de cimentos mais finos otimiza a dosagem, além de trazer ganhos na redução da relação água /cimento, dentre outros ganhos. Desta forma, temos que com o passar dos anos os materiais particulados vão ser cada vez menores em um canteiro de obras.

De forma geral, é necessário entender a relação dos materiais particulados e suas dimensões, e em quais processos estão englobados na construção civil, visando uma forma de amenizar os danos causados pelas doenças ocupacionais adquiridas na jornada de trabalho.

3. MATERIAL E MÉTODO

O presente trabalho consiste em realizar medições de materiais particulados suspensos no ar em um canteiro de obras da construção civil. Com o levantamento do material é possível entender a interação do material particulado com o meio ocupacional, além de entender quais influências ele pode gerar nas vizinhanças próximas ao seu manuseio. Nosso foco inicial foi quantificar o número de partículas presentes no ambiente durante o lançamento e adensamento de concreto.

Para realização da coleta de material particulado foi utilizado o instrumento de medição, contador de partículas com câmaras com monitor LCD TFT colorido de 2,8", que é capaz de realizar capturas e leituras fáceis e precisas de partículas, temperatura do ar e umidade relativa (manual do instrumento). A opção pelo Modelo CPT-100, foi decorrente da sua disponibilidade, já que este se encontra no laboratório de Ensaios Mecânicos e Metrologia do Centro Universitário de Lavras - Unilavras.

Porém analisando as especificações técnicas do aparelho, notamos que a sua precisão em relação a coleta de material particulado é de 50% partículas $<0,3\mu\text{m}$ / 100% para partículas $>0,45\mu\text{m}$, e sendo capaz de coletar 6 dimensões diferentes de material particulado.

3.1 Material

Para coleta do material de estudo, foi possível visitar 3 obras diferentes na cidade de Lavras-MG, selecionadas de forma aleatória e não tendenciosa para coleta de dados.

O instrumento utilizado na pesquisa foi o Contador de Partículas com Câmeras do Modelo CPT-100 que está mostrado na Figura 2. A vantagem de utilizar o instrumento CPT-100 é a praticidade de ser um aparelho portátil, recarregável e de fácil utilização. Após a finalização de cada medição ele retorna partículas em 6 dimensões, sendo elas; $0,3\mu\text{m}$, $0,5\mu\text{m}$, $1,0\mu\text{m}$, $2,5\mu\text{m}$, $5,0\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$, além de contabilizar a quantidade de partículas por dimensões ele nos retorna a temperatura e umidade do local medido.

Figura 2 - Contador de Partículas com Câmeras do Modelo CPT-100

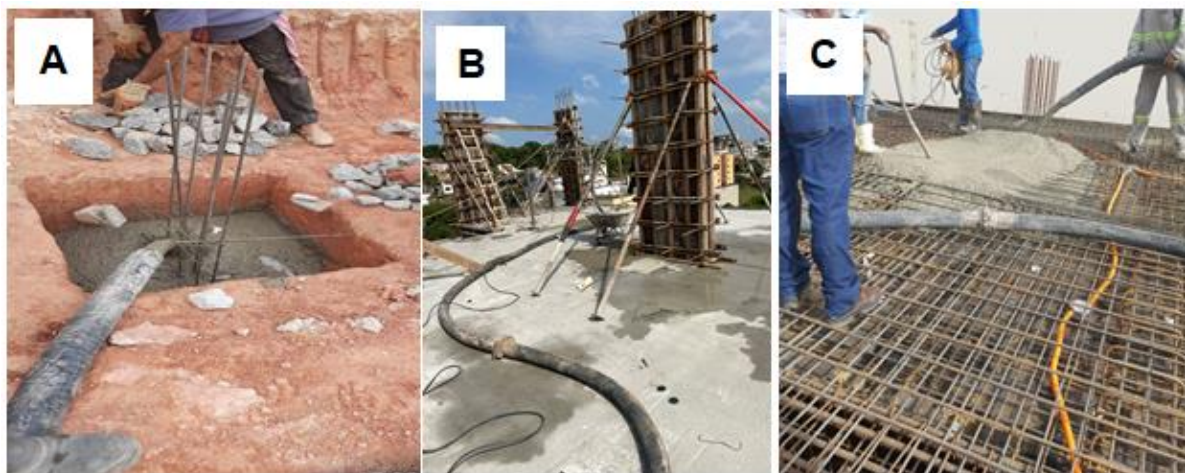


Fonte: Os autores, 2023.

As obras visitadas para a coleta dos dados durante o lançamento e adensamento de concreto foram de; fundação (sapata), de pilares e laje maciça juntamente com as vigas de forro. Durante cada processo de concretagem das estruturas citadas, optamos nos manter nas proximidades do local onde o mangote estava realizando o lançamento, sendo em torno de 60 cm. Em todas as concretagens, foram utilizados concreto usinado.

Na figura 3 podemos visualizar os locais de concretagem, sendo na figura 3A a concretagem das sapatas, na figura 3B a concretagem dos pilares e na figura 3C a concretagem da laje juntamente com as vigas de forro. A utilização de tipologias diferentes de estruturas nas quais estavam sendo realizadas a concretagem não apresenta relevância científica, a justificativa se dá pelo fato que no período de estudo foram as obras disponíveis para coleta e posteriormente análises dos dados.

Figura 3 – Local de Concretagem



Fonte: Os autores, 2023.

Em cada obra visitada foram coletadas 10 amostras, sendo que cada uma retornou as 6 dimensões disponíveis do aparelho. Através dos dados levantados em campo foi possível realizar uma relação do tamanho de cada partícula encontrada no local de referência.

3.2 Método

Os dados foram coletados no processo de concretagens, foram colocados em software de planilha, como demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 1 - Tamanho das partículas de acordo com o local extraído.

Local de coleta	Tamanho das partículas (μm)					
	0,3	0,5	1	2,5	5	10
Sapatas	21127	8861	2609	801	370	153
Pilares	21552	7639	1615	311	164	39
Laje/Vigas	6513	1719	333	47	27	5

Fonte: Os autores, 2023.

Na tabela 1, podemos observar o número total de partículas coletadas de acordo com cada dimensão, sendo a de $3\mu\text{m}$ a mais coletada.

Para análise dos dados apresentados na tabela 1 optamos por utilizar o método de regressão R^2 . O termo regressão foi introduzido estatístico britânico Francis Galton, que verificou que a tendência de ter pais altos terem filhos altos. Hoje o método estatístico auxilia na modelagem entre as variáveis, além de retornar previsões e

tendências, auxiliar na tomada de decisão baseados nos dados, realizar a análise de causa e efeito e avaliar a qualidade do modelo, ou seja, se este se ajusta bem aos dados observados.

Inicialmente foi utilizado Regressão linear simples para descrever os dados de tamanho da partícula e quantidade de partículas de cada tamanho. A regressão linear simples tem uma variável dependente (quantidade de partícula) e uma variável independente (tamanho da partícula), ambas coletadas no local de concretagem.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$$

(1)

Fonte: BECKER, João Luiz. Estatística Básica, 1^o. ed.

Onde:

y_i = estimador de $E(Y/X_i)$;

β_0 = estimador de β_0 ;

β_1 = estimador de β_1 ;

ϵ_i = variável aleatória

Também foi calculado da regressão exponencial para representar também os dados do tamanho da partícula e quantidade de partículas de cada tamanho.

Após o uso dos dois modelos estáticos de regressão linear e exponencial foi aplicado os resultados no coeficiente de determinação R^2 . O método de R^2 representado na equação 2, foi formulado por FISHER (1925), meados ao século 20. O objetivo do métrica estatística é avaliar o ajuste de uma modelo aos dados observados, ou seja, quanto próximo de 1 for o resultado do R^2 , melhor é o ajuste dos dados da amostra.

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{tot}}{SQ_{res}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a_m)^2}{\sum_{i=1}^n (a_i - y_i)^2} \quad (2)$$

Fonte: BECKER, João Luiz. Estatística Básica, 1^o. ed.

Sendo,

a_i = Dados reais (teste)

y_i = Dados estimados

am = Média dos dados reais

n = quantidade de dados

Após análises dos métodos estáticos utilizados software de planilhas, para formular um gráfico, onde podemos realizar a leitura dos indicadores de forma visual da quantidade de partículas das sapatas, pilares e laje com vigas de forro.

4. RESULTADOS

O indicador estatístico R^2 foi calculado de forma linear, porém não teve um bom ajuste às amostras, já o método exponencial obteve um bom resultado já que quanto mais próximo de 100%, melhor é o ajuste. Comparado os dados das amostras em porcentagem podemos observar que o método R^2 exponencial obteve resultado superior a 98 %, tanto para a concretagem das sapatas, pilares e laje com vigas listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativos de indicadores estatísticos na predição de partículas na concretagem de sapatas, pilares e laje com vigas

Local	R^2 Linear	R^2 Exponencial
Sapatas	33,98%	99,28%
Pilares	29,55%	99,00%
Laje com vigas	25,47%	98,59%

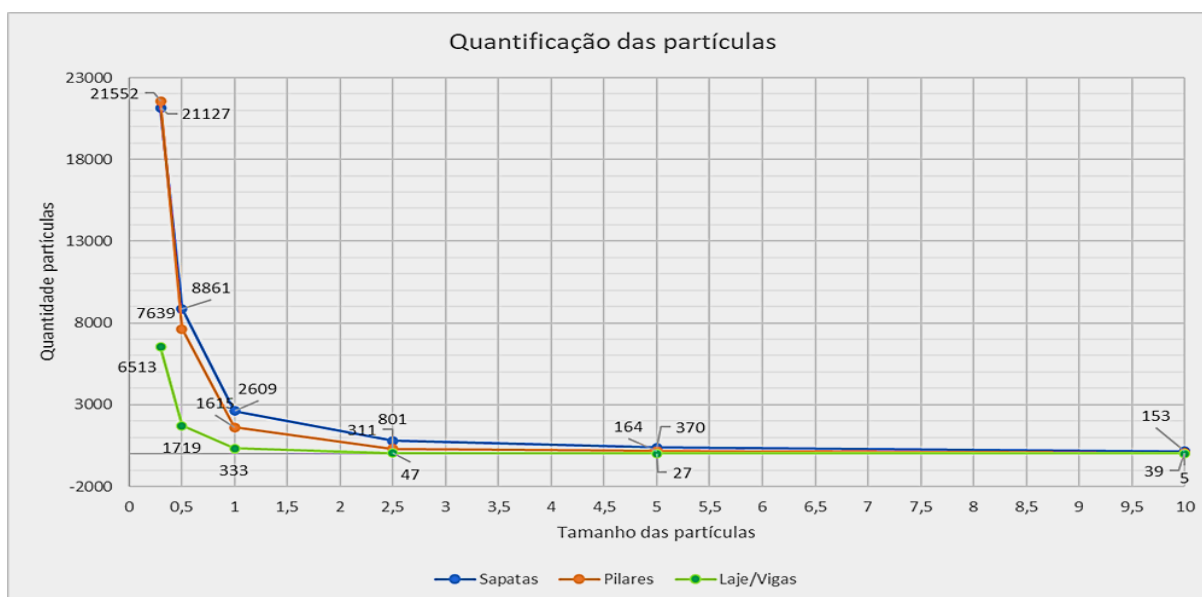
Fonte: Os autores, 2023.

As análises de regressão são usadas para modelar a relação entre duas variáveis, para quantificar a proporção da variabilidade total da variável dependente, onde ela pode variar de 0 a 100%. Os dados da concretagem das sapatas, pilares e laje com vigas não foram bem representados na forma linear, pois não atingiram nem 50% de representatividade, ou seja, na proporção de variação o modelo fica com valores mais próximos de 0, logo os dados quando analisados de forma linear, sugere que R^2 não se aplica bem a variabilidade observada. Então foi necessário a mudança do tipo de análise, de regressão linear para não linear. R^2 exponencial indica o grau de precisão disposto em gráfico com traçado em curva, neste quando analisamos o resultado não somente da tabela 2, mais como também no gráfico 1, apresentou melhor ajuste aos dados, já que foi a regressão exponencial tem em seu resultado dados mais próximos de 100%, indicando que as variáveis possuem relação entre si, ou seja, o modelo R^2 exponencial alto indica que a curva exponencial se ajusta bem aos dados observados.

Já os dados gráficos, quando comparados retornaram à quantidade de partículas de cada estrutura estudada. As partículas de dimensões de 0.3 μ m, 0.5 μ m,

1.0 μm , 2.5 μm , 5.0 μm e 10 μm dispostas no gráfico 1 é de fácil visualização e indica que o quantitativo da menor dimensão possui um número expressivo em todos os locais coletados.

Gráfico 1 - Comparativo da quantidade de partículas na concretagem de sapatas, pilares e laje com vigas



Fonte: Os autores, 2024.

A partícula com tamanho de 0.3 μm tem em torno de 150 vezes a mais que a partícula de maior tamanho que é 10 μm . Esse cenário aconteceu em todas as amostras. Desta forma podemos compreender que a parcela de material particulado inalável possui o maior peso dentre as amostras levantadas.

Quando comparado às amostras da concretagem da sapata obteve um maior número de partículas em relação à concretagem dos pilares e laje/vigas. Na concretagem da laje/vigas o número de partículas foi 3 vezes menor quando comparados às sapatas e pilares. Uma das hipóteses levantadas foi o local da amostragem ainda estar com seu terreno no solo, ocasionando durante a movimentação daqueles que transitavam ali poeira no ambiente. Por outro lado, vale a pena levantar a consideração que durante o lançamento e adensamento de concreto das sapatas foi lançado juntamente pedras de mão, dispersando partículas de concreto no local adjacente.

5. DISCUSSÃO

Vale lembrar que o material particulado é um poluente, que pode ser tanto de partículas líquidas como sólidas, que quando citamos um material particulado com dimensões aerodinâmicas inferiores a $2,5 \mu\text{m}$, são as que causam mais impactos, já que estas são capazes de afetar o sistema respiratório e penetrar o sistema circulatório (SANTOS, JÚNIOR e GALVÃO, 2022).

Em revisão literária FERRAZ (2020), aborda que além da importância de controle de partículas com dimensões inferiores a $100 \mu\text{m}$, é necessário termos o conhecimento de quais composições químicas são. O levantamento da composição química das partículas coletadas em um canteiro de obras na cidade de Londrina/PR, apontou elementos como magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), titânio (Ti) e ferro (Fe).

Com as várias atividades e o consumo de insumos diversos, tende a ter material particulado com variadas composições, que podem ocasionar as doenças ocupacionais, visto que o trabalhador está exposto a ele em sua jornada de trabalho.

BELO e TOFOLI (2011), quando compararam a concentração de partículas na cidade de Vitória-ES obteve uma maior concentração nos dias úteis, enquanto as menores ocorreram nos finais de semana.

Como métodos preventivos simples temos, manutenção de um ambiente com boa ventilação, fazer uso de borrifadores de água antes de executar atividades que propaguem um nível elevado de poeira no ambiente, visando uma melhor qualidade ao ambiente trabalhado, além de preservar as áreas adjacentes.

Além dos métodos de prevenção vale a pena ressaltar que a Norma de Higiene Ocupacional (NHO 08), define procedimento padrões para coleta de material particulado, como uma forma de controle e avaliação de risco ocupacional. Como uma medida preventiva, atividades desempenhadas de forma contínua em um local que possuam um ambiente com um número elevado a material particulado inalável, recomenda-se que seja utilizado uma máscara como EPI durante a jornada de trabalho.

6. CONCLUSÃO

Visto que o objeto inicial em nosso estudo era de quantificar o número de partículas em um canteiro de obra, vislumbramos um cenário onde podemos afirmar que em um canteiro de obras temos mais partículas com dimensões menores, visto que o número de partículas de $3\mu\text{m}$ se demonstrou mais presente do que a de maior dimensão de $10\mu\text{m}$. Um dos assuntos não abordados neste estudo foi de como e se a umidade do ar interfere na quantidade de partículas liberadas no ambiente de estudo.

No presente estudo não foi possível afirmar se de fato o lançamento e adensamento do concreto é o único responsável pelo o quantitativo total de partículas liberadas, já que o canteiro de obras é repleto de atividades que ocorrem de forma simultânea. Porém, devido ao fato de as amostras terem sido realizadas nas proximidades do local de lançamento e adensamento de concreto, concluímos que o maior contribuinte do número total é decorrente da atividade.

Em nossos estudos vislumbramos um cenário com pouco estudo, visto que a área é pouco abordada no meio acadêmico e profissional, principalmente na indústria da construção civil, no entanto, é importante avançar direcionando os esforços para a validação dos resultados até então obtidos.

Entendemos que quando tratamos de questão sobre saúde ocupacional, no contexto da construção civil é de extrema importância evidenciamos os riscos, nos quais os trabalhadores podem estar sujeitos nas rotinas de trabalho. É necessário detalharmos e desenvolvermos mais pesquisas com o objetivo de implementar políticas públicas trabalhistas mais eficazes voltadas para a segurança do trabalho no que se refere a inalação de materiais particulados, principalmente de poeiras minerais que são prejudiciais à saúde.

Logo concluímos que além dos estudos para aprimorar e detalhar a importância da saúde ocupacional, devemos lembrar de estar tomando medidas preventivas através de equipamentos de proteção individual que já existem no mercado; como máscaras e óculos de proteção, como também ao realizar uma atividade que tem tendência a provocar uma dissipação de material particulado no ambiente tomar os cuidados devidos, de forma a reduzir a inalação de partículas prejudiciais à saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A importância da aplicação de análises de caracterização física de partículas e pós. Trabalhos técnicos, Acil Weber. Disponível em: <<https://www.acilweber.com.br/a-import%C3%A2ncia-da-aplica%C3%A7%C3%A3o-de-analises-de-caracterizacao-fisica-de-particulas-e-pos.php>> Acesso em maio de 24.

ABNT - NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (n° 200). Rio de Janeiro, 2013.

Atenção à saúde dos trabalhadores expostos à poeira de sílica e portadores de silicose, pelas equipes da Atenção Básica/Saúde da Família: protocolo de cuidado / Coordenação Elizabeth Costa Dias; Ana Paula Scalia Carneiro... [et al.]; -- Belo Horizonte: Nescon/UFMG, 2017. 76 p.

BECKER, João Luiz. Estatística Básica: Transformando Dados em Informação. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 488p.

BELO, P. I. D. e TOFOLI, R. **Quantidade dos níveis de partículas finas (MP2,5) no município de Vitória**. 2011. 37 f. Trabalho de Conclusão de Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde**. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Pneumoconioses / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 76 p. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://bvsms.sau.gov.br/bvs/publicacoes/06_0443_M.pdf&ved=2ahUKEwiQi-nPlqKFAxWlqJUCHXApBzMQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw0_JhkOgqDCKG5PxOXvSOyA> acesso em: junho de 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>> Acesso em maio de 24.

COUTO, J. A. S.; et al (2013). **O concreto como material de construção**. *Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE*, 1(3), 49–58. Disponível em: <<https://periodicos.grupotiradentes.com/cadernoexatas/article/view/552>> acesso em: março de 2024.

Estudo da Fundacentro analisa mortalidade por silicose. FUNDACENTRO, GOV.BR. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2021/marco/estudo-da-fundacentro-analisa-mortalidade-por-silicose&ved=2ahUKEwiBr4rjjoSGAxX4LLkGHcBVCesQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw2YwS zqQB21DRIV0L8W5gKm>> Acesso em maio de 24.

Fisher, R.A. (1925). Statistical methods for research workers (11th ed. rev.). Oliver and Boyd: Edinburgh.

GONÇALVES, M. V. P. et al. **Gerenciamento de riscos e limites de exposição ocupacional da NR-15 para as poeiras minerais**. SEMOC-Semana de Mobilização Científica-Alteridade, Direitos Fundamentais e Educação, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://ri.ucsal.br:8080/jspui/bitstream/prefix/1399/1/Gerenciamento%20de%20riscos%20e%20limites%20de%20exposi%20%C3%A7%C3%A3o%20ocupacional%20da%20NR>

-
15%20para%20as%20poeiras%20minerais.pdf&ved=2ahUKEwiSwJyuqKSFAXWXqpUCHZeVC7MQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw2XSb4tktar78Yi7mZvuuYE> Acesso em: abril de 2023.

GROSSKOPF, G. G., BORGES, G. M., CAMPOS, M. G. L **Prevenção em segurança e saúde do trabalho no uso do cimento na construção civil**. Trabalho de conclusão de curso da UNISOCIENC, Joinville – SC, 26 de outubro de 2020. Disponível em <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/14627>> Acesso em 05/06/2022.

LIMA, A. B. O processo produtivo do cimento Portland. Belo Horizonte, 2011. Disponível em <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9C6HHC/1/monografia_processo_produtivo_cimento_portland.pdf&ved=2ahUKEwjvcbAhoSGAxXpD7kGHcZMDFkQFnoECB4QAQ&usg=AOvVaw2I4z0e5A1Lxm72S56QBO3a> Acesso em maio de 24.

LOPES, H. M. T.; PEÇANHA, A. C. C; CASTRO, A. L. Considerações sobre a eficiência de misturas de concreto de cimento Portland com base no conceito de empacotamento de partículas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, p. e-12549, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/nDMHgssYDsY6zL5fs6gp9gS/?lang=pt>.> Acesso em: março de 2024.

MACHADO, A. C. G. Estudo da eficiência de moagem de clínquer em um moinho de bolas. Universidade Federal de Lavras, 2019. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://sip.prg.ufla.br/arquivos/php/bibliotecas/repositorio/download_documento/20192_201510605&ved=2ahUKEwjQ24r4h4SGAxX8LLkGHdGPDTUQFnoECB4QAQ&usg=AOvVaw1-FYNshoMCUcnGEJSQAE4N> Acesso em maio de 24.

Manual do usuário – contador de partícula com câmera, modelo CPT-100, INSTRUTHERM. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.instrutherm.com.br/media/hexaattachment/products/attachments/CPT-100_21-02-20_1_.pdf&ved=2ahUKEwi63IHZpKSFAXUJObkGHX1KBhkQFnoECB4QAQ&usg=AOvVaw3wz-i-H_uW0hao1vqILvSP> Acesso em: novembro de 2023.

MARCELLO, G. A. **O uso do cimento e argamassa de cal na construção civil e riscos prejudiciais à saúde**. 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/20243&ved=2ahUKEwilmvG4pqSFAXWgrZUCHUC9B7cQFnoEC A8QAQ&usg=AOvVaw0AWQkNx--tgXUDq5ryCNcU>> acesso em: junho de 2022.

MAURY. M. B., BLUMENSCHNEIN. R. N. **Produção de cimento**: Impactos à saúde e ao meio ambiente. Revista Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

Disponível em:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiR2auAnfv4AhWhDNQKHRcKB9QQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.unb.br%2Fbitstream%2F10482%2F12110%2F1%2FARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf&usg=AOvVaw1txBMS5ht3Vl86qjgQmzJy. Acesso em: julho de 2022.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **NR 15 - Atividades e operações insalubres**, Anexo N.º 12 limites de tolerância para poeiras minerais. Secretaria de segurança e saúde no trabalho, 28 de maio de 1991.

Norma de higiene ocupacional: procedimento técnico: coleta de 1234567material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho / 1234567Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. – São Paulo: Fundacentro, 2007. 24 p.: il. – (Normas de higiene ocupacional - NHO; 08)

SANTOS. J. M.; Santos.; JUNIOR. N. C. R.; GALVÃO. E. S. – Goiânia: Alta Performance, 2022. 170p. **Material Particulado na atmosfera urbana e suas interações com a saúde humana.** Disponível em:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiXz53QtvyEAXonpUCHXpEAfsQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fqualidadedoar.ufes.br%2Fsites%2Fqualiar.ufes.br%2Ffiles%2Ffield%2Fanexo%2Fmaterial_particulado_na_atmosfera_urbana_e-book.pdf&usg=AOvVaw1bwScSHASz0PAEfpuyhmJk&opi=89978449>
Acesso em: março de 2024.

SIMONETO, G.W. **Avaliação da alteração da finura e composição do cimento Portland brasileiro nas últimas décadas: estudo exploratório**. 2020. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <<https://dspace2.unila.edu.br/bitstreams/991eeda2-b255-4cd2-884f-2f504c9206ca/download>> Acesso em fevereiro de 2024.

SOUZA, V. F.; QUELHAS, O. L. G. Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção civil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 8(3):801-807, 2003. Disponível em:
<<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.scielo.br/j/csc/a/5Rrc6pYWtJZYhWP7r7bXgTv/abstract/%3Flang%3Dpt&ved=2ahUKEwii056GjISGAxW6rZUCHf7bBAkQFnoECBIQAQ&usg=AOvVaw3gZHd3NvGtT1A9o14A4CQl>> Acesso em maio de 24.