

UNIVERSIDADE DE UBERABA

JOSÉ CARLOS PEREIRA JÚNIOR

**A QUALIDADE DO AR COMO RESULTADO DE ETAPAS
SEQUÊNCIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**UBERABA-MG
2024
JOSÉ CARLOS PEREIRA JÚNIOR**

A QUALIDADE DO AR COMO RESULTADO DE ETAPAS
SEQUÊNCIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação de conclusão de curso apresentado a Universidade de Uberaba, como requisito parcial para o programa de Pós-Graduação no Curso de Engenharia Química Mestrado Profissional-PPGEQ-MP.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

P414q Pereira Júnior, José Carlos.
A qualidade do ar como resultado de etapas sequenciais na construção civil / José Carlos Pereira Júnior. – Uberaba, 2024.
46 f. : il., color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Química. Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.
Orientador: Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer.

1. Construção civil. 2. Química ambiental. 3. Construção civil – Resíduos. 4. Canteiro de obras. I. Finzer, José Roberto Delalibera. II. Universidade de Uberaba. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Química. III. Título.

CDD 690

JOSÉ CARLOS PEREIRA JÚNIOR

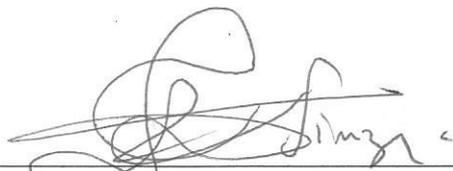
**A QUALIDADE DO AR COMO RESULTADO DE ETAPAS SEQUENCIAIS
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

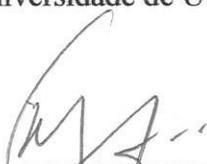
Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 30/10/2024

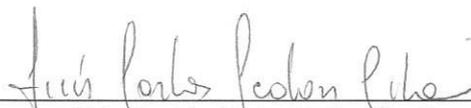
BANCA EXAMINADORA:



Prof(a). Dr(a). José Roberto Delalibera Finzer - Orientador(a)
Universidade de Uberaba



Prof(a). Dr(a). Mauro Luiz Begnini
Universidade de Uberaba



Prof(a). Dr(a). Luís Carlos Scalon Cunha
Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química Mestrado Profissional - PPGEQ-MP da Universidade de Uberaba, e a todos professores envolvidos nessa caminhada. À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG (Processos: MPR-01119-16; APQ-01221-24), à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação e à Universidade de Uberaba - UNIUBE.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço à minha família por seu apoio incondicional ao longo dessa jornada. Suas palavras de encorajamento e compreensão foram fundamentais para que eu continuasse avançando, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos meus amigos e colegas de curso, obrigado por compartilharem suas ideias e conhecimentos comigo. Juntos, crescemos academicamente e enfrentamos os obstáculos que surgiram no caminho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer, pelo acolhimento e receptividade para comigo. Recebi mais que orientação acadêmica. Sua sabedoria, experiência e paciência infinita, motivaram-me no processo. Suas contribuições e *feedbacks* foram cruciais para o engrandecimento deste trabalho.

Não posso deixar de agradecer à instituição Universidade de Uberaba por proporcionar as condições e recursos necessários para a realização deste estudo. Aos professores que contribuíram para a minha formação acadêmica. À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG (Processos: MPR-01119-16; APQ-01221-24), à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação e à Universidade de Uberaba - UNIUBE.

Aos participantes da pesquisa, em especial a M. P. Afonso Construções Ltda, na pessoa do seu engenheiro civil responsável Miguel Afonso Neto, com seu medidor de partículas durante as visitas técnicas, meus sinceros agradecimentos. Sem a sua colaboração, este trabalho não teria sido possível.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a mim mesmo por nunca ter desistido, por ter persistido mesmo quando as dificuldades pareciam insuperáveis. Esta dissertação é o resultado de muito esforço e dedicação, e estou orgulhoso do que conquistei.

Que este trabalho possa contribuir de alguma forma para o avanço do conhecimento na área em questão.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O estudo, cujo enfoque é o reconhecimento e a avaliação, principalmente quantitativa dos agentes ambientais, representa o cumprimento das etapas de reconhecimento e avaliação dos riscos ambientais do PGR, apresentando a origem e a intensidade ou concentração do agente ambiental, bem como a indicação de medidas de controle que visem à eliminação, a neutralização ou a minimização da exposição aos agentes ambientais. Foi escolhido o ambiente da construção civil – canteiro de obra em condomínio fechado – por se destacar na quantidade excessiva de poeira, particulado e gases. A poeira é uma quantidade de pequenas partículas de matéria sólida, de variadas origens, estruturas e composições, que se depositam a partir da suspensão pelo ar, causando sujeira em diversos objetos. O particulado e gotículas é um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho, causando problemas na saúde. A forma mais comum de entrada das poeiras e particulados no organismo, se dá pela inalação. Seus efeitos dependem das espécies químicas que as compõem, da sua concentração no ar, do local de deposição no sistema respiratório e do tempo de exposição do trabalhador. Os gases são substâncias que estão no estado físico gasoso da matéria e que têm como principal característica a ocupação de grandes espaços vazios entre as partículas. Em razão disso, as moléculas que compõem os gases interagem muito pouco umas com as outras. Em razão da reduzida interação entre as partículas. Os gases não possuem forma e volume definidos e ocupam totalmente qualquer recipiente que os contenha. Os gases são altamente compressíveis e possuem menor densidade em comparação a líquidos e sólidos. Os dados obtidos nesse estudo, foram medidos com os aparelhos, JD-3002 Air Quality e bombas de amostragem de ar com sensor eletrônico de fluxo laminar da marca Gilian e modelo BDX-II. As medições mostraram que a temperatura e o CO₂ estavam acima do permitido. O Material Particulado esteve no limite em todas as medições, que mostra preocupação e atenção devido ao tempo de exposição. As etapas de reconhecimento e avaliação qualitativa foram realizadas em loco e serviram de base para realização das avaliações quantitativas presentes nessa dissertação.

Palavras-chave: Canteiro de Obra. Qualidade do Ar. Ar Ambiente. Construção Civil. Substâncias Tóxicas. Resíduos.

ABSTRACT

The study, which focuses on the recognition and evaluation, mainly quantitative, of environmental agents, represents the fulfillment of the stages of recognition and evaluation of environmental risks of the PGR, presenting the origin and intensity or concentration of the environmental agent, as well as the indication of control measures aimed at eliminating, neutralizing or minimizing exposure to environmental agents. The construction environment was chosen – a construction site in a gated community – because it stands out for its excessive amount of dust, particulate matter and gases. Dust is a quantity of small particles of solid matter, of varied origins, structures and compositions, which are deposited from suspension in the air, causing dirt on various objects. Particulate matter and droplets are a set of pollutants consisting of dust, smoke and all types of solid and liquid material that remain suspended in the atmosphere due to their small size, causing health problems. The most common way for dust and particulate matter to enter the body is through inhalation. Their effects depend on the chemical species that compose them, their concentration in the air, the place of deposition in the respiratory system and the worker's exposure time. Gases are substances that are in the gaseous physical state of matter and whose main characteristic is the occupation of large empty spaces between particles. Because of this, the molecules that compose gases interact very little with each other. Due to the reduced interaction between particles, gases do not have a defined shape or volume and completely occupy any container that contains them. Gases are highly compressible and have a lower density compared to liquids and solids. The data obtained in this study were measured with the JD-3002 Air Quality devices and air sampling pumps with an electronic laminar flow sensor from the Gilian brand and model BDX-II. The measurements showed that the temperature and CO₂ were above the permitted level. The Particulate Matter was at the limit in all measurements, which shows concern and attention due to the exposure time. The recognition and qualitative assessment stages were carried out on site and served as a basis for the quantitative assessments present in this dissertation.

Keywords: Construction Site. Air Quality. Ambient Air. Civil Construction. Toxic Substances. Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Obra residencial – Condomínio Fechado Uberaba MG	2
Figura 2 - Terreno residencial – Condomínio Fechado Uberaba MG	4
Figura 3 - Impactos ambientais da cadeia da construção civil	5
Figura 4 - Trajetória seguida pela poeira	10
Figura 5 – Composição e camadas da atmosfera	20
Figura 6 – Inversão atmosférica	21
Figura 7 - Aparelho utilizado na medição dos gases	23
Figura 8 - Equipamento utilizado nas medições dos particulados	24
Figura 9 – Elementos que compõe a Bomba	25
Figura 10 – Amostrador isocinético	25
Figura 11 – Localização de Uberaba	26
Figura 12 – 1ª Visita	27
Figura 13 – 1ª Visita	28
Figura 14 – 2ª. Visita	28
Figura 15 – 2ª Visita	29
Figura 16 – 3ª Visita	29
Figura 17 – 3ª Visita	30
Figura 18 – 4ª. Visita	30
Figura 19 – 4ª Visita	31
Figura 20 – 5ª Visita	31
Figura 21 – 5ª. Visita	32
Figura 22 – Canteiro de obra	32
Figura 23 – Distribuição gaussiana de concentração	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação do movimento, coordenadas x, y e z	34
Equação 2 - Equação da energia	34
Equação 3 - Equação da conservação de massa	35
Equação 4 - Equação gaussiana	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Convenções adotadas pela ACGIH, e ISO para porcentagens em massa de poeira inalável, torácica e respirável.....	11
Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar.....	12
Tabela 3 - Níveis de atenção, alerta e emergência.....	13
Tabela 4 - Concentração (mg/m ³).....	14
Tabela 5 - Especificação do Modelo das Bombas de Amostragem de ar	22
Tabela 6 - Níveis aceitáveis.....	33
Tabela 7 - Dados obtidos durante os dias de medição.....	36
Tabela 8 - Registro da Exposição aos Particulados	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FCA	Ferrovias Central Atlântica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	Organização Internacional de Normalização
MP	Material Particulado
NR	Norma Regulamentadora
PAH _s	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
PIB	Produto Interno Bruto
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PVC	Policloreto de Vinila
TVOC	Compostos Orgânicos Voláteis Totais

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1.	O PROCESSO DA EXTRAÇÃO, DA FABRICAÇÃO E A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	5
3.2.	MATERIAL PARTICULADO	6
3.2.1	CLASSIFICAÇÃO DAS POEIRAS	7
a)	Forma da partícula.....	7
b)	Origem da partícula.....	7
c)	Tamanho da partícula e distribuição de tamanho	7
3.2.2	EFEITOS DA POEIRA SOBRE O ORGANISMO	8
a)	Efeitos fibrogênicos.....	8
b)	Efeitos cancerígenos.....	8
c)	Efeitos tóxicos sistêmicos	8
d)	Efeitos cutâneos.....	8
e)	Efeitos irritantes	8
3.2.3	AMOSTRAGEM DAS POEIRAS	8
3.2.4	ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR	13
3.2.5	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	15
3.2.6	OS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS ENCONTRADOS NOS CANTEIROS DE OBRAS	17
3.3	DISPERSÃO ATMOSFÉRICA.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.2.	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES:.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6	CONCLUSÃO	38
7	ESTUDOS FUTUROS	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Muitas das vezes, a poeira, os gases e particulados, são encarados como meros materiais soltos e suspensos no ar atmosférico. Esses materiais se fazem presentes no ar atmosférico e de forma especial na construção civil. Os canteiros de obras, geram e movimentam a poeira, resultando resíduos poluentes, como: concreto quebrado, gesso desgastado, madeira cortada, solo desestabilizado, descartes irregulares, entre outros. Suas complicações vão além do incômodo visual, em sua maioria, causando danos à saúde dos trabalhadores e do meio ambiente.

No estudo, a presença da poeira na construção civil, é vista identificando suas origens, composição e as diversas maneiras pelas quais a mesma afeta as pessoas e o ecossistema. Além disso, evidencia-se as tecnologias e estratégias inovadoras que estão sendo desenvolvidas para aliviar os efeitos negativos da poeira, promovendo ambientes de trabalho mais saudáveis e reduzindo o impacto ambiental.

A presença de gases e particulados, em sua totalidade formados e misturados no ar, criam condições nocivas à saúde ocupacional dos trabalhadores e usuários.

Nos levantamentos feitos, foram identificados materiais particulados e gases, presentes no ar com teores elevados. Os mesmos, comparados na literatura verificou-se ocorrências com níveis de tolerância alterados, identificando as partículas inaláveis e não inaláveis em aeração, que pode afetar a saúde do trabalhador da construção civil.

A poeira, uma vez considerada como um resíduo inevitável, deve ser encarada com cuidado e atenção. Se controlada ou até mesmo evitada, pode trazer benefícios no canteiro de obras e nas suas proximidades. Este estudo destaca a importância de controlar os níveis das partículas em aeração na construção civil. Uma vez que foi identificado os níveis de CO₂, temperatura e material particulado, no limite e acima do permitido, deve-se ter uma preocupação e atenção ao ambiente de trabalho. Monitorando constantemente e gerando ações de controle das atividades desenvolvidas nos canteiros de obras, ameniza-se os riscos à saúde do trabalhador na construção civil. Ver Figura 1, com destaque na geração de particulados no ambiente advindo do descarregamento de brita da caçamba de um caminhão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os materiais poluentes, causadores de patologias insalubres, existentes no ar do ambiente de trabalho da construção civil (canteiro de obras), que excedem os limites de tolerância a saúde humana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar os níveis de impurezas no ar; bem como identificar os níveis de tolerância a saúde humana. Monitorar a presença dos agentes contaminantes, verificando o layout existente no canteiro de obra.

Figura 1: Obra residencial – Condomínio Fechado Uberaba MG



Fonte: do Autor - 2022

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção civil é um dos mais importantes setores da economia, e do desenvolvimento do país. Ela é responsável por uma grande demanda de empregabilidade e também por fornecer infraestrutura necessária ao desenvolvimento.

A indústria da construção civil é o maior empregador do país, empregando um número significativo de trabalhadores diretos. O Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, na região sudeste do país informou que para cada 100 empregos diretos criados no setor da construção, são criados mais 285 empregos em atividades associadas com a área.

Da mesma maneira que se destaca por fatores positivos, a construção civil é um setor com consideráveis impactos ambientais, sendo assim, uma grande vilã na saúde ambiental, ela chama a atenção por apresentar muitos fatores negativos, como: etapas produtivas ineficientes e ultrapassados (tal como a prática de quebrar ou perfurar blocos cerâmicos ou concreto depois de erguidas as paredes com a finalidade de passar as tubulações elétricas e hidráulicas), e consumo indiscriminado de materiais (muitas vezes acarretado por falta de projetos ou compatibilização dos mesmos, gerando compras excessivas, erradas ou desnecessárias de materiais). Além dos famosos imprevistos, existem os descartes descontrolados e irregulares.

A indústria da construção civil tem sido a razão de discussões quanto à necessidade de se almejar o desenvolvimento sustentável por apresentar-se como grande consumidora de recursos naturais e geradora de uma elevada quantidade de resíduos (SOUZA, 2004)

Os recursos estão cada vez mais escassos, diferentemente de antigamente não se pode utilizá-los de maneira descontrolada e com desperdícios. Com a escassez os produtos vão ficando mais caros. Diante disso deve-se buscar utilizar menos recursos, melhor qualidade e utilizar métodos de produção mais econômicos, de modo a impactar menos no ambiente garantindo aplicação dos recursos disponíveis de forma segura e sustentável.

Todo e qualquer empreendimento acaba causando impactos ambientais durante as diversas fases de sua realização, uso, operação, modificação e/ou demolição, por não destinar seus resíduos de forma correta. A Figura 2 consiste de um terreno em condomínio fechado com início de uma construção. No espaço, pode-se verificar que já existe terra não compactada o que por ação da força de arraste do ar gera poeira.

Figura 2: Terreno residencial – Condomínio Fechado Uberaba MG



Fonte: do Autor - 2022

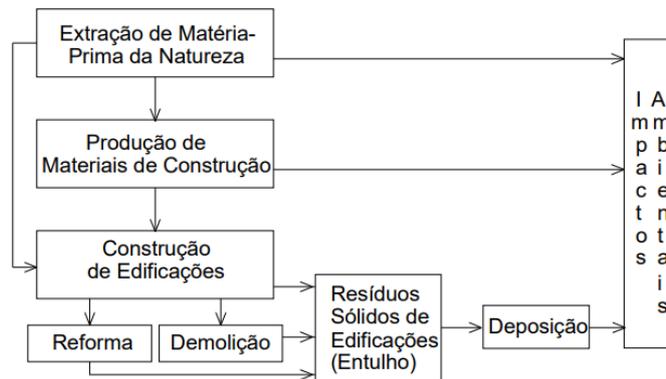
Segundo Cardoso, Araújo (2007) a etapa de construção no ciclo de vida do edifício corresponde por uma parcela significativa dos impactos causados pela construção civil no ambiente, principalmente os consequentes às perdas de materiais e à geração de resíduos e os referentes às interferências na vizinhança da obra e nos meios físicos, biótico e antrópico do local onde a construção é edificada.

Segundo Pittari (2009) a situação atual necessita de estudos nas atividades que geram impactos negativos ao meio ambiente, que inclua novos conceitos, tecnologias, técnicas construtivas, equipamentos, componentes, materiais e produtos.

Com o aumento da população no mundo e avanços tecnológicos em construções modernas, existe a necessidade de um maior número de habitações e infraestrutura, e que apesar das interferências de notificação de poluição às empresas, profissionais e acadêmicos da respectiva área não tem dada a merecida importância.

Segundo Barreto (2005), a construção civil usa recursos industriais que geram grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, os serviços nos canteiros de obra até a finalidade dada aos resíduos gerados, como mostra a Figura 3, acarretando grandes alterações na paisagem urbana, junto de áreas degradadas.

Figura 3: Impactos Ambientais da Cadeia da Construção Civil



Fonte: Brasil — Ministério das Cidades. Secretaria de Saneamento Ambiental (2007).

A gestão do meio ambiente, tem sido um desafio atual e tema discutido sob o ponto de vista ambiental e econômico para as indústrias, empresas e sociedade, deixando de ser considerado como custo para ser uma oportunidade de redução do passivo ambiental que compromete a qualidade de vida no planeta.

3.1. O PROCESSO DA EXTRAÇÃO, DA FABRICAÇÃO E A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Sattler (2006), quando se avaliam os danos causados pela atividade construtiva, estes são normalmente associados ao: progressivo esgotamento de matérias-primas; dano ecológico causado pela extração destes materiais.

Significativos impactos causados ao meio ambiente são consequência das atividades da construção civil.

Durante a fase de extração dos materiais ou matérias-primas para a construção civil o volume das áreas degradadas depende do tipo de mineração, da quantidade de materiais retirados e dos rejeitos produzidos (AMBIENTE BRASIL, 2007). De acordo com Bitar (1997), quando se trata dos recursos minerais, esta extração tem gerado um conjunto de efeitos indesejáveis que podem ser denominados improdutividade e, além disto, o setor minerário é um dos maiores consumidores de energia, o que contribui para a poluição do ar e o aquecimento global (BRASIL, 2007)

Durante a fase de fabricação de materiais de construção também ocorrem impactos negativos. Como exemplo, toma-se a indústria cimenteira, que no Brasil é responsável pela geração de mais de 6% do total de CO₂ gerado (BRASIL, 2007).

Durante a construção de edifícios, muitas pesquisas e planejamentos são feitos para identificar as potencialidades do terreno, e é também nessa fase de execução das obras de construção civil que vários impactos são provocados, como os consequentes da perda de materiais, os referentes à interferência no entorno da obra e nos meios biótico, físico e antrópico do local da edificação (CARDOSO; ARAÚJO, 2004).

Segundo a Seplan (2007), nesta fase de construção o ar é afetado pelas partículas em suspensão, o ambiente pelos ruídos e gases emitidos por máquinas, veículos e equipamentos. Pensar na qualidade do ar na construção civil pode evitar que vários problemas ocorram após a obra, como a multiplicação de bactérias e os incômodos com paredes mofadas, por exemplo.

Um dos meios para garantir a qualidade do ar na construção civil é pensar na posição da radiação solar, que é inevitável para a saúde da população. Obter um projeto de edifícios voltados para a melhor localização da radiação solar garante uma melhor qualidade do ar em ambientes internos. As etapas realizadas em obras de construção ou reformas geram poluição do ar devido às partículas contaminantes contidas na fumaça, tinta e poeira. Em, em um todo, são localizadas tanto em locais pequenos, como em grandes empreendimentos. Em época de baixa umidade, esse tipo de problema se agrava, pois as partículas se espalham além do ambiente local, como indicado, é muito difícil controlar totalmente os impactos causados pela poluição do ar.

3.2 MATERIAL PARTICULADO

As etapas da construção civil executam um papel vital no desenvolvimento das cidades e na melhoria da qualidade de vida das pessoas. Porém, também é uma das principais fontes de poluição do ar devido à emissão de material particulado (MP) no ambiente.

Material Particulado (MP) com gotículas é um poluente constituído de poeiras, fumaças e todo conjunto de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. O MP é uma das formas de poluição mais encontradas nos grandes centros urbanos (CETESB, 2008; WHO, 2005).

De acordo com Baird (2002) existem muitas denominações comuns para as partículas atmosféricas, onde: poeiras e fuligens referem-se a sólidos, enquanto névoa e neblina referem-se a líquidos. Em um aerossol é um conjunto de partículas sólidas e/ou gotículas líquidas dispersas no ar. A principal fonte de contaminação por partículas é a produção de aerossóis secundários a partir de contaminantes gasosos primários, quando possuem a presença de ácidos (H_2SO_4 ou NH_4HSO_4) torna-se mais propícia a formação de partículas secundárias na atmosfera devido à reatividade oferecida por estas moléculas (STERN, 1968).

3.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS POEIRAS

De acordo com estudos da CETESB em 2013, as poeiras podem ser classificadas segundo algumas características básicas:

a) Forma da partícula

A forma da partícula é um importante fator que leva à impactação e deposição inercial no sistema respiratório e nos projetos de instrumentos adequados para amostragem e análise de partículas. A variedade de formas existentes para as partículas é ilimitada. Alguns exemplos podem ser abordados, como as esféricas, cúbicas, fibrosas, cadeias irregulares, com formato de flocos, plaquetas ou escamas (WILLEKE, 1993; e MURPHY, 1984).

b) Origem da partícula

As partículas elas podem ser classificadas de acordo com sua origem (FUNDACION MAPFRE, 1991), como:

- Minerais - Ex.: quartzo e misturas que contenham quartzo (caulim, carvão, quartzito, areia, argila); metais e compostos metálicos (alumínio, ferro, chumbo, manganês, berílio, cromo, cádmio); asbesto e misturas que contenham asbesto (asbesto bruto, crisotila, anfíbolios; fibrocimento, talco);
- Animais - Ex.: peles, couros, plumas, escamas;
- Vegetais - Ex.: cereais, madeiras, grãos, algodão, palha, bagaço, linho, sisal.

c) Tamanho da partícula e distribuição de tamanho

Os tamanhos das faixas de partículas encontradas na atmosfera são muito amplos (0,001 a 100 μm). Historicamente, os dados individuais de tamanho são analisados para obter a distribuição de tamanho características de partículas (MURPHY, 1984). A maioria dos sistemas que contém as partículas necessitam identificar os tamanhos e o estudo do comportamento geral das partículas. O local de deposição das partículas no sistema respiratório humano depende diretamente do tamanho das partículas. Para os estudos de ciência sanitária ocupacional as faixas de tamanho de maior interesse estão divididas de modo a correlacioná-las com seu local de deposição, como:

- inaláveis – partículas menores que 100 μm , capazes de penetrar pelo nariz e pela boca;
- torácicas – partículas menores que 25 μm , capazes de penetrar além da laringe;
- respiráveis – partículas menores que 10 μm , capazes de penetrar na região alveolar.

3.2.2 EFEITOS DA POEIRA SOBRE O ORGANISMO

As poeiras elas ocupam um lugar de destaque entre os contaminantes químicos industriais do ar devido aos seus efeitos que podem agir sobre a saúde dos trabalhadores. Os riscos ocupacionais podem originar desde um simples incômodo inicial até doenças mais graves como pneumoconiose e câncer (FUNDACION MAPFRE, 1991; BRAIN, 1979).

Alguns dos principais efeitos produzidos pelas poeiras no organismo.

a) Efeitos fibrogênicos

São causados por aquelas poeiras capazes de desencadear uma reação que produz uma fibrose localizada ou difusa do tecido pulmonar, como no caso do quartzo e do asbesto. O acúmulo de poeira respirável provinda do quartzo no pulmão gera lesões pulmonares. A lesão pulmonar é irreversível e a deterioração da função pulmonar acarreta graves consequências cardíacas. A inalação de poeira de asbesto pode originar tumores malignos, como câncer bronquial ou mesoteliomas, com ou sem sinais simultâneos de asbestose.

b) Efeitos cancerígenos

As causas de câncer podem ser provenientes de vários fatores externos e internos. Os agentes carcinógenos afetam os mecanismos reguladores bioquímicos transformando as células normais em células malignas.

c) Efeitos tóxicos sistêmicos

Os efeitos tóxico sistêmicos vão mais além do trato respiratório, e é o indicador fundamental do comportamento de seu efeito tóxico. Sua ação é exercida de forma exclusiva e/ou compartilhada em outras partes do corpo, como no sistema nervoso central, no fígado ou nos rins.

d) Efeitos cutâneos

De acordo com o seu formato, composição química ou capacidade de absorver outras substâncias, certas poeiras podem dar origem a dermatites irritativas ou alergias. Em algumas ocasiões específicas, sua inalação pode produzir urticária alérgica.

e) Efeitos irritantes

Esses efeitos compreendem na irritação da mucosa dos olhos e do trato respiratório, provocando vermelhidão, queimação, tosse, espirro e inchaço.

3.2.3 AMOSTRAGEM DAS POEIRAS

A probabilidade de uma pessoa sofrer um determinado dano para sua saúde devido às condições de trabalho, gerados pela inalação de material particulado teoricamente tóxico,

requer a medição de concentrações usualmente mássicas. Tal risco é melhor analisado quando as partículas que não contribuem para isto são excluídas da concentração medida.

As primeiras recomendações para a avaliação nos ambientes de trabalho das poeiras levavam em consideração apenas duas categorias de poeiras (FUNDACENTRO, 2001):

- poeira respirável, composta de partículas menores que 10 μm ;
- poeira total, composta por todo material particulado que está suspenso no ar

O potencial de gerar danos à saúde humana está ligado diretamente ao tamanho das partículas, sendo assim, elas são classificadas conforme o seu diâmetro em:

- Partículas Totais em Suspensão (PTS): Que são as partículas de diâmetro menor que 50 μm , sendo uma parte destas partículas inalável e pode causar problemas à saúde;

- Partículas Inaláveis (MP 10): São partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm . Podem ser classificadas ainda como partículas inaláveis finas (MP 2,5) (menores que 2,5 μm) e partículas inaláveis grossas (de 2,5 a 10 μm); ela é compreendida como uma porção de aerodispersóide que passam pelas narinas e pela boca, e acaba entrando no trato respiratório durante a inalação. É apropriada para avaliação do potencial de risco de materiais suspensos que desempenha um efeito hostil se depositados no trato respiratório como um todo.

- Fumaça: Ela está associada ao material particulado suspenso na atmosfera. É proveniente dos processos de combustão e está diretamente relacionada ao teor de fuligem na atmosfera (CETESB, 2008).

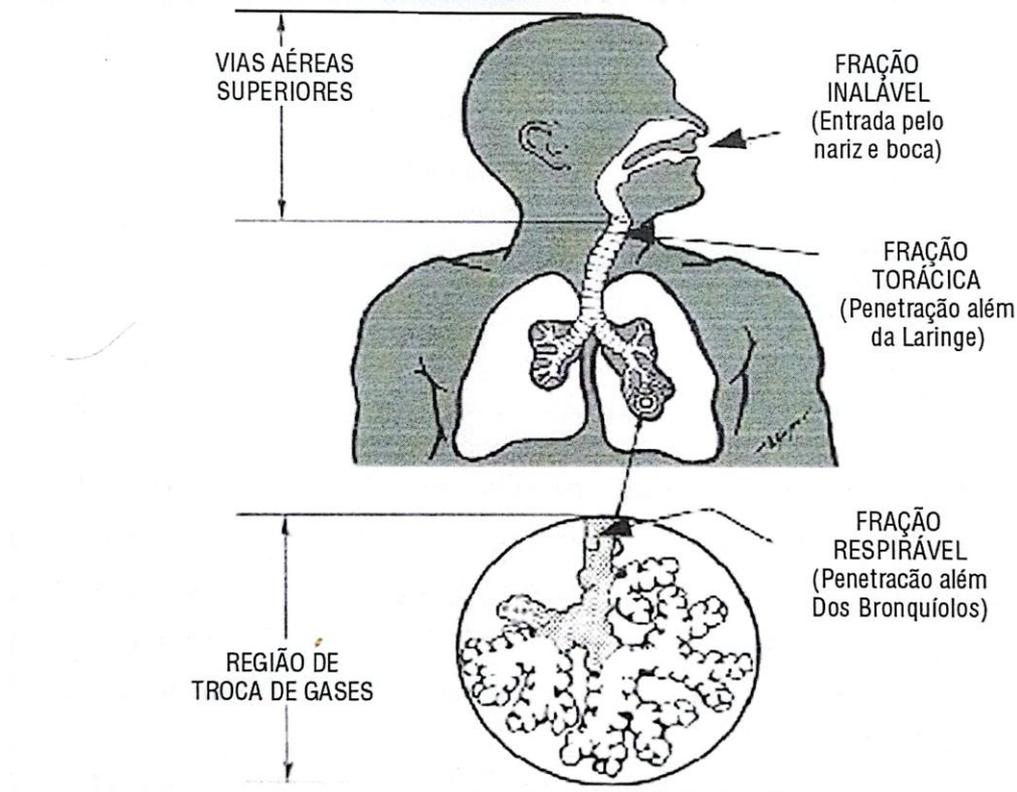
De acordo com a ACGIH (1990), e ISSO (1983), caracterizam-se as seguintes frações de poeiras:

- A fração torácica são partículas que são perigosas quando depositadas em qualquer lugar dentro das vias aéreas pulmonares e na região de troca de gases. O material particulado torácico é aquele com diâmetro aerodinâmico menor do que 25 μm .

- A fração respirável é a porção de partículas chamadas de pós fino com formato aerodinâmico que são pequenas o suficiente para entrar na região alveolar dos pulmões durante a inalação. O tamanho das partículas da poeira respirável é de até 10 μm .

O que se denomina fração inalável, torácica e respirável, pode ser melhor entendida na Figura 4, com a demonstração do caminho seguido pelas mesmas ao serem inaladas.

Figura 4: Caminho seguido pela poeira. Representação esquemática das principais regiões do trato respiratório e sua correspondência com as frações inalável, torácica e respirável.



Fonte: ACGIH, 1989.

O material particulado, também pode aumentar a turbidez atmosférica e reduzir a visibilidade, e ainda podem se formar partículas a partir de outros contaminantes gasosos (STOKER, 1981).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA nº 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA nº 3/1990), adotou novos padrões de medição de qualidade do ar, que servem de parâmetro para o controle da poluição no país.

O Padrão Intermediário 1 (P₁ - primeira etapa), estabelece que o nível de partículas do tamanho de 10 µm (MP₁₀) suspensas no ar não pode ultrapassar 120 µg/m³ em 24 horas, já os materiais de até 2,5 µm de tamanho (MP_{2,5}) não podem ultrapassar os 60 µg/m³ em 24 horas, mostrados na Tabela 2. Logo em seguida são analisadas outras etapas do processo P₂, P₃ e PF. Sendo segunda etapa, terceira etapa e qualidade do ar final, respectivamente. Essas etapas são medições feitas em períodos (dias) diferentes.

As porcentagens representadas das massas e tamanhos de partículas em cada fração, estão demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1- Convenções adotadas pela ACGIH (1980), e ISSO (1983) para porcentagens em massa de poeira inalável, torácica e respirável

Inalável		Torácica		Respirável	
Diâmetro aerodinâmico das partículas (µm)	Massa de particulado inalável (MPI) (%)	Diâmetro aerodinâmico das partículas (µm)	Massa de particulado torácico (MPT) (%)	Diâmetro aerodinâmico das partículas (µm)	Massa de particulado respirável (MPR) (%)
0	100	0	100	0	100
1	97	2	94	1	97
2	94	4	89	2	91
5	87	6	80,5	3	74
10	77	8	67	4	50
20	65	10	50	5	30
30	58	12	35	6	17
40	54,5	14	23	7	9
50	52,5	16	15	8	5
100	50	18	9,5	10	1
		20	6		
		25	2		

Fonte: Santos, 2001

O efeito de cada tipo de poeira tóxica inalada depende da região de deposição, associada com o tamanho das partículas, e da concentração de poeira no ambiente. Pode-se analisar o melhor risco ocupacional a partir do conhecimento das concentrações em massa dentro das várias faixas de tamanhos de partículas, conforme Tabela 1.

A resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018 estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo será efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, observados os seguintes critérios:

1. Metas Intermediárias – (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;
2. Padrões Finais (PF) – Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico considerando as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

As Metas Intermediárias devem ser atendidas em 3 (três) etapas:

1. Meta Intermediária Etapa 1 – (P₁) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos a serem respeitados a partir de 24/04/2013. Estes valores ficaram vigentes até 31/12/2021.
2. Meta Intermediária Etapa 2 – (P₂) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA. A MI2 entrou em vigor a partir de 01/01/2022 (Deliberação CONSEMA nº 4, de 19/05/2021, publicada no DOE de 26/05/2021).
3. Meta Intermediária Etapa 3 – (P₃) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo.

Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3. Todos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar.

Poluente atmosférico	P₁ – Concentração (µg/m³ em 24h)	P₂ – Concentração (µg/m³ em 24h)	P₃ – Concentração (µg/m³ em 24h)	PF
Material Particulado – MP₁₀	120	100	75	50
Material Particulado – MP_{2,5}	60	50	37	25
Dióxido de Enxofre – SO₂	125	50	30	20
Fumaça	120	100	75	50
Monóxido de Carbono – CO	–	–	–	9
Partículas totais em suspensão – PTS	–	–	240	–

Fonte: CETESB (2021) adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018a)

Mas caso a concentração de MP_{10} atingir os $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o nível de poluentes já entra em estado de atenção, e se atingir $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entra em estado de alerta, se for de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, é estado de emergência, assim mostrado na Tabela 3.

Ainda pode-se comparar os diferentes níveis de atenção, alerta e emergência, conforme os tamanhos diferentes dos níveis de partículas mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis de atenção, alerta e emergência

Nível	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 24h)	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 24h)	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 24h)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ média móvel 8h)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 1h)
Atenção	800	250	125	15	200
Alerta	1600	420	210	30	400
Emergência	2100	500	250	40	600

Fonte: CONAMA nº 491/2018

De acordo com a resolução CONAMA nº 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA nº 3/1990, as outras etapas de realização levarão em consideração os planos de controle de emissões atmosféricas e qualidade do ar feitos pelos órgãos estaduais e distrital. A Tabela 3, mostra perfeitamente os níveis de atenção, alerta e emergência e suas referências numéricas.

3.2.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR

O Índice de Qualidade do Ar - IQAr é representado por um valor numérico calculado a partir de funções lineares descontínuas em cinco faixas de valores que variam de zero a $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Resolução CONAMA nº 491/2018). Cada uma destas cinco faixas do índice está associada a uma classificação da qualidade do ar, conforme sua concentração mostrada na Tabela 4. É uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar a etapa de divulgação da qualidade do ar. Esse índice foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida nos EUA.

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice utilizado pela CETESB são: partículas inaláveis (MP_{10}), partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$), fumaça (FMC), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2).

Para cada poluente medido é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor. Desde 2013, a classificação da qualidade do ar é realizada, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Estrutura do índice de qualidade do ar Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
Qualidade	Índice	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	$MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 - Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 - Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 - Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 - Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 - Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

* Valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.¹ A classificação qualitativa da qualidade do ar é definida de acordo com as faixas numéricas adimensionais definidas para o IQAr, estas, que por sua vez, estão relacionadas com as faixas de concentração apresentadas acima. Os valores das faixas atualmente praticados são: IQAr de 0 a 40 - BOA; > 41 a 80 - MODERADA; > 81 a 120 - RUIM; >121 a 200 - MUITO RUIM; >200 - PÉSSIMA (Resolução CONAMA n° 491/2018).

Alguns gases tóxicos podem ser emitidos diretamente pelas fontes antrópicas para a atmosfera em centros urbanos e industriais. Pode-se destacar: NO_x (óxidos de nitrogênio), SO_x (óxidos de enxofre), CO (monóxido de carbono), CO_2 (gás carbônico), NH_3 (amônia), CH_4 (metano), COV (Compostos Orgânicos Voláteis) e Material Particulado (MP) (ALMEIDA,

1999; CASTANHO, 1999). A Tabela 4, mostra os níveis de concentração, na escala de boa até a péssima para melhor compreensão.

3.2.5 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Em todo o mundo, milhões de pessoas sofrem, dia após dia, por causa de poluentes atmosféricos (LORENSETTI, 2024). Mais concentrados em cidades mais industrializadas, tais poluentes são compostos por gases, material particulado e partículas sólidas de diferentes composições.

Estes compostos também são causadores de efeitos negativos para toda a sociedade, causando problemas de saúde para a população, além de afetar a economia e o meio ambiente.

Exatamente por isso, ter detalhes sobre os principais poluentes atmosféricos e entender qual é o risco que cada um deles podem causar à saúde é essencial para que o setor tome medidas para reduzir a emissão.

3.2.5.1 Principais poluentes e seus respectivos riscos.

Presentes em todo o mundo, os poluentes atmosféricos estão cada vez mais se unindo às substâncias presentes no ar que respiramos.

Os poluentes atmosféricos existem sob a forma de gases e de partículas que podem ser naturais e artificiais. Os principais são:

- Material particulado:

Constituído por poeiras, fumaças e quaisquer tipos de materiais sólidos e líquidos, os materiais particulados se mantêm suspensos na atmosfera, principalmente em razão do diâmetro reduzido.

Por ficar suspenso, o material particulado oferece diversos riscos e perigos para o meio ambiente e para a saúde humana. Ele é o segundo maior contribuinte para o aquecimento global.

Os materiais particulados são também causadores de variados problemas de saúde, como o câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares. Por isso, podem até levar à morte.

- Óxidos de Enxofre (SO_x):

Os óxidos de enxofre são gases tóxicos e incolores emitidos por fontes naturais ou por fontes antropogênicas. Podem também reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido.

Dentre os óxidos de enxofre, o SO₂ (dióxido de enxofre) se destaca. Ele é um dos mais perigosos, principalmente devido aos muitos riscos que causam à saúde respiratória.

Podem provocar irritação e aumento na produção de muco, desconforto na respiração, além de agravamento de problemas cardiovasculares e respiratórios.

- Dióxido de Carbono (CO₂):

Conhecido também por gás carbônico, o CO₂ é o poluente número 1 do efeito estufa. Os principais responsáveis pela liberação excessiva desse gás na atmosfera são os setores industriais e de transportes.

Por isso, o CO₂ é o maior responsável por causar a poluição do ar, além de contribuir com a chuva ácida e elevação da temperatura.

- Monóxido de carbono (CO):

Assim como o CO₂, o CO é um dos poluentes atmosféricos mais conhecidos. Por ser inflamável, incolor e inodoro, esse gás é altamente perigoso, com alta toxicidade, além de ser um asfixiante químico.

A periculosidade desse gás aumenta porque ele tem alta afinidade com a hemoglobina no sangue, podendo substituir o oxigênio e reduzir a alimentação deste ao cérebro, coração e para o resto do corpo, durante o processo de respiração.

Em baixa concentração, esse tipo de poluente atmosférico causa fadiga e dor no peito. Já em alta concentração, pode levar a asfixia e morte.

- Óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂):

Estes gases têm como principais fontes os veículos automotores, motores à combustão interna, usinas termelétricas, siderúrgicas e fábricas de pasta de papel.

A longa exposição, faz com que esses gases se tornem tóxicos, a ponto de causar sérios danos à saúde.

Para o meio ambiente, tais gases contribuem com o aumento da chuva ácida, causando danos à natureza, como alteração da composição química do solo e das águas. Atingem também as cadeias alimentares, comprometendo a saúde de florestas e lavouras.

- Hidrocarbonetos (HC):

Os HCs são compostos formados de carbono e hidrogênio e que podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotas. Esses poluentes atmosféricos podem ser divididos

em: THC – hidrocarbonetos totais; CH₄ – hidrocarboneto simples, conhecido como metano; NMHC – hidrocarbonetos não metano, compreendem os HC totais (THC) menos a parcela de metano (CH₄).

Os hidrocarbonetos provêm de uma grande variedade de processos industriais e naturais, sendo precursores para a formação do ozônio troposférico.

O metano que, ao ser inalado, pode causar asfixia, perda de consciência, parada cardíaca ou danos ao sistema nervoso central.

Recomendações para controlar a emissão de poluentes atmosféricos

Os efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente destes gases são muito grandes. Conseqüentemente, são exigidas ações conjuntas entre consumidor, indústria e órgãos reguladores.

Para regular essa emissão há uma série de leis e decretos para controlar ou, ao menos, evitar o lançamento em excesso de poluentes na atmosfera.

No Brasil, uma das leis mais representativas é a resolução 382/06 do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que prevê limites máximos para a emissão dessas substâncias para fontes fixa.

Basicamente, essa é a resolução que estabelece limites específicos de emissão para cada tipo de fonte ou combustível utilizado.

Segundo Monteiro (1997), em relação aos processos industriais, os principais poluentes emitidos são SO₂ e material particulado. Já para Quadros (2008) material particulado em suspensão no ar encontrado nas fases sólida e líquida, tem grande influência na qualidade do ar em ambientes internos, e também externos e é considerado um dos agentes da poluição do ar.

3.2.6 OS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS ENCONTRADOS NOS CANTEIROS DE OBRAS

De acordo com a NBR 14001 (ABNT, 2015), alcançar um equilíbrio entre o meio ambiente, a sociedade e a economia é considerado fundamental para que seja possível satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas necessidades. O objetivo do desenvolvimento sustentável é alcançado com o equilíbrio dos três pilares da sustentabilidade. As expectativas da sociedade em relação ao desenvolvimento sustentável, à transparência e à responsabilização por prestar contas têm evoluído com a legislação cada vez mais rigorosa, crescentes pressões sobre o meio ambiente, decorrentes de poluição, uso ineficiente de recursos, gerenciamento impróprio de rejeitos, mudança climática, degradação dos ecossistemas e perda de biodiversidade.

Com isso, as organizações têm adotado uma abordagem sistemática na gestão ambiental, com a implementação de sistemas de gestão ambiental que visam contribuir com o pilar ambiental da sustentabilidade.

3.2.6.1 Objetivo de um sistema de gestão ambiental

O objetivo desta Norma (NBR 14001) é prover às organizações uma estrutura para a proteção do meio ambiente e possibilitar uma resposta às mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as necessidades socioeconômicas. Esta Norma (NBR 14001) especifica os requisitos que permitem que uma organização alcance os resultados pretendidos e definidos para seu sistema de gestão ambiental.

Uma abordagem sistemática para a gestão ambiental pode prover a Alta Direção de uma empresa com as informações necessárias para obter sucesso a longo prazo e para criar alternativas que contribuam para um desenvolvimento sustentável, por meio de:

- Proteção do meio ambiente pela prevenção ou mitigação dos impactos ambientais adversos;
- Mitigação de potenciais efeitos adversos das condições ambientais na organização; —
- Auxílio à organização no atendimento aos requisitos legais e outros requisitos;
- Aumento do desempenho ambiental;
- Controle ou influência no modo em que os produtos e serviços da organização são projetados, fabricados, distribuídos, consumidos e descartados, utilizando uma perspectiva de ciclo de vida que possa prevenir o deslocamento involuntário dos impactos ambientais dentro do ciclo de vida;
- Alcance dos benefícios financeiros e operacionais que podem resultar da implementação de alternativas ambientais que reforçam a posição da organização no mercado;
- Comunicação de informações ambientais para as partes interessadas pertinentes.

Esta Norma (NBR 14001), assim como outras Normas, não se destina a aumentar ou alterar os requisitos legais de uma organização

Já na resolução do CONAMA nº1, de 23 de janeiro de 1986, define impacto ambiental da seguinte maneira:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – as atividades sociais e econômicas;
- III – a biota;
- IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – a qualidade dos recursos ambientais

Ou seja, um canteiro de obras possui diversas fontes de impactos ambientais. Para Araújo (2009), as atividades geram um aspecto ambiental que por sua vez provocam impactos ambientais, que atingem o meio ambiente, seja ele, meios físico, biótico e antrópico, mudando suas propriedades naturais.

“A qualidade ambiental pode ser conceituada como um juízo de valor atribuído do quadro do meio ambiente ou às suas condições. A maior parte dos componentes pode ser medidas por meio de métodos e técnicas científicas de medição, apropriadas pelas diversas áreas de conhecimento (ciências, físicas, biológicas, sociais e econômicas). O impacto ambiental incorpora a consideração de qualquer alteração significativa ao meio ambiente provocado por uma ação humana.” (Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. BARBOSA; TEIXEIRA E HENRIQUE, 2007).

De acordo com a NR-18, canteiro de obras é a área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra.

Já segundo a NBR-12264,1991 é o conjunto de áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, separando-se em áreas operacionais e áreas de convívio.

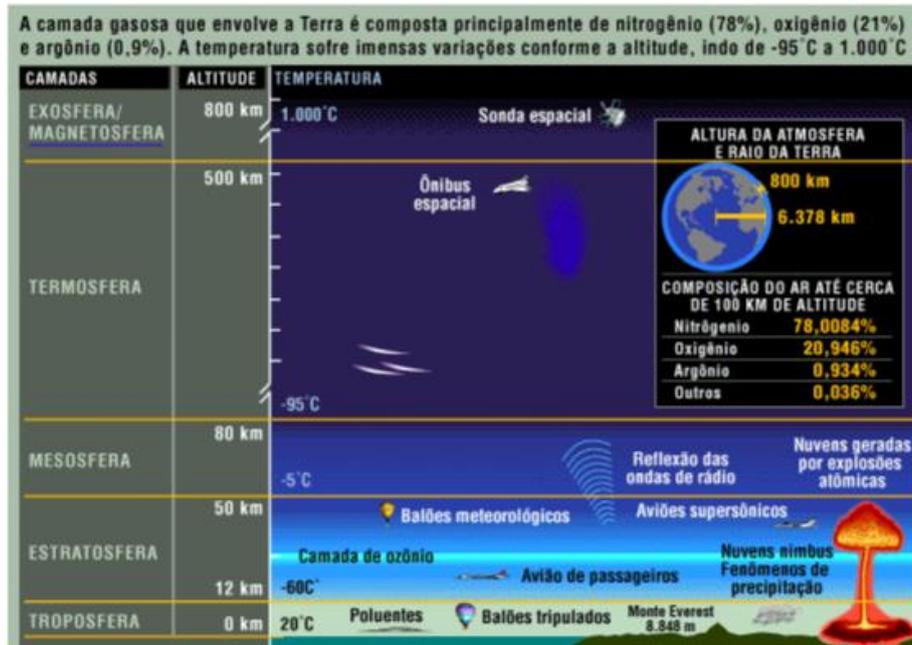
3.3 Dispersão Atmosférica

Para a gestão da qualidade do ar em centros urbanos são fundamentais etapas de monitoramento dos poluentes e as etapas de modelagem que podem fazer previsões dos impactos das emissões na troposfera, seja este impacto causado por fontes fixas ou por fontes móveis. Modelos de dispersão de poluentes atmosféricos se utilizam de equações matemáticas para descrever a atmosfera, dispersão e os processos físicos e químicos que acontecem com uma pluma emitida por uma determinada fonte. Os modelos são de fundamental importância para fazer previsões dos impactos no meio atmosférico de fontes fixas ou fontes lineares (MARTINS, FORTES E LESSA, 2015).

O ser humano através da atividade industrial e urbana, joga resíduos à atmosfera, de forma incontrolada e constante, em amplas zonas do planeta. Aproximadamente 65 mil produtos químicos, provenientes de uma variedade de atividades industriais e urbanas, encontram-se na atmosfera (LISBOA, 2010).

A Figura 5 descreve as camadas da atmosfera, na troposfera é onde o homem vive e onde ocorrem atividades de emissões de poluentes, exemplificado, em parte pelas construções.

Figura 5 – Composição e camadas da atmosfera.



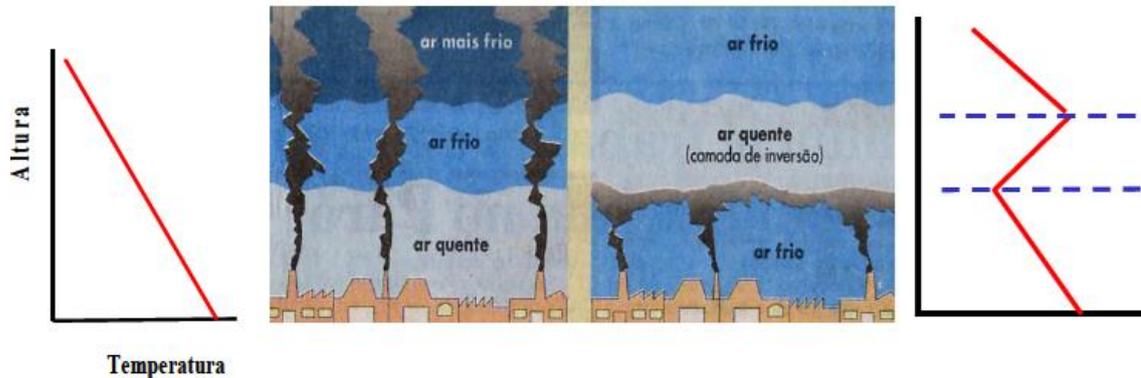
Fonte: LISBOA (2010)

O movimento do ar na Troposfera pode ter sentido horizontal ou vertical. O primeiro está governado principalmente pelos ventos dominantes. Se estes são ativos ou tem força suficiente, os contaminantes apresentam poucas possibilidades de acumular-se antes de serem dispersos.

Com o movimento horizontal limitado, a dispersão dos contaminantes passa a depender do movimento vertical do ar. O movimento vertical do ar está governado pelo perfil de temperatura da troposfera. Normalmente, a temperatura diminui com a altura. O ar mais próximo da superfície terrestre é aquecido por esta, se expande e torna-se menos denso que o ar mais frio que está acima. O ar aquecido e menos denso acende através do ar mais frio, que o renova. Este ar novo também se aquece em contato com o solo, expande e acende. Deste modo criam correntes de ar e os contaminantes se dispersam.

As condições meteorológicas podem causar uma inversão no esquema normal de variação da temperatura na troposfera. O resultado é a formação de uma “capa de inversão”. O efeito resultante é a colocação de uma massa de ar frio por baixo de outra de ar mais quente. A presença de uma capa de inversão impede a circulação atmosférica vertical, já que o ar mais frio não pode acender através da capa quente de inversão – Figura 6. Os contaminantes lançados no ar são confinados na capa inferior da inversão. Estas situações podem permanecer invariáveis durante dias, até que as condições atmosféricas mudem e a capa de inversão se destrua.

Figura 6. Inversão atmosférica.



Fonte: LISBOA (2010)

Assim, as atividades de emissão de gases poluentes e particulados, na atmosfera dependem das condições meteorológicas para dispersar os poluentes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para a elaboração deste trabalho voltou-se à realização de uma pesquisa documental em livros, artigos e outros textos, a fim de se obter conceitos e informações relevantes sobre o tema de pesquisa que é a poeira no ambiente de trabalho da construção civil e seus impactos.

Foi selecionado o canteiro de obras – construção civil, obras tipo residenciais – para identificar e levantar os agentes químicos contaminantes prejudiciais em um todo.

Fez-se o monitoramento da qualidade do ar para:

- a) conhecer a qualidade do ar do ambiente de trabalho;
- b) avaliar os efeitos prováveis da poluição no ser humano, nas plantas e nos materiais;
- c) fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de trabalho e exposição ao ambiente.

4.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES:

O estudo foi realizado utilizando:

- 1 - O aparelho de medição – **JD-3002 Air Quality Teste** (ver Figura 7). Para detectar Dióxido de Carbono (CO₂); Compostos Orgânicos Voláteis Totais (TVOC); Formaldeído - produto comum da oxidação atmosférica de compostos orgânicos voláteis – gás incolor,

venenoso, altamente solúvel em água e com odor desagradável. (HCHO), Temperatura e Umidade relativa do ar.

2 – Foram utilizadas soprador de amostragem de ar, com sensor eletrônico de fluxo laminar (ver Figura 8), com faixa de vazão de 1,7 l/min.

Tabela 5- Especificação do Modelo do Soprador de Amostragem de ar.

Marca	Modelo	Especificação do	Certificados N°
		Modelo	
Gilian	BDX-II	20221205093	0476/2023
Gilian	BDX-II	1509209	184857/23
Gilian	BDX-II	203079	210102/23

Atende as normas: NHO-08, NIOSH 0500 (particulado total), NIOSH 0600 (poeira respirável), NIOSH: 7082; 7105; 7300; 7400; OSHA; UL Resolução-RE nº 9 da ANVISA Norma Técnica 004

GASES:

Foi utilizado o JD-3002 Air Quality Teste. Este é um tipo de detector de qualidade do ar, da qualidade fina, que adota o módulo de detecção eletroquímico profissional, alta precisão, desempenho estável, capacidade antibloqueio, baixo consumo de energia e pode fornecer dados no tempo de serviço longo.

a) Características:

Grande display LCD, pode-se identificar a quantidade de CO₂, TVOC, HCHO, temperatura e umidade relativa do ar com clareza. O som do alarme pode ser ligado ou desligado de acordo com suas demandas. Equipado com a função de julgamento da qualidade ambiental, exibirá o nível apropriado de acordo com o valor de medição. O responsável pela medição, segura o equipamento na altura do tórax a uma distância de aproximadamente 2,0 m do local escolhido. Após medição, aparecerá no display do equipamento os valores coletados, bem como o nível de aceitação. Built-in 1800mah bateria de lítio de capacidade, fácil de carregá-lo com cabo usb. Quando a carga da bateria está muito baixa, o quadro da bateria pisca para indicar a necessidade de recarregá-la. Ver Figura 7.

b) Especificações:

Nome: medidor de qualidade do ar

Material: plásticos

Display: display LCD

Bateria: 1 bateria de lítio embutida, 3.7 v, 1800 mah (**Incluído**)

Faixa de medição de CO₂: 350 ppm - 2000 ppm

Escala de medição de TVOC: 0.000 mg/m³ - 2.000 mg/m³

Escala de medição de HCHO: 0.000 mg/m³ - 1.000 mg/m³

Faixa de medição de temperatura: 0 °C - 90.0 °C(32 °F - 194 °F), 1 °C ±± 1 °F

Tamanho do equipamento: 176-73-29 mm / 6.93-2.87-1.14 in

Peso do equipamento: 222 g / 7.83 onça

Tamanho da embalagem: 234-180-47 mm / 9.21-7.09-1.85 in

Peso da embalagem: 461 g / 1.02 lb

Figura 7: Aparelho utilizado na medição dos gases.



JD-3002 Air Quality Tester.

Display content in production

Alarm sound:
Press "Mute Button" to operate

CO₂ measuring range:
350ppm~2000ppm

TVOC measuring range:
0.000 mg/m³~2.000 mg/m³

HCHO measuring range:
0.000 mg/m³~1.000 mg/m³

Temperature display:
Press " Temperature unit
selection Button " to operate

Measuring range:
0°C~90.0°C(Precision 0.1°C)
32°F~194°F
(Precision 0.1°F, above
100°F display integers)

When the battery is too low,
the battery frame flashes to
remind the user to charge

Humidity display:
Measuring range:(0~99.0)
%RH (Precision 0.1)

Environmental quality tips

EXCELLENT	GOOD	POLLUTION
The detection value is lower than the set value	CO ₂ detection value is higher than the set value by 50ppm TVOC detection value is higher than the set value by 0.01 mg/m ³ HCHO detection value is higher than the set value by 0.03 mg/m ³	CO ₂ detection value is higher than the set value by 100ppm TVOC detection value is higher than the set value by 0.02 mg/m ³ HCHO detection value is higher than the set value by 0.06 mg/m ³

MATERIAL PARTICULADO:

BDX-II Soprador de amostragem (bomba gravimétrica) de alta vazão para análise de poeiras e fumos. Também pode ser utilizada para gases e vapores com utilização de redutor de baixa vazão. Simples e econômica pode ser utilizada em atmosferas explosivas.

Proporciona até 10 horas de operação com uma única carga. Possui um filtro, montado externamente, que protege os pneumáticos internos de sujeira e detritos. Monitora amianto usando o método NIOSH 7400 ou o método de amostragem OSHA.

Os sopradores também podem monitorar Chumbo, utilizando métodos NIOSH 7082, 7105 ou 7300. Atende as normas: NHO-08, NIOSH 0500 (particulado total), NIOSH 0600 (poeira respirável), NIOSH: 7082; 7105; 7300; 7400; OSHA; UL Resolução-RE nº 9 da ANVISA – Norma Técnica 004.

Características:

Faixa de operação: 500 a 3000 cc/min (0,5 a 3 LPM); Controle de fluxo: $\pm 5\%$ do ponto definido por um período de 8 horas, com não mais de 2 reajustes durante a operação com 2 LPM; Indicador de fluxo: Rotâmetro incorporado com escala de 500 a 4000 cc/min, com 500 cc/div em $\pm 20\%$ da precisão da escala completa; Alimentação: Bateria Recarregável Ni/Cd Caixa blindada contra RFI – EMI; Intrinsecamente segura Resistente a impactos Compensação da pressão de retorno; Dimensões: 90 x 100 x 51mm; Peso: 600g.

Fornecido: Manual de instruções, Bateria recarregável, Carregador portátil, Chave para calibração, Mangueira em tygon, Certificado de calibração com rastreabilidade RBC/INMETRO.

Figura 8: Soprador de amostragem de ar, com sensor eletrônico de escoamento laminar. Amostrador IOM – Marca Gilian.



Soprador de Amostragem de ar.

Figura 9: Elementos que compõe soprador.



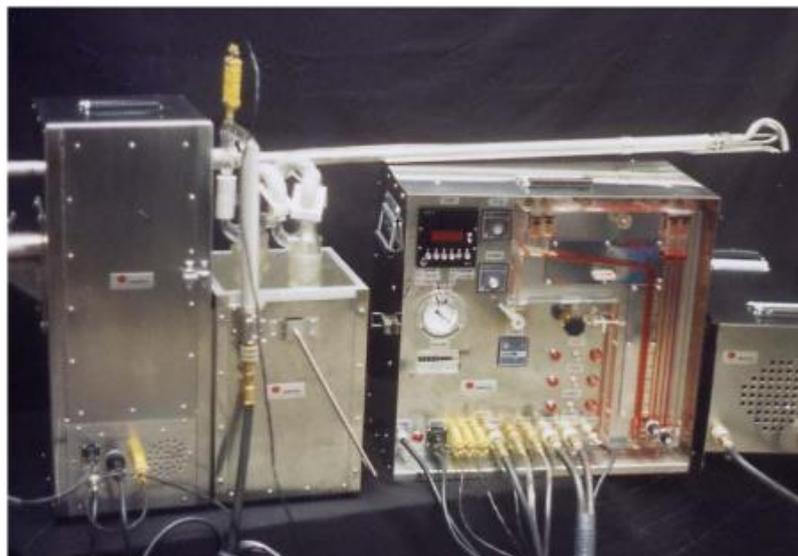
Filtro, cabo e bateria do Soprador de Amostragem Gilian BDX-II.

Feito o levantamento de dados dos gases e partículas, por meio dos equipamentos especificados, os mesmos foram tabulados e analisados.

MATERIAL EM DISPERSÃO:

Existem equipamentos sofisticados para medir emissões gasosas e particulados, como o amostrador isocinético cuja vista é mostrada na Figura 10, portanto estudos mais aprofundados devem usar tais equipamentos.

Figura 10: amostrador isocinético.

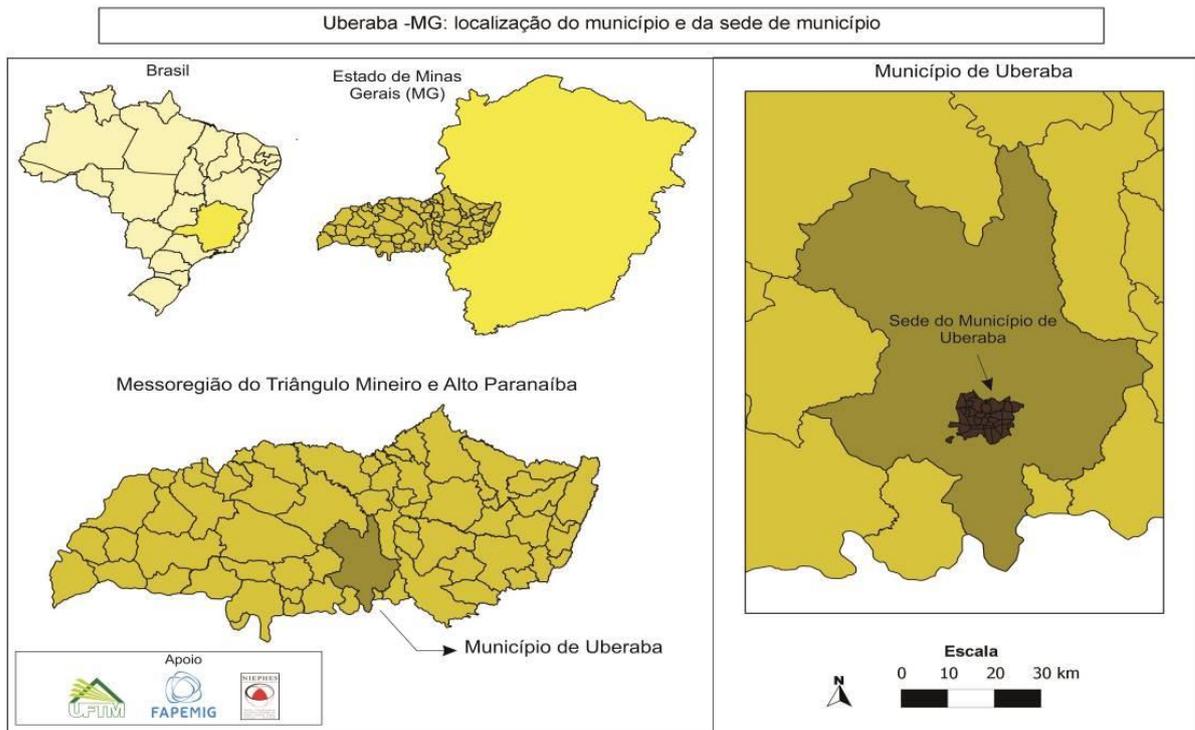


Fonte: LISBOA (2010). POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO EM ÁREA INTRAURBANA NO RIO DE JANEIRO: ASPECTOS METODOLÓGICOS Air pollution by particulate matter in intra-urban area in Rio de Janeiro: methodological aspects José Luiz Gatto Pereira 1 , Júlio Domingos Nunes Fortes 2 , Eduardo Monteiro Martins 3

4.3 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Uberaba, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Mapa₁), tem uma população de aproximadamente 333.783 habitantes (IBGE, 2019). Está numa posição geográfica estratégica, distante cerca de 500 km de centros urbanos nacionais de grande importância, como São Paulo, Belo Horizonte, Goiânia e Brasília. Está interligada por meio de rodovias federais e estaduais. Conta também com um ramal ferroviário (Ferrovia Central Atlântica – FCA), como mostra Figura 11.

Figura 11- Localização de Uberaba (MG)



Fonte: Reis, 2013

Segundo Lourenço (2010), Uberaba foi beneficiada pela sua localização:

entre dois eixos, um disposto no sentido leste-oeste (Minas – Sertão) e outro no sentido norte-sul (Goiás – São Paulo). Assim, na primeira metade do século XIX, formou-se uma rede de estradas inter-regionais e interprovinciais sobre o Sertão da Farinha Podre, tendo Uberaba como nó central (LOURENÇO, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após toda fundamentação teórica sobre o assunto, foram realizadas cinco visitas técnicas em canteiro de obra, envolvendo atividades de trabalho diferentes.

A 1ª visita, foi feita em local aberto, com o dia ensolarado e a presença de pequenas rajadas de vento. A atividade desenvolvida no local era execução de alvenaria (assentamento de tijolos cerâmica com massa preparada com cimento, areia e água).

A 2ª visita, o ambiente estava semiaberto, com alvenaria erguida sem cobertura, e estava sendo montado a rede hidráulica de água pluvial e esgoto. Para execução do serviço, utilizaram-se cola e lixamento de material.

A 3ª visita, foi feita no barracão da obra, com movimentação de materiais (carga e descarga), e com sinais de queima de resíduos de materiais de construção (madeira, sacos de cimento, pontas de cano).

A 4ª visita, foi feita no depósito de materiais, durante a abertura de caixas de piso para assentamento dos mesmos e manuseio de sacos de argamassa e cimento.

A 5ª Visita, foi feita em dia que efetuava carga e descarga de materiais na obra. Dia ensolarado e com caminhão descarregando brita, areia e cimento.

5.1 MEDIÇÕES

Figura 12 – 1ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Environment excellent (ambiente excelente)

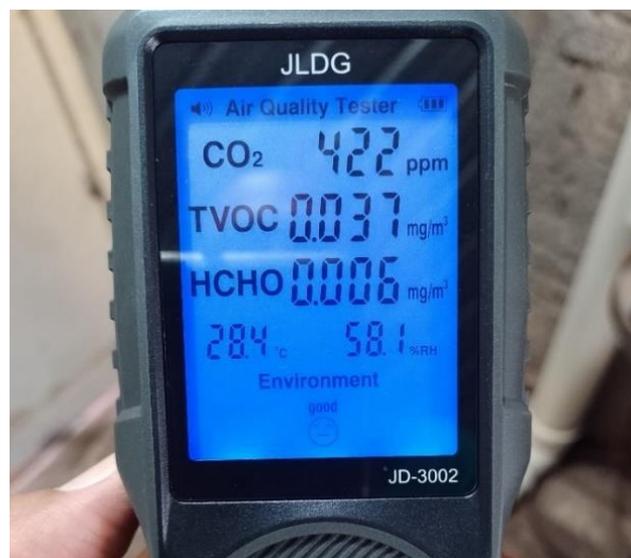
Figura 13 – 1ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Limite de tolerância aceitável determinado pela NR 15 anexo 12.

Segundo os resultados, as medições feitas foram de níveis excelente, conforme mostra Figura 12 e Figura 13.

Figura 14 – 2ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Environment good (ambiente bom)

Figura 15 – 2ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Limite de tolerância bom determinado pela ACGIH – TWA.

Segundo os aparelhos, as medições feitas foram de níveis bom, conforme mostra Figura 14 e Figura 15.

Figura 16 – 3ª Visita.



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Environment pollutions (ambiente poluído)

Figura 17 – 3ª Visita.



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Limite de tolerância poluído determinado pela ACGIH – TWA.

Segundo os aparelhos, as medições feitas foram de níveis poluído, conforme mostra Figura 16 e Figura 17.

Figura 18 – 4ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Environment good (ambiente bom)

Figura 19 – 4ª Visita

Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Limite de tolerância bom determinado pela ACGIH – TWA.

Segundo os aparelhos, as medições feitas foram de níveis bons, conforme mostra Figura 18 e Figura 19.

Figura 20 – 5ª Visita

Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Environment pollutions (ambiente poluído)

Figura 21 – 5ª Visita



Fonte: Autor – Foto da tela do aparelho durante medição, 2023.
Registrado no aparelho – Limite de tolerância poluído determinado pela NR 15 anexo 12.

Segundo os aparelhos, as medições feitas foram de níveis poluído, conforme mostra Figura 20 e Figura 21.

Figura 22 – Canteiro de obra



Fonte: Autor, 2024.

Os níveis aceitáveis, são melhores entendidos conforme literatura específica citada na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis aceitáveis, segundo ANVISA, CONAMA n° 491/2018, NR 17 e CONAMA 493/2019 atualizada em 05 de junho de 2019.

CO₂ (ppm)	A Resolução n° 9/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que a concentração máxima permitida de CO ₂ no ambiente seja de 1000 ppm, isto é, 0,1% da composição do ar. Muitos cientistas, especialistas em climatologia e governos nacionais progressistas concordam com o Dr. Hansen que 350 ppm é um nível “seguro” de dióxido de carbono.
TVOC (mg/m³)	De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente não deve, em espaços interiores destinados a uma presença mais prolongada, ser excedido continuamente o valor de TVOC na área de 1 até 3 mg/m ³ . Com a sua faixa de medição de 0,00 a 9,99 mg/m ³ e uma resolução de 0,01 mg/m ³ , é possível registrar de forma fiável com o BQ16 as concentrações mais pequenas de TVOC no ar dos espaços interiores.
HCHO (mg/m³)	O formaldeído é um gás incolor. O odor irritante indica, frequentemente, a sua presença numa concentração superior a 0,2 ppm. As principais fontes de formaldeído são os materiais dos edifícios, os contraplacados, os tecidos/decoração, tintas, líquidos de limpeza, materiais de isolamento térmico e acústico como a fibra de vidro, adesivos, vernizes e cosméticos, etc. As concentrações nos espaços interiores dependem das fontes presentes, da ventilação, da temperatura interior e exterior, e da umidade. As concentrações de formaldeído também variam ao longo do dia, e da estação do ano. Os resultados das medições podem ser comparados com as várias normas existentes, devendo os níveis nos espaços interiores em avaliação ser inferiores a 0,1 ppm. De acordo com o Decreto-Lei n° 79/2006 a concentração máxima de referência de formaldeído é de 0,1 mg/m ³ (0,08 ppm).
Temperatura (°C)	Segundo a NR17, do Ministério do Trabalho, a temperatura do ambiente de trabalho onde são executadas atividades intelectuais como nos laboratórios, escritórios, sala de desenvolvimento e projetos, deve ficar entre 20 e 23 graus celsius, com umidade relativa inferior a 40%.
Umidade (%RH)	Segundo a OMS, a umidade relativa do ar ideal para saúde é entre 50% e 80% – por isso quando o nível fica entre 20% e 30% as regiões entram em estado de atenção. A umidade do ar a 10%, por exemplo, é um nível compatível com o do Deserto do Saara.
MP (µm)	Pode-se classificar a poeira de acordo com o tamanho e quanto aos efeitos sobre o sistema respiratório. Fração Inalável: diâmetro menor que 100 µm. Fração Torácica: diâmetro menor que 25 µm. Fração Respirável: diâmetro menor que 10 µm.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023, segundo ANVISA, CONAMA n° 491/2018, NR 17 e CONAMA 493/2019 atualizada em 05 de junho de 2019.

A Tabela 6 reporta os níveis aceitáveis dos componentes que foram quantificados (gases e particulados), mostrando os limites de tolerância, aceitáveis conforme estabelece os órgãos competentes mencionados na literatura.

Os particulados foram obtidos por etapas de reconhecimento e avaliação qualitativa realizadas pela equipe técnica da localidade e serviram de base para realização das avaliações quantitativas presentes nesta análises.

Particulado Total: As avaliações dos níveis de Particulado Total foram realizadas de acordo com os preceitos da Norma NR-15 ANEXO 12 da Portaria 3.214/78 do MTE. As avaliações foram realizadas nos ambientes da obra, com atividades habituais, de maneira a representar fielmente a jornada de trabalho. Análise laboratorial segue o procedimento NIOSH 0500 - Rev. 02 de 08/1994.

Particulado Respirável: As avaliações dos níveis de Particulado Respirável foram realizadas de acordo com os preceitos da Norma NR-15 ANEXO 12 da Portaria 3.214/78 do MTE. As avaliações foram realizadas nos ambientes da obra, com atividades habituais, de maneira a representar fielmente a jornada de trabalho. Análise laboratorial segue o procedimento NIOSH 0600 - Rev. 03 de 01/1998.

Particulado Inalável: As avaliações dos níveis de Particulado Inalável foram realizadas de acordo com os preceitos da Norma NR-15 ANEXO 12 da Portaria 3.214/78 do MTE. As avaliações foram realizadas nos ambientes da obra, com atividades habituais, de maneira a representar fielmente a jornada de trabalho. Análise laboratorial seguiu o procedimento MDHS 14/3-GRAVIMETRIA.

Contudo os materiais que são dispersados na atmosfera dependem da velocidade do ar, temperatura e transferência de massa, as equações de fenômenos de transporte são as seguintes, para escoamento em coordenadas cartesianas: Equação do movimento, coordenadas x, y e z.

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] + \rho g_x$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] + \rho g_y$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z$$

Equações 1 – Bird, 2004

Equação da energia:

$$\rho \hat{C}_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \mu \Phi_v$$

Equação 2 – Bird, 2004

E conservação da massa, indicadas por um sistema bifásico:

$$v_{\text{máx}} \left[1 - \left(\frac{x}{\delta} \right)^2 \right] \frac{\partial c_A}{\partial z} = \mathcal{D}_{AB} \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2}$$

Equação 3 – Bird, 2004

Contudo, na solução dessas equações são requeridos métodos computacionais, quando existem transporte de momento, calor e massa, simultaneamente, como no caso das dispersões atmosféricas. Nestes casos, a equação gaussiana é utilizada, sendo a equação aplicada às condições mostradas na Figura 17.

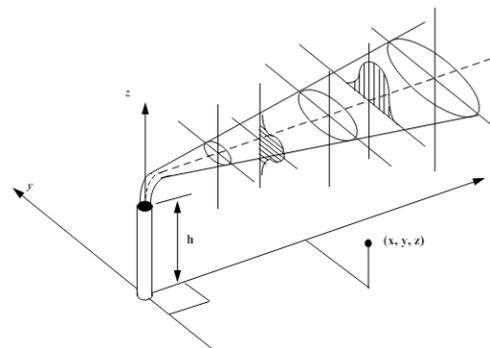
$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \alpha \cdot \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Equação 4 – Lisboa, 2010

onde:

$C(x,y,z)$: concentração média do poluente, a sotavento da fonte, no ponto de coordenadas (x,y,z) (g/m^3)
 x : dist. a sotavento da fonte (m)
 y : dist. horizontal do eixo central da pluma (m)
 z : dist. acima do solo (m)
 \underline{Q} : Vazão mássica de emissão (vazão de lançamento do gás) (g/s)
 \bar{u} : Velocidade média do vento (ms^{-1})
 H : Altura efetiva da chaminé (m)
 α : coeficiente de reflexão [sem dimensão]

Figura 23. Distribuição gaussiana de concentrações.



Lisboa, 2010

Do exposto, a dispersão de poluentes na atmosfera, matematicamente e fisicamente, depende de outros conceitos de engenharia e isto não está sendo desenvolvido neste estudo, consistindo em continuidade desta pesquisa.

Conforme as datas marcadas na Tabela 5 e seus diferentes locais, a visita técnica culminou na coleta de amostras em aeração. As variações que ocorrem em locais da obra, de acordo com a atividade a ser desenvolvida no ambiente de trabalho são mostrados nas Figuras 12 a 21 e agrupadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados obtidos durante os dias de medição

	1ª Visita Excelente	2ª Visita Bom	3ª Visita Péssimo	4ª Visita Bom	5ª Visita Péssimo
CO ₂ (ppm)	385	422	599	385	520
TVOC (mg/m ³)	0,011	0,037	0,214	0,013	0,135
HCHO (mg/m ³)	00000	0,006	0,038	00000	1,024
Temperatura (°C)	31,4	28,4	28,5	28,5	28,2
Umidade (%RH)	56,3	58,1	67,3	60,2	60,4
MP (µm)	30,0	10,0	30,0	140,0	10,0

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

A Tabela 7, traz os dados levantados durante as visitas feitas ao canteiro de obras, respeitando as cores: Verde – Excelente; Amarelo – Bom; Vermelho – Péssimo (referencias de níveis aceitáveis Tabela 6).

O Limite de Tolerância foi determinado pela NR 15 – Anexo 12. O Limite de Quantificação, correspondente ao elemento no aparelho/técnica. O Limite Quantificado expresso em mg/m³ e/ou em ppm é calculado considerando volume de amostragem médio das amostras recebidas pelo laboratório ou de acordo com o volume de amostragem máximo permitido pela legislação. As exposições ocupacionais são diárias e no limite, podendo apresentar riscos futuros em função da constância.

Tabela 8 – Registro da Exposição aos Particulados

Visita	Local Avaliado	Período	Técnica de Avaliação	Valor Encontrado	Limite de Tolerância	Limite de Quantificação
1o. Dia	Ambiente da obra	Diurno	Gravimetria	30 µg	x	30 µg
				0,235 mg/m ³	8 mg/m ³	x
2o. Dia	Ambiente da obra	Diurno	Gravimetria	0,6364 mg/m ³	10 mg/m ³	30 µg
3o. Dia	Ambiente da obra	Diurno	Gravimetria	1400 µg	x	30 µg
				1,113 mg/m ³	Máx. 3 mg/m ³	x
4o. Dia	Ambiente da obra	Diurno	Gravimetria	30 µg	10 mg/m ³	30 µg
				0,1267	0,33 mg/m ³	
5o. Dia	Ambiente da obra	Diurno	Gravimetria	0,6364 mg/m ³	10 mg/m ³	30 µg

Fonte: Elaborado pelo Autor, com os resultados obtidos pelo ERGOGROUP SEGURANÇA DO TRABALHO LTDA, 2024. Relatório Técnico de Agentes Químicos.

Conforme os dados coletados, a alternância dos níveis de satisfação, variam de dia para dia e de ambiente para ambiente. Deixando os gases em estado de alerta em relação aos particulados. Os particulados no 2º e 5º dia, mostram valores no limite permitido, que gera um estado de alerta e cuidado. A inalação diária do valor medido 10 mg/m³, compromete aos poucos o trabalhador, podendo agravar a saúde devido inalação diária.

6 CONCLUSÃO

Nesse estudo, foi possível identificar os níveis de impurezas no ar, bem como quantificá-los. Os parâmetros medidos e identificados, mostraram variações em relação aos valores estabelecidos por normas, sofrendo alterações no mesmo local.

Os resultados obtidos das amostragens dos agentes ambientais servem como parâmetro para comparação com os valores dos limites previstos na NR 15 ou, na ausência destes, os valores limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH, e podem ser utilizados para avaliar a exposição do trabalhador durante a sua vida laboral ou a sua permanência nas instalações. Qualquer alteração ocorrida no modo de execução das tarefas, no *lay out* do local de trabalho, na quantidade ou tipo de materiais, produtos e insumos utilizados e em máquinas e equipamentos, poderá comprometer a representatividade da amostra.

Dos poluentes analisados nas atividades desenvolvidas nos canteiros de obras, foram identificados valores acima do permitido para o CO₂, e a temperatura. O CO₂ sua exposição a concentrações elevadas pode levar a doenças cardiovasculares e reduz a capacidade aeróbica do organismo. A Temperatura elevada traz inúmeros problemas de saúde, desde desconforto pelo suor liberado, desidratação excessiva e até problemas cardíacos como a arritmia. O Material Particulado em várias medições mostrou a fração respirável próximo do limite permitido. Sua fração de pequenas partículas inaláveis com frequência, podem adentrar na região alveolar dos pulmões durante inalação diária.

Os melhores resultados foram durante a 4ª visita, o dia estava “úmido” devido a ação da chuva local com pequenas rajadas de vento. Os parâmetros analisados, tiveram os melhores resultados comparados aos outros dias (ver Tabela 7). A temperatura esteve em um nível bom, com sensação térmica de calor em função da ação do pós-chuva.

Nota-se que esses elementos juntamente com a corrente de ar, acabam se dispersando na atmosfera. Em estudos mais abrangentes e futuros, deve-se investigar o efeito e destino desses compostos e de outros poluentes como materiais dispersos nos canteiros de obra.

Por hora, o levantamento técnico, identificou elementos que são prejudiciais à saúde humana em quantidade excessiva. Os trabalhos foram acompanhados pelos funcionários das respectivas funções dentro da empresa durante a execução de suas atividades no decorrer do dia a dia.

7 ESTUDOS FUTUROS

Estudos futuros, poderão contribuir para outra forma de levantamento e identificação de novos elementos presentes no ar atmosférico no ambiente da construção civil, como: poeira contendo sílica, fibras, poeira metálica, irradiação solar, fumaça, entre outros.

Outro ponto, são os elementos ao entrarem em contato com a corrente de ar e a temperatura ambiente, cria uma dispersão atmosférica que acaba tendo uma influência na qualidade do ar. A mesma poderá ser analisada e quantificada seu fator de relevância na qualidade do ar.

Também poder-se-á analisar as doenças ocupacionais e suas consequências aos trabalhadores conforme seu limite de exposição.

REFERÊNCIAS

- ACGIH. **Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 7th edition, Cincinnati, Ohio, 1989.
- ACGIH. **Advances in Air Sampling**. Industrial Hygiene Science Series, Lewis Publishers, Michigan, U.S.A., 1990.
- ACGIH – **TWA**. <https://melos.com.br/agentes-quimicos-da-nr-15-tem-limite-de-tolerancia-acima-do-previsto-pela-acgih/>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 1999. 194 p.
- AMBIENTE BRASIL. **Recuperação de áreas degradadas**. 2007. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/areas_degradadas/conceitos_gerais_e_historico.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **TLVs e BEIs: Limites de Exposição Ocupacional (TLVs®) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição (BEIs®)**. São Paulo: ABHO. Tradução. ABHO, 2017.
- ARAÚJO, V. M. **Práticas Recomendadas para a Gestão Mais Sustentável de Canteiros de Obras**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12264: Sistema da gestão ambiental – Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistema da gestão ambiental – Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro, 2004.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio; Luiz Carlos Marques Carrera. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BATALHA, O. M. (Coord.) **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008

BARBOSA, M.; TEIXEIRA, Eglé Novaes; HENRIQUE, O. S.; **Resíduo institucional: Estudo de caso Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 09/2007, 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol. 1, pp.1-14, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2007

BARRETO, Ismeralda Maria Castelo Branco do Nascimento. **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/SE; SINDUSCON/SE, 2005. 28p. il. Disponível em: https://www.sinduscon-se.com.br/sinduscon/arquivos/GESTO%20DE%20RESDUOS%20NA%20CONSTRUO%20CIVIL%20-%20Barreto_%20Ismeralda%20Maria%20Castelo%20Branco.pdf

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de transporte**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2004. 838 p.

BITAR, Omar Yazbet. **Avaliação da Recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: 1997. 185 p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-25102001-165349/publico/Tese.PDF>

BRASIL. **Ministério das Cidades**. Secretaria de Saneamento Ambiental. 2007. Disponível em:

<<http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=section&id=17&menupid=215&menutp=saneamento>> Acesso em: 28 jul. 2023

CARDOSO, F.; ARAÚJO, V. **Projeto tecnologias para a construção habitacional mais sustentável**. Finep Habitare. PCC-USP n. 2386/4. 2004. Disponível em: <<http://www.pcc2540.pcc.usp.br/material%202006/habitare%20impactos%20canteiro%2030%206%202006.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2023

CARDOSO, F.; ARAÚJO, V. M. **Projeto tecnologias para a construção habitacional mais sustentável**. 2007. São Paulo. **Levantamento do estado da arte: Canteiro de obras**. São Paulo: Habitação Mais Sustentável. 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/tecnologias-para-construcao-mais-sustentavel/HabitacaomaisSustentavel_D2.6_canteiro_obras.pdf

CASTANHO, A. D. A. **Determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestre em ciências) - Instituto de física da Universidade de São Paulo, 1999.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: [https://cbic.org.br/construcao-civil-confirma-expectativas-e-cresce-forte-pelo-segundo-ano/#:~:text=O%20Informativo%20Econ%C3%B4mico%20da%20CBIC,Geografia%20e%20Estat%C3%ADstica%20\(IBGE\).](https://cbic.org.br/construcao-civil-confirma-expectativas-e-cresce-forte-pelo-segundo-ano/#:~:text=O%20Informativo%20Econ%C3%B4mico%20da%20CBIC,Geografia%20e%20Estat%C3%ADstica%20(IBGE).)

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

APÊNDICE 7. **Resolução CONAMA nº 491, de 19/11/2018**. Tabela A – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 491, de 19/11/2018). Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Apendice-7-Qualidade-do-Ar-2020.pdf>

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório da qualidade do ar de São Paulo**. 2008

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

Qualidade do ar - Poluentes. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade do ar**. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama 001**. Brasília, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 003 de 12/04/1990**. Publicado no DOU em 06 de julho de 1990. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 382 de 26/12/2006**. Publicado no DOU em 10 de junho de 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=106471>.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 491 de 19/11/2018**. Publicado no DOU em 21 de novembro de 2018. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369516>.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 493 de 24/06/2019**. Publicado no DOU em 05 de junho de 2019. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=378831>.

DOI da revista: <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2015.14498> Revista Internacional de Ciências · v.5 - n.1 · jan./jun. 2015

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 481: Workplace Atmospheres: Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne**. Brussels: BSI, 1993.

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **O Tamanho das Partículas de Poeira Suspensas no Ar dos Ambientes de Trabalho**. Adaptação da Dissertação de Mestrado Alcinéa Meigikos dos Anjos Santos, Ministério do Trabalho e Emprego, 2001.

FUNDACIÓN MAPFRE. **Manual de Higiene Industrial**. Editorial MAPFRE, Espanha, 1991

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Uberaba**: população estimada [2019]. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberaba/panorama>. Acesso em: 23 jul. 2023

ISO. **Air Quality - Particle Size Definitions for Health-related Sampling**. Technical Report ISO/TR 7708, Genebra, 1983

LISBOA, H. M. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental Coordenador Henrique de Melo Lisboa. Montreal - Dezembro 2007 – primeira versão Florianópolis – Agosto 2010 – última atualização. ISBN 978-85-913483-0-5 **Controle da Poluição Atmosférica**. Disponível em: <http://repositorio.asces.edu.br/handle/123456789/418>

LOURENÇO, L. A. B. **O Triângulo Mineiro, do Império à República: o extremo Oeste de Minas Gerais na transição para a ordem capitalista (segunda metade do século XIX)**. Uberlândia, MG: EDUFU, 2010

LORENSETTI, R. **Poluentes atmosféricos: o que são e os riscos deles**. Coontrol – Tecnologia em combustão de 14 de fevereiro 2024. Disponível em: <https://blog.coontrol.com.br/poluentes-atmosfericos/>

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS: AVALIAÇÃO DE MODELOS DE DISPERSÃO DE POLUENTES EMITIDOS POR VEÍCULOS MODELING OF AIR POLLUTANTS DISPERSION: DISPERSION MODEL ASSESSMENT ISSUED BY VEHICLES POLLUTANTS Eduardo Monteiro Martins Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ Júlio Domingos Nunes Fortes Departamento de Engenharia Sanitária e do Meios Ambiente/UERJ Ricardo de Araujo Lessa Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental/UERJ

MONTEIRO, A. M. **Avaliação das condições atmosféricas no entorno do complexo termelétrico Jorge Lacerda para controle da qualidade do ar**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. 86p

MURPHY, C.H. **Handbook of Particles Sampling and Analysis Methods**. Verlag Chemie International, Flórida, 1984.

NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL – NHO 08 – Procedimento Técnico – **Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho**. FUNDACENTRO, 2009.

NBR 14001 – SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL – REQUISITOS COM ORIENTAÇÃO PARA USO. Terceira edição 06/10/2015. Válida a partir de 06/11/2015.

Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7603373/mod_resource/content/2/NBRISO14001%20-%202015.pdf

NBR 12264 – SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA – REQUISITOS COM ORIENTAÇÃO PARA USO. Edição em fevereiro de 1991. Válida a partir de 06/11/2015.

Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/instituto-federal-de-educacao-ciencia-e-tecnologia-do-espírito-santo/pavimentacao/nbr12264-sub-base-ou-base-de-brita-graduada/20454409>

NR 15 - Norma Regulamentadora No. 15 – Anexo 12 – LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA POEIRAS MINERAIS.

NR 17 – ESTABELECE PARÂMETROS PARA PERMITIR A ADAPTAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.

NR 18 – CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.

PITTARI, Bruno. **Impacto Ambiental do Canteiro de Obras**. 2009. 61 f. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2009.

QUADROS, M. E. **Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: parâmetros físico-químicos e microbiológicos**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis – SC – 2008. 134p.

SANTOS, A.M.A. **O TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE POEIRA SUSPENSAS NO AR DOS AMBIENTES DE TRABALHO**. 1º. ed. SP: FUNDACENTRO, 2001

SATTLER, M. A. **Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/UFRGS**. In: IV seminário ibero-americano da rede cyted XIV.C. Rio Grande do Sul, 2006.

SEPLAN — Governo do Estado do Tocantins. **Centro de Recepção de Visitantes do Parque Estadual do Jalapão**. 2007. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/site/dma/areas_protegidas/site/jalapao/rima_crvpej/rima/capitulo12_medidas_mitigadoras1.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

SOUZA, U. E. L. **Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, out./dez. 2004. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/AmbienteConstruido/pdf/revista/artigos/Doc118123.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

STOKER, H. S. **Química Ambiental- Contaminación Del aire y del agua**. Barcelona, 1981.

WILLEKE, K., BARON, P. A. **Aerosol Measurement - Principles, Techniques and Applications**. Van Nostrand Reinhold, New York, 1993

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre**. Atualização em 2005. Disponível em www.who.int acessado em agosto de 2023.