

**FLÁVIA VILHENA SUTTER AFFONSO**

**ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR MATERIAL  
PARTICULADO EM UMA PEDREIRA**

**São Paulo**

**2018**

**FLÁVIA VILHENA SUTTER AFFONSO**

**ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR MATERIAL  
PARTICULADO EM UMA PEDREIRA**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Profa. Dra Anna Luiza M. Ayres da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Michiel Wickers

**São Paulo**  
**2018**

TF. 2018

Af.28a

Sept 29 2018

H20/8i



Escola Politécnica - EPMI



31700000244

#### Catalogação-na-publicação

Affonso, Flávia Vilhena Sutter

Análise da poluição atmosférica por material particulado em uma  
pedreira / F. V. S. Affonso -- São Paulo, 2018.  
38p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Ar - Qualidade 2.Poluição Atmosférica 3.Material Particulado 4.Pedreira  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

Aos meus pais, Luiz e Patrícia e à minha  
irmã Marília, pelo apoio de sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores Profa. Dra Anna Luiza M. Ayres da Silva e ao Prof. Dr. Michiel Wickers, pela orientação, empenho e ajuda para a realização deste trabalho.

À equipe do LACASEMIN e ao prof. Dr. Sérgio Médici de Eston pelo empréstimo e transporte dos equipamentos.

À equipe da pedreira pelo auxílio e por permitirem a realização das amostragens.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelas dificuldades e alegrias compartilhadas.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A geração de particulados e a consequente poluição atmosférica são graves problemas ambientais inerentes à atividade de mineração. Com o crescimento acelerado dos centros urbanos e o aumento na demanda de agregados minerais, empreendimentos mineiros estão cada vez mais próximos da comunidade. Isto faz com que seja ainda mais importante a preocupação com a qualidade do ar no entorno destes empreendimentos. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no entorno de uma pedreira através da determinação da concentração de Partículas Totais em Suspensão por meio de Amostradores de Grande Volume. Dois pontos de amostragem foram selecionados e dois amostradores foram colocados em cada um deles. A amostragem foi realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela norma ABNT NBR 9547:1997. Obteve-se um total de 8 amostras em um ponto e 6 amostras em outro. Estes dados foram então comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 e pelo Decreto Estadual nº 59.113/2013 e analisados frente às condições meteorológicas locais. No total, 21,4% das amostras excederam o padrão primário de qualidade do ar e 35,7% das amostras excederam o padrão secundário. Além disso notou-se a influência direta da umidade nas concentrações de PTS e a importância da umectação das vias e da utilização de aspersores de água durante o processo de britagem e peneiramento.

**Palavras-chave:** Ar – Qualidade. Poluição atmosférica. Material Particulado. Pedreira.

## ABSTRACT

The emission of particulates and the consequent atmospheric pollution are serious environmental issues directly associated with mining activity. The accelerated growth of urban centers and the increasing demand for mineral aggregates are making the distance between mining industry and community diminish. This makes the concern for air quality around such mining pits even more important. Thus, this work aimed to evaluate the air quality in the surrounding area of a quarry by determining the concentration of particulate material using high volume samplers. Two sampling points were selected and two samplers were placed in each of them. Sampling was performed according to the methodology established by ABNT-NBR 9547: 97. A total of 8 samples at one point and 6 samples at another were obtained. These data were then compared with the limits established by CONAMA Resolution 03/90 dated 06/28/90 and with meteorological data. In total, 21.4% of the samples exceeded the primary air quality standard and 35.7% of the samples exceeded the secondary standard. In addition, data from the samples showed that moisture had a direct influence on PTS concentrations and that wetting roads and the use of water sprinklers during the crushing and sifting process are significantly important.

**Key words:** Air Quality. Atmospheric pollution. Particulate matter. Quarry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
<b>Figura 1 – Via da pedreira, sem umectação.....</b>	20
<b>Figura 2 – Via da pedreira, com umectação.....</b>	20
<b>Figura 3 – Vista da pedreira e do condomínio com os pontos de amostragem.....</b>	22
<b>Figura 4 – Vista da pedreira com os pontos de amostragem.....</b>	22
<b>Figura 5 – Calibrador padrão de vazão tipo orifício e placas de resistência.....</b>	23
<b>Figura 6 – Amostrador de grande volume e dispositivos auxiliares.....</b>	25
<b>Figura 7 – Gráfico das concentrações de PTS e da umidade relativa do ar para o Ponto P1.....</b>	29
<b>Figura 8 – Gráfico das concentrações de PTS e da umidade relativa do ar para o Ponto P2.....</b>	30
<b>Figura 9 – Gráfico dos dados históricos para o Ponto P2.....</b>	31

## **LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> – Exemplos de poluentes atmosféricos, principais fontes e processos de formação e efeitos associados.....	15
<b>Tabela 2</b> – Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de medição.....	18
<b>Tabela 3</b> – Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de medição.....	18
<b>Tabela 4</b> – Resultados do ponto P1.....	28
<b>Tabela 5</b> – Resultados do ponto P2.....	29

## **LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS**

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AGV:** Amostrador de Grande Volume

**CETESB:** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

**CONAMA:** Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CPV:** Calibrador Padrão de Vazão

**EPA:** Environmental Protection Agency

**Hi-Vol:** High Volume Air Sampler

**MAA:** Média Aritmética Anual.

**MGA:** Média Geométrica Anual

**MP:** Material Particulado

**NBR:** Norma Brasileira

**OMS:** Organização Mundial da Saúde

**PRONAR:** Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

**PTS:** Partículas Totais em Suspensão

**USP:** Universidade de São Paulo

**WHO:** World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>11</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	12
3.2. ETAPAS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	12
3.3. POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	13
3.4. FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	16
3.5. EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	16
3.6. LEGISLAÇÃO E MONITORAMENTO .....	17
3.7. MEDIDAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	19
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
4.1. ESCOLHA DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM .....	21
4.2. METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO DO AMOSTRADOR .....	23
4.3. METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS .....	24
4.4. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS DADOS.....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE A – Formulário para registro dos dados de calibração.....</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICE B – Fotos dos pontos de amostragem.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção e demanda de recursos minerais estão de tal forma relacionados com o desenvolvimento da sociedade que hoje é um dos indicadores econômicos utilizados para avaliar o grau de bem-estar de uma população.

Com o crescimento acelerado das cidades e dos aglomerados urbanos, e o consequente aumento na exploração de agregados para construção civil, sua proximidade aos locais de consumo se faz necessária, uma vez que o transporte representa uma importante parte do custo.

Associados à exploração destes recursos e a qualquer outro recurso mineral, estão alguns efeitos não desejados como a poluição do ar, exposição do solo aos processos erosivos, redução ou destruição de habitat, afugentamento da fauna, morte de espécimes da fauna e da flora terrestres e aquáticas, alterações na paisagem, entre outros.

A poluição do ar associada à operação de um empreendimento mineiro precisa ser controlada durante toda sua vida útil, uma vez que pode causar problemas à fauna, flora à saúde humana. Dentre os poluentes do ar produzidos pela mineração destacam-se os particulados, os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), os óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), os hidrocarbonetos (HC) e o monóxido de carbono (CO). Presente em todas as atividades mineiras, o material particulado se destaca por apresentar um grande potencial poluidor (ALMEIDA, 1999).

Este trabalho propõe-se realizar uma análise da poluição atmosférica por material particulado proveniente da produção de agregados para construção civil em uma pequena mineração a céu aberto (pedreira). Este segmento industrial, concentra-se normalmente nas proximidades de regiões urbanas. O entorno da pedreira em estudo, que durante a fase de licenciamento ambiental não apresentava nenhuma habitação próxima, em pouco tempo receberá um grande condomínio de casas. É importante, portanto, que seja realizado um estudo da qualidade do ar nesta região.

Do exposto, é fundamental conciliar a produção de um bem mineral com o meio ambiente e o bem-estar da população, dentro de um modelo de desenvolvimento sustentável.

## 2. OBJETIVO

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade do ar de uma pedreira através da determinação da concentração de material particulado, para posterior análise de conformidade com os padrões de qualidade do ar.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar a concentração de Partículas Totais em Suspensão no entorno da pedreira em estudo;
- b) Comparar resultados obtidos em diferentes condições meteorológicas;
- c) Comparar os resultados obtidos com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente;
- d) Propor formas de minimizar as emissões de material particulado.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

Segundo Sanchez (2008) a poluição pode ser entendida como uma condição do entorno dos seres vivos, causada por atividades humanas, que lhes possa ser danosa. A poluição ambiental é resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudicam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criam condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetam desfavoravelmente a biota; afetam as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, ou lançam matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981). A poluição atmosférica consiste de gases, líquidos ou sólidos presentes na atmosfera e que causam alterações adversas das características do ar, capazes de levar a essas consequências.

A poluição do ar é um fenômeno causado pelo ser humano desde os tempos remotos e passou a ser intensificado pelo aumento da densidade demográfica e das atividades industriais, metalúrgicas e de transporte. Hoje a poluição do ar é um problema mundial e causa efeitos tanto na saúde humana como no meio ambiente em geral (ASSUNÇÃO, 1998).

A poluição atmosférica também pode ser causada por fenômenos físicos e químicos que ocorrem naturalmente, e consiste em gases, líquidos ou sólidos presentes na atmosfera em níveis elevados o suficiente para causar dano ao ser humano, animais, plantas e materiais (RAVEN et al. 1995; MELO, 1997).

#### **3.2. ETAPAS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

O processo de poluição do ar pode ser dividido em cinco fases: geração, emissão, dispersão, deposição e ressuspensão (ASSUNÇÃO, 1998).

Na etapa de geração o poluente é formado ou produzido e caso não seja retido pelas formas de controle, este é lançado na atmosfera, ocorrendo a etapa de emissão. A etapa de dispersão consiste no transporte dos poluentes pela ação do vento, podendo ocorrer também a geração de poluentes secundários. A deposição pode ser causada através de dois mecanismos: a deposição seca (ação da gravidade) e a

deposição úmida (ação das chuvas). Na ressuspensão os poluentes que haviam se depositado, passam para a atmosfera novamente, devido à ação dos ventos (USP, 2017).

### 3.3. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A Resolução nº 003 do CONAMA (1990) define poluente atmosférico como toda forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com as legislações, e que podem causar algum efeito nocivo ou ofensivo à saúde ao bem-estar público, à fauna e à flora.

Os poluentes podem ser divididos, de acordo com seu estado físico, em dois grupos: material particulado e gases. Os materiais particulados podem ser partículas sólidas ou líquidas, de tamanhos variados, e quando se encontram suspensas no ar são denominadas aerossóis. Os gases são os poluentes na forma molecular, podendo ser gases permanentes ou no estado de vapor (ASSUNÇÃO, 1998).

Devido à variedade do tamanho das partículas, sua complexidade e seu estado físico, os materiais particulados podem ser classificados também como poeiras e fumos (partículas sólidas) ou fumaça e névoas (partículas líquidas) sendo que o diâmetro das partículas varia entre 0,002  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  (BAIRD, 2002).

Outra classificação existente divide os poluentes segundo a sua formação, onde os poluentes primários são aqueles emitidos na forma de poluentes, e os poluentes secundários se formam na atmosfera através de reações químicas ou fotoquímicas (ASSUNÇÃO, 1998).

Uma definição que será muito utilizada neste trabalho, é a de Partículas Totais em Suspensão (PTS), que corresponde a partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça ou fuligem com diâmetro aerodinâmico equivalente de até 50  $\mu\text{m}$ , coletada no Amostrador de Grande Volume - AGV (ABNT, 1997). Uma parte destas partículas é inalável ( $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ ) e pode causar problemas à saúde da população.

Segundo Magalhães *et al.* (2010, *apud* SOARES, 2015) o  $\text{PM}_{10}$  é conhecido como fração inalável grossa e o  $\text{PM}_{2,5}$  é conhecido como fração inalável fina. Essas partículas podem conter substâncias tóxicas ou mutagênicas, podendo causar danos à saúde.

As partículas MP<sub>10</sub>, também denominadas partículas inaláveis grossas, possuem diâmetro aerodinâmico d<sub>50</sub> < 10 µm. As partículas MP<sub>2,5</sub>, denominadas partículas inaláveis finas, possuem diâmetro aerodinâmico d<sub>50</sub> < 2,5 µm. Em razão do seu tamanho diminuto, uma grande parcela das partículas inaláveis podem atingir os alvéolos pulmonares (STEFFENS, 2013).

A CETESB, atualmente, realiza o monitoramento dos seguintes poluentes: Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Partículas Inaláveis Finas (MP<sub>2,5</sub>), Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>) e fumaça, Partículas Totais em Suspensão (PTS), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O<sub>3</sub>) e Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>). A rede de monitoramento da qualidade do ar conta com 60 estações automáticas e 31 pontos de monitoramento manual no Estado de São Paulo (CETESB, 2018).

A **Tabela 1** apresenta alguns dos principais poluentes atmosféricos, as fontes de emissão que se destacam, seus processos de formação e os efeitos associados à saúde humana e ao meio ambiente.

**Tabela 1 – Exemplos de poluentes atmosféricos, principais fontes e processos de formação e efeitos associados.**

Poluente	Fontes	Processos	Efeito
Óxido de Enxofre (SO <sub>x</sub> )	Antropogênica	Combustão (refinarias, termoelétricas, veículos diesel), Processos Industriais	Afeta o sistema respiratório, Chuvas ácidas e Danos em materiais
	Naturais	Vulcanismo e Processos biológicos	
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	Antropogênica	Combustão (veículos e indústria)	Afeta o sistema respiratório e Chuvas ácidas
	Naturais	Emissões da vegetação	
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's)	Antropogênica	Refinarias, Petroquímicas, Veículos Evaporação de combustíveis e solventes	Poluição fotoquímica, Incluem compostos tóxicos e carcinogênicos
	Naturais		
Monóxido de Carbono (CO)	Antropogênica	Combustão (veículos)	Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue
	Naturais	Emissões da vegetação	
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Antropogênica	Combustão	Aquecimento global
	Naturais	Incêndios florestais	
Material Particulado	Antropogênica	Combustão, Processos industriais, Condensação de outros poluentes e Mineração	Alergias respiratórias, Votor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos carcinogênicos)
	Naturais	Erosão eólica, Vulcanismo,	
CFC's	Antropogênica	Aerossóis, Sistemas de refrigeração, Espumas, sistemas de combate a incêndios	Destrução da camada de ozônio Contribuição para o efeito estufa

Fonte: USP (2017).

### **3.4. FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

Os poluentes atmosféricos podem resultar de processos naturais ou de processos antropogênicos. São exemplos de fontes naturais de poluentes atmosféricos: emissões de gases e particulados oriundos de erupções vulcânicas, atividades de gêiseres, gás metano em pântanos, aerossóis marinhos, pôlens de plantas, incêndios naturais em florestas. São exemplos de fontes antropogênicas: processos e operações industriais, queima de combustível (transporte), queimadas, incineração de lixo, equipamentos de refrigeração e ar condicionado (ALMEIDA, 1999).

As fontes de poluição atmosférica também podem ser classificadas entre fontes móveis e fontes fixas. As fontes móveis representam principalmente os transportes rodoviários, e são fontes importantes de poluentes, visto que são os principais emissores de  $\text{NO}_x$  e CO. Como exemplo de fontes fixas temos as termoelétricas, refinarias, siderúrgicas, cimenteiras, indústria química, entre outras. (USP, 2017).

### **3.5. EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

Os efeitos da poluição atmosférica podem ser tanto globais quanto locais e regionais. Em escala global podemos citar a chuva ácida, o efeito estufa e a redução da camada de ozônio. Em escala local a poluição atmosférica afeta principalmente a saúde humana, a fauna, a vegetação e os materiais (ALMEIDA, 1999).

O material particulado pode afetar a saúde humana de diversas formas, entre as quais podemos citar a irritação dos olhos e das vias respiratórias, a redução da capacidade pulmonar e do desempenho físico, o agravamento de doenças crônicas, tais como a asma, bronquite, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar, doença do coração e câncer de pulmão (WHO, 2000).

### **3.6. LEGISLAÇÃO E MONITORAMENTO**

Com o propósito de criar um critério nacional de monitoramento e controle da qualidade do ar, o CONAMA (1990), através do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), estabeleceu Padrões Primário e Secundário de Qualidade do Ar. O primeiro corresponde às concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, podem afetar a saúde da população. O Padrão Secundário corresponde às concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, mínimo dano à fauna, à flora e ao meio ambiente.

Segundo Freitas et al. (2003), no Brasil, o CONAMA adotou os mesmos padrões da Environmental Protection Agency (EPA). Os valores das concentrações adotadas estão apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 2 – Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de medição.**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Método de medição de referência
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40,000	40,000	Infravermelho não disponível
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas	10,000	10,000	
		9 ppm	9 ppm	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA (3)	60	40	
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação inercial/filtragem
	MAA (3)	50	50	
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimiluminescência
	MAA (3)	100	100	

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90 de 28/06/90.

A Lei nº 997/76 de 31/05/76 regulamentada pelo Decreto 8.468/76 de 08/09/76, estabelece padrões de qualidade de ar para episódios agudos, como pode ser observado na **Tabela 3**.

**Tabela 3 – Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de medição.**

Poluente	Critérios para Episódios Agudos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão	375	625	875
Dióxido de nitrogênio	250	420	500

Fonte: BRASIL (1990).

Para o estado de São Paulo o Decreto Estadual 59113/2013 estabelece limites mais restritivos para alguns poluentes e que estão alinhados à OMS (Organização Mundial da Saúde). O decreto estabeleceu também metas intermediárias, permitindo uma redução gradual dos limites até o padrão final, permitindo assim que as indústrias no estado de São Paulo tenham tempo para adaptação. Porém, para Partículas Totais em Suspensão (objeto de estudo deste trabalho) os limites são os mesmos estabelecidos pela CONAMA nº 03/90 de 28/06/90.

Segundo Braga et al. (2002) não existem níveis seguros de concentração de poluentes para a saúde humana, portanto os padrões deveriam ser frequentemente revisados.

### **3.7. MEDIDAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

As medidas de controle da poluição atmosférica podem ser divididas em diretas e indiretas. As diretas visam reduzir a quantidade dos poluentes lançados na atmosfera, através da instalação de equipamentos de controle (pré-lançamento). As indiretas visam a eliminação, diluição, segregação ou afastamento dos poluentes já lançados na atmosfera (USP, 2017).

Podemos citar como exemplos de medidas diretas a utilização de filtros e sistemas de ventilação local exaustora. Para material particulado pode-se utilizar de coletores mecânicos iniciais e gravitacionais, coletores centrífugos, precipitadores eletrostáticos e dinâmicos e lavadores.

Como exemplo de medidas indiretas temos: melhor distribuição espacial das fontes, aumento da distância fonte-receptor, substituição de combustíveis, matérias-primas e reagentes do processo, mudança de equipamentos, operar equipamentos dentro de sua capacidade nominal, armazenar de forma adequada materiais pulverulentos ou fragmentados, entre outras.

O efeito de um poluente também pode ser alterado em função de condicionantes meteorológicas, como a inversão térmica, os ventos, as chuvas e a temperatura.

A forma mais eficiente de controlar a qualidade do ar consiste na prevenção, ou seja, diminuir a geração de poluentes (ASSUNÇÃO, 1998). Na mineração, a maior parte das medidas de controle de poluentes são adotadas para reduzir as emissões durante o transporte de minério pelas vias de acesso não pavimentadas, como o uso

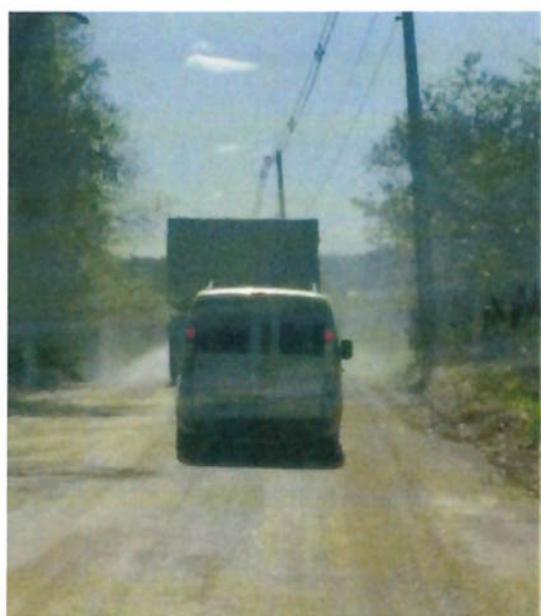
de aspersores automáticos de água, barreiras de vegetação ou umectação por caminhões pipa. As imagens apresentadas nas **Figuras 1 e 2** foram obtidas no dia da instalação dos amostradores de material particulado na pedreira em estudo, e a partir delas é possível observar a importância de realizar a umectação das vias. É visível a variação na concentração de material particulado em suspensão no ar entre a **Figura 1** (sem umectação) e a **Figura 2** (com umectação).

**Figura 1** – Via da pedreira, sem umectação.



Fonte: Arquivo pessoal.

**Figura 2** – Via da pedreira, com umectação.



Fonte: Arquivo pessoal.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho é dividida em três etapas: escolha dos locais da pedreira onde serão realizadas as coletas de dados, a calibração dos amostradores e a amostragem.

A amostragem será realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela norma ABNT-NBR 9547 (ABNT, 1997) utilizando-se Amostradores de Grande Volume - AGV.

### 4.1. ESCOLHA DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Foram escolhidos dois pontos fixos de coleta, com dois AGV em cada um (para que o par de amostradores opere de forma alternada, entrando o segundo em operação assim que o primeiro termine a sua amostragem). Para a escolha considerou-se que as atividades da pedreira (lavra, britagem e transporte) funcionam como sendo uma fonte única de geração, ou seja, o material particulado gerado será atribuído às atividades como um todo.

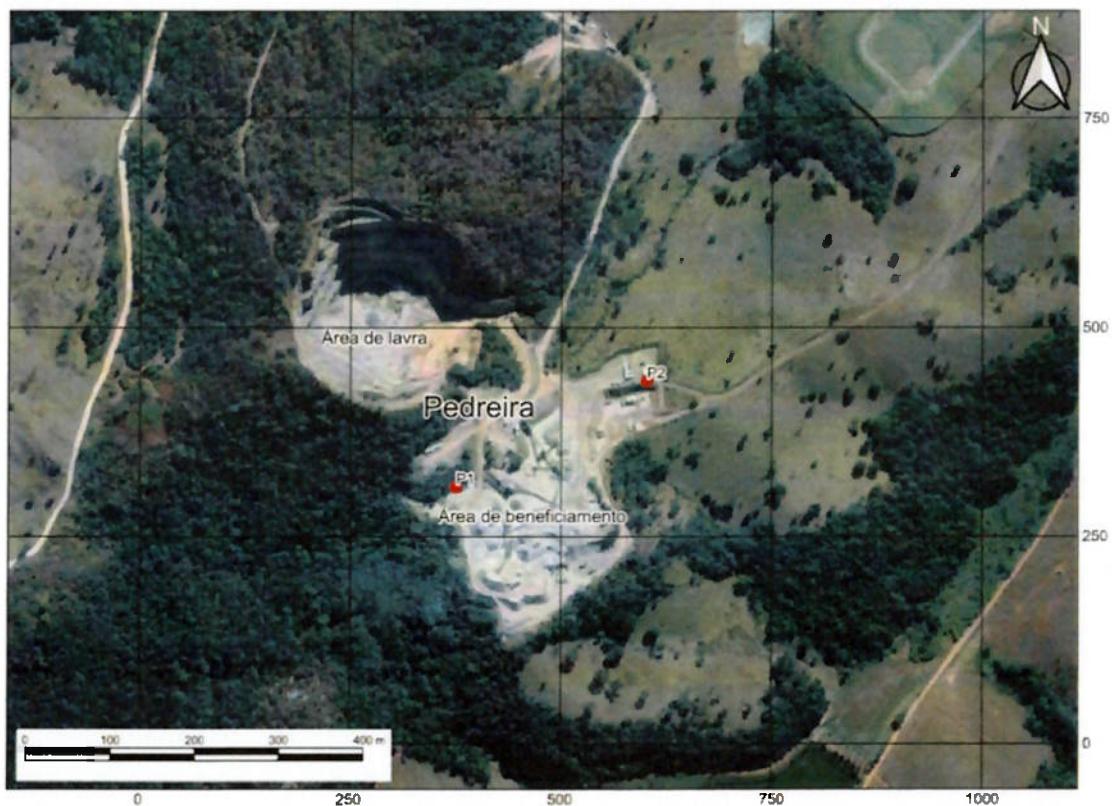
Além disso outros fatores determinaram a escolha dos locais: direção do vento, proximidade à futuras construções e moradias, fonte de energia elétrica e distância à possíveis barreiras que possam influenciar a amostragem. Os pontos selecionados estão representados por "P1" e "P2" nas **Figuras 3 e 4**.

**Figura 3** – Vista da pedreira e do condomínio com os pontos de amostragem.



Fonte: Google Earth (2018).

**Figura 4** – Vista da pedreira com os pontos de amostragem.



Fonte: Google Earth (2018).

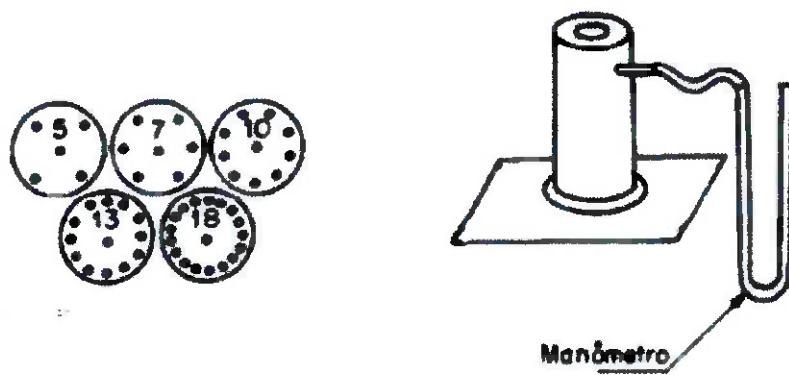
À princípio a amostragem foi programada para ser realizada durante 6 dias no mês de setembro. Porém, no ponto P2 um dos amostradores quebrou durante os dias programados, fazendo com que a amostragem tivesse que ser repetida. Sendo assim, os dias de amostragem foram diferentes para os dois pontos escolhidos.

#### 4.2. METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO DO AMOSTRADOR

Antes de iniciar as medições, deve-se realizar a calibração do amostrador utilizando-se um Calibrador Padrão de Vazão (CPV). Isto é feito para estabelecer uma relação entre os valores de pressão registrados na carta gráfica (adimensional) e um manômetro em U (em cmH<sub>2</sub>O). A partir de diferentes valores de pressão é possível, por meio de regressão linear, calcular o volume de ar amostrado em cada um dos dias monitorados.

O CPV consiste em um copo com um orifício que deve ser conectado à entrada de ar do amostrador. Associado a ele são utilizados um manômetro para medir a perda de carga no orifício e placas com diferentes quantidades de orifícios para variar o fluxo de ar através do amostrador, como ilustrado na **Figura 5**. São também necessários um termômetro e um barômetro para medir a temperatura e pressão ambientes.

**Figura 5** – Calibrador padrão de vazão tipo orifício e placas de resistência.



Fonte: ABNT (1997).

De acordo com a Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT, 1997), o procedimento para a calibração do dispositivo indicador de vazão deve estar de acordo com os seguintes passos:

1. Utilizar um formulário como o apresentado no Apêndice A.
2. Conectar o calibrador à entrada do amostrador e o manômetro de coluna à tomada de pressão do calibrador. Certificar-se de que não haja vazamento entre o CPV e o amostrador.
3. Ligar o amostrador e deixar o mesmo funcionando por 5 min, a fim de estabelecer equilíbrio térmico antes da calibração.
4. Anotar a temperatura,  $T_2$ , e a pressão barométrica,  $P_2$ , ambiente durante a calibração.
5. Inserir a placa de orifício apropriada.
6. Deixar o amostrador funcionando por pelo menos 2 min a fim de restabelecer as condições térmicas de funcionamento. Ler a pressão diferencial ( $\Delta H$ ) e o valor indicado  $I_2$  do indicador de vazão. Anotar no formulário representado no Apêndice A. Repetir o procedimento para as outras placas.
7. Calcular a vazão nas condições-padrão ( $Q_i$ ) a partir da inclinação ( $a_1$ ) e da interseção ( $b_1$ ) da reta de calibração do CPV, obtida por regressão linear e anotar no formulário de calibração.

$$Q_i = \frac{1}{a_1} \left[ \sqrt{\Delta H \left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)} - b_1 \right] \quad (1)$$

#### 4.3. METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS

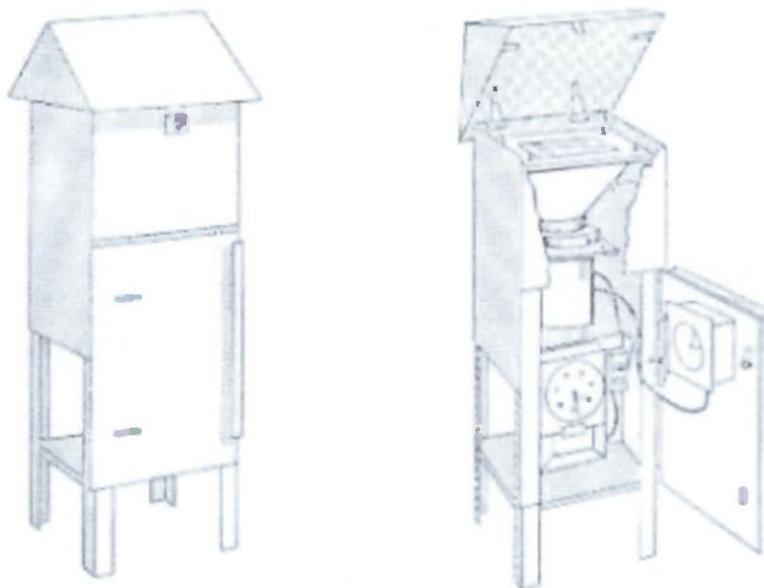
A metodologia utilizada para a coleta de dados consiste na amostragem de Partículas Totais em Suspensão (PTS) por meio de quatro Amostradores de Grande Volume (AGV), comumente designados por HI-VOL, do inglês *High Volume Air Sampler*, que serão dispostos nos locais previamente selecionados na área da pedreira.

O método consiste na determinação da massa de material particulado que fica retida em um filtro, geralmente de fibra de vidro ou outro material relativamente inerte. A concentração de PTS é calculada pelo quociente entre a massa de material particulado e o volume total de ar amostrado em 24 horas. Para isso o ar deve ser succionado através do filtro a uma vazão de 1,1 m<sup>3</sup>/min a 1,7 m<sup>3</sup>/min (~ 2000 m<sup>3</sup>/dia).

O Amostrador de Grande Volume é composto pelo motor-aspirador, por um porta filtro e uma casinhola de abrigo. Além disso, também dispõe de dispositivos

auxiliares: indicador de vazão, programador de tempo, regulador de tensão e horâmetro, como pode ser observado na **Figura 6**.

**Figura 6** – Amostrador de grande volume e dispositivos auxiliares.



Fonte: ALMEIDA (1999).

De acordo com a Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT, 1997), o procedimento para a amostragem deve estar de acordo com os seguintes passos:

1. Numerar e inspecionar cada filtro, analisando se não há furos, partículas ou outros detalhes;
2. Manter os filtros no ambiente de condicionamento por 24 horas para equilíbrio de umidade (umidade relativa do ar inferior a 50%);
3. Pesar cada filtro com precisão de 0,1 mg e anotar sua massa inicial;
4. Transportar os filtros dentro de recipientes protetores, tomando o cuidado de não dobrá-los;
5. Abrir o amostrador e instalar o filtro com a face rugosa voltada para cima;
6. Fechar o amostrador e colocá-lo em funcionamento por 5 min para estabelecer as condições de temperatura de funcionamento;
7. Anotar a vazão, pressão barométrica e a temperatura ambiente. Desligar o amostrador e verificar se a vazão está dentro da faixa aceitável ( $1,1 \text{ m}^3/\text{min}$  a  $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$ );

8. Anotar os dados do local, do amostrador, do filtro, a hora e a data da amostragem;
9. Programar o término da amostragem de forma que o amostrador funcione por 24 horas;
10. Desligar o amostrador e remover o filtro tocando somente em suas bordas;
11. Dobrar o filtro ao meio, no comprimento maior, com as partículas voltadas para dentro;
12. Anotar na folha de campo o horário de término da amostragem, principais ocorrências (fontes de material particulado observadas), assim como outros fatores, como condições meteorológicas;
13. Manter os filtros novamente no mesmo ambiente de condicionamento por 24 horas para equilíbrio de umidade;
14. Pesar o filtro novamente, com precisão de 0,1 mg e anotar a sua massa final.

#### **4.4. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS DADOS**

Para o cálculo da concentração de PTS é necessário determinar a massa de MP (Material Particulado) retido em cada um dos filtros, a vazão média e o volume de ar amostrado.

A massa de MP é determinada pela diferença entre as massas dos filtros antes e após a amostragem.

A vazão média de ar amostrado pode ser obtida graficamente através da curva de calibração do amostrador, ou então pode ser calculada através da equação:

$$Q_i = \frac{1}{a_2} \left[ \sqrt{D \left( \frac{P_3}{760} \right) \left( \frac{298}{T_3} \right)} - b_2 \right] \quad (2)$$

Onde:

$a_2$  e  $b_2$  são os coeficientes de regressão linear da calibração do Hi-vol;

$D$  é o valor médio da deflexão da pena, que corresponde ao registro na carta gráfica.

O cálculo do volume de ar amostrado é calculado pela expressão:

$$V = Q \times t \quad (3)$$

Onde:

V é o volume total de ar amostrado (em m<sup>3</sup>);

Q é a vazão média (em m<sup>3</sup>/min);

t é o tempo de amostragem (em minutos).

E por fim, o cálculo da concentração de PTS é dado pela expressão:

$$C = \frac{(m_f - m_i)}{V} \quad (4)$$

Onde

C é a concentração de PTS em condições padrão (em µg/m<sup>3</sup>);

m<sub>f</sub> é a massa final do filtro (µg);

m<sub>i</sub> é a massa inicial do filtro (µg);

V é o volume total de ar amostrado (em m<sup>3</sup>).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão analisadas as concentrações de material particulado obtidos na amostragem, buscando identificar as principais fontes que contribuíram para os resultados obtidos e a influência das condições meteorológicas, sendo os resultados comparados com os padrões estabelecidos na legislação.

Conforme detalhado no item 4.1, em cada um dos pontos foram colocados dois amostradores com o objetivo de programá-los em dias alternados, como é possível observar na foto 1 do Apêndice C. Os *timers* dos amostradores foram programados para realizarem uma amostragem a mais, visto que é comum a falta de energia ou algum outro fator que invalide a amostra.

No ponto P1 todas as amostragens programadas deram certo, sendo assim, obteve-se um total de 8 amostras. A **Tabela 4** apresenta as concentrações de PTS obtidas nos dias de amostragem do ponto P1, assim como a temperatura, direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar e pluviosidade.

**Tabela 4** – Resultados do ponto P1

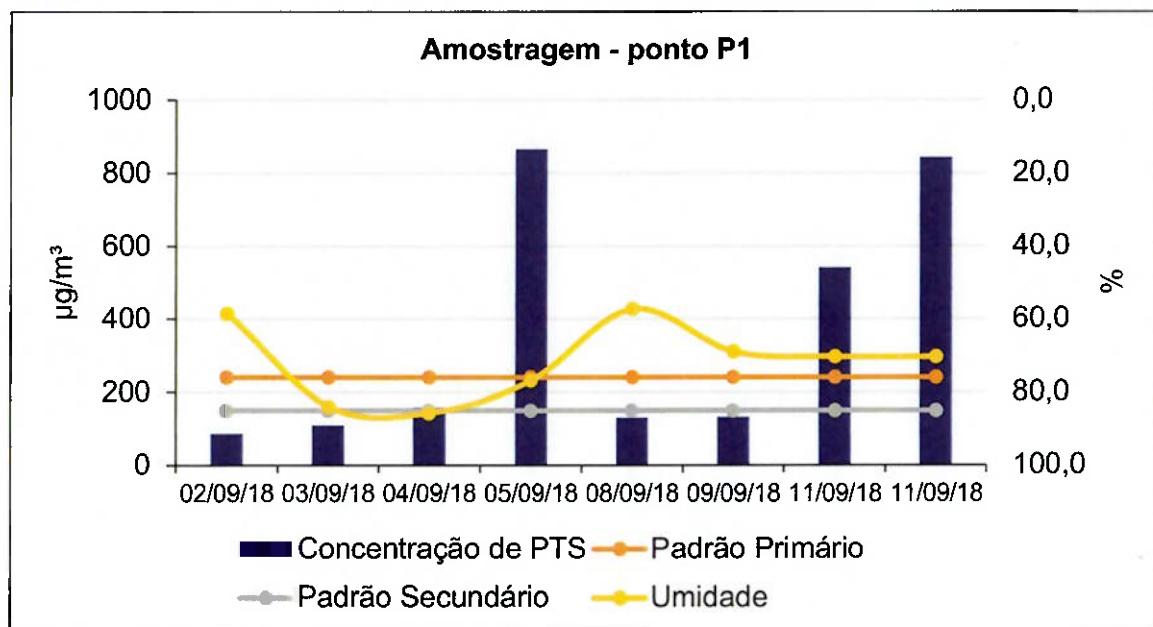
Dia	Temp. (°C)			VENTO		Umidade (%)	Pluviosidade (mm)	PTS (µg/m³)
	Max.	Mín.	Média	Direção (°)	Velocidade (km/h)			
02/09/18	23.5	22.2	22.9	231	1.8	58.4	0	86
03/09/18	18.8	17.8	18.0	246	2.1	83.9	10	108
04/09/18	13.4	12.6	13.0	215	1.7	85.7	12	157
05/09/18	14.3	13.3	13.8	139	3.2	76.8	0	865
08/09/18	20.7	19.1	19.9	176	2.7	57.3	0	129
09/09/18	19.1	17.6	18.3	167	3.4	69.0	0	132
11/09/18	18.6	17.4	18.0	142	3.8	70.4	0	540
11/09/18	18.6	17.4	18.0	142	3.8	70.4	0	843

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados é possível observar que o padrão primário é excedido em 37,5 % das amostras (3 amostras), e o padrão secundário é excedido em 40 % das amostras (4 amostras). Observa-se também que a velocidade média do vento no período foi de 2,8 km/h. Segundo Loureiro (2005, *apud* SOARES, 2015) a baixa velocidade dos ventos favorece o aumento da concentração de material particulado, uma vez que faz com que haja menos dispersão dos poluentes. A **Figura 7** apresenta

as concentrações diárias de PTS obtidas no ponto P1, assim como os valores de umidade relativa do ar, o padrão primário e o padrão secundário.

**Figura 7** – Gráfico das concentrações de PTS e da umidade relativa do ar para o Ponto P1.



Fonte: Elaboração própria.

No ponto P2 as amostragens programadas para o início de setembro não ocorreram da maneira esperada, pois um dos amostradores deste ponto quebrou. Sendo assim as amostragens foram reprogramadas para iniciar no dia 18 de setembro. A **Tabela 5** apresenta as concentrações de PTS obtidas nos dias de amostragem do ponto P2, assim como a temperatura, direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar e pluviosidade.

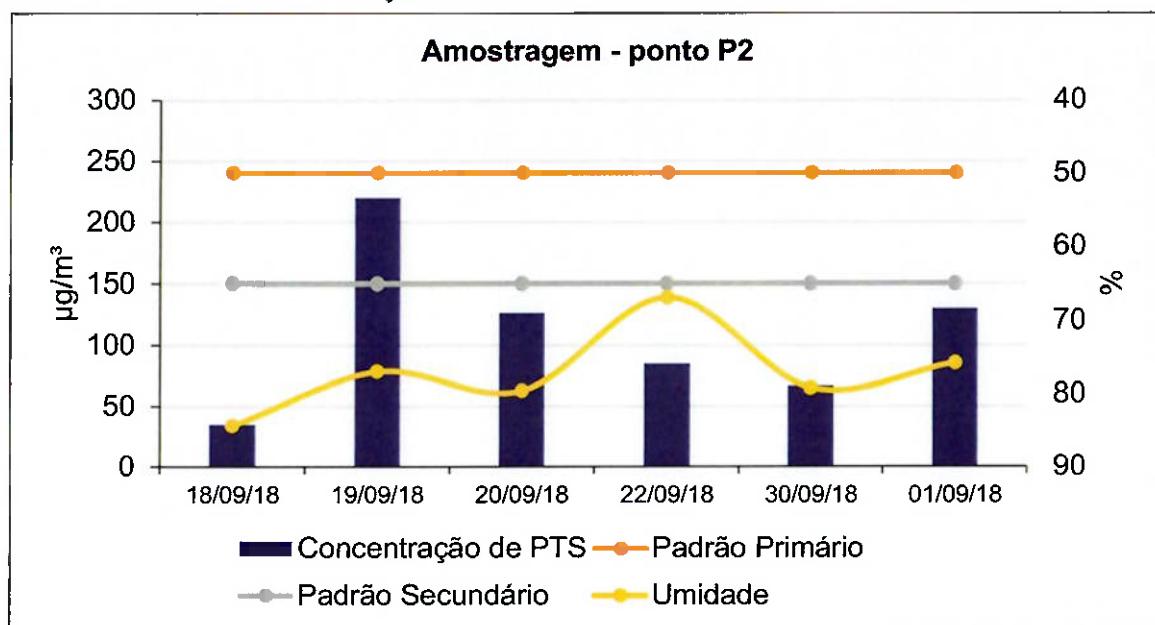
**Tabela 5** – Resultados do ponto P2

Dia	Temp. (°C)			VENTO		Umidade (%)	Pluviosidade (mm)	PTS (µg/m³)
	Max.	Mín.	Média	Direção	Velocidade (km/h)			
18/09/18	20.7	19.9	20.3	250	1.7	84.3	0.6	35
19/09/18	23.1	21.5	22.4	210	1.2	76.9	0	220
20/09/18	20.4	18.7	19.4	188	2.9	79.5	12.5	126
22/09/18	22.9	21.2	22.1	152	1.6	66.8	2.5	85
30/09/18	22.9	21.9	22.4	199	1.8	79.1	0	67
01/10/18	23.6	22.4	23.1	235	1.4	75.7	0	130

Fonte: Elaboração própria.

Neste ponto observa-se que o padrão primário não é excedido em nenhuma das amostras, já o padrão secundário é excedido em 16,7 % das amostras (1 amostra). Observa-se também que a velocidade média do vento no período foi de 1,8 km/h. A **Figura 8** apresenta as concentrações diárias de PTS obtidas no ponto P2, assim como os valores de umidade relativa do ar, o padrão primário e o padrão secundário.

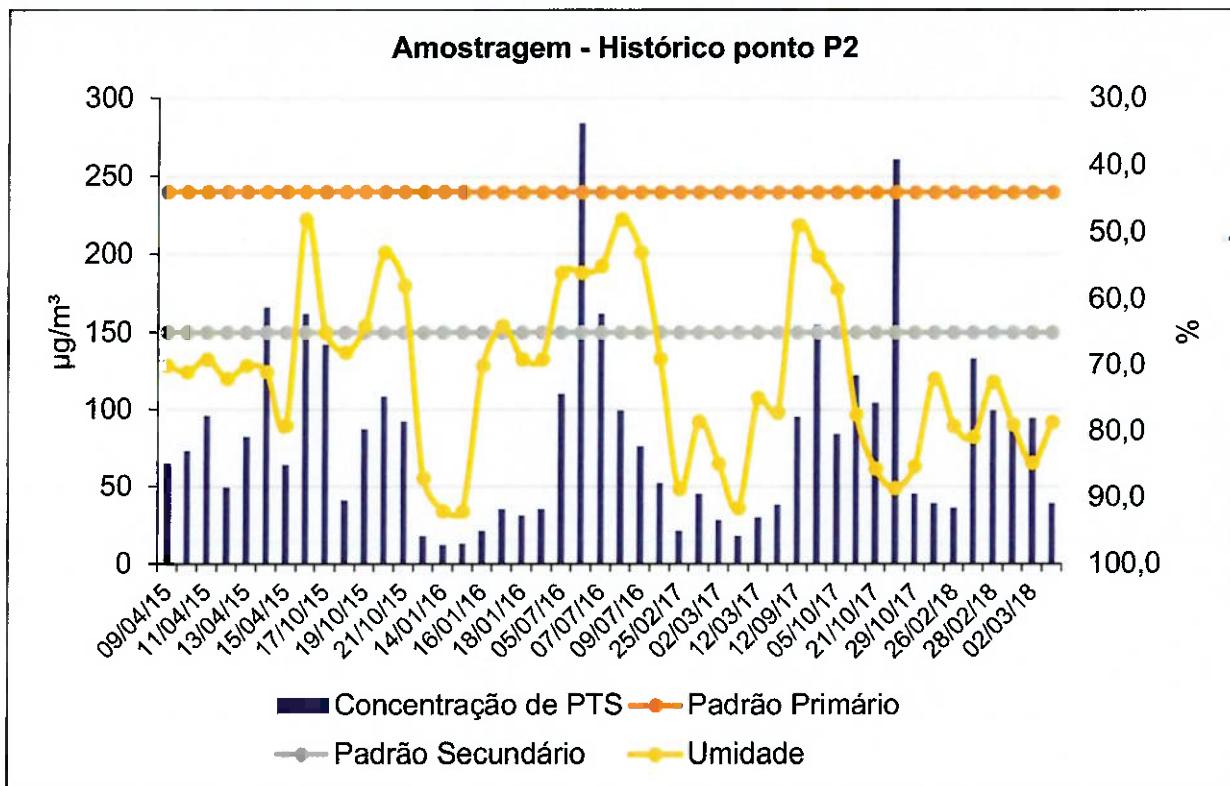
**Figura 8** – Gráfico das concentrações de PTS e da umidade relativa do ar para o Ponto P2.



Fonte: Elaboração própria.

Para o ponto P2 há um histórico de dados de amostragens realizadas desde 2015 pela pedreira. Como pode ser visto na **Figura 9**, a umidade relativa do ar possui influência direta na concentração de PTS. De acordo com Lima (2007, *apud* SOARES, 2015) a sedimentação das partículas aumenta quanto maior for a umidade do ar, devido à adsorção de água.

**Figura 9 – Gráfico dos dados históricos para o Ponto P2.**



Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado na **Figura 9** no ponto P2 o padrão primário foi ultrapassado poucas vezes desde 2015, enquanto no ponto P1 ele foi ultrapassado 3 vezes em apenas 8 dias de amostragem.

## 6. CONCLUSÃO

Dos dois pontos de amostragem, o ponto P1, localizado próximo ao pátio de carregamento e estocagem, apresentou 37,5% das amostras acima do padrão primário e 40% acima do padrão secundário. Já o ponto P2, localizado próximo ao limite do terreno da pedreira, mais afastado das atividades, apresentou apenas 16,67% das amostras acima do padrão secundário e historicamente não apresenta valores elevados.

Apesar disso, vale ressaltar que o ponto P1 está localizado dentro da área do empreendimento a poucos metros das atividades e que existe uma parede de vegetação entre os limites da pedreira e a vizinhança. Sendo assim, não é possível concluir que na área externa as concentrações também estariam elevadas.

Foi possível observar a relação da umidade relativa do ar e da precipitação com a concentração de PTS, visto que as concentrações mais baixas ocorreram em períodos de alta umidade. Isto reforça a importância de realizar a umectação das vias e utilizar aspersores de água.

Durante a realização das amostragens foi observado que as vias de acesso são frequentemente umectadas, e que são utilizados aspersores de água na britagem e peneiramento, porém, no pátio de carregamento e estocagem não foram observados tais medidas. Portanto, sugere-se a intensificação da umectação das vias neste local.

Além disto, seria interessante a continuidade do monitoramento no ponto P1 juntamente com o ponto P2, a fim de acompanhar mais detalhadamente a eficiência no controle das emissões de material particulado pelas operações da pedreira.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 194 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Material Particulado em Suspensão no ar ambiente:** Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. 10p. (ABNT NBR 9547). 1997.

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição atmosférica. In: CASTELLANO, E. G. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias.** São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. p. 271-308.

BAIRD, C. **Química Ambiental.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. In: **Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil:** os próximos vinte anos. Campinas: UNICAMP, 2002.

BRASIL. **Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF.

CETESB. Padrões de Qualidade do Ar. São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/> Acesso em 15 de novembro de 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90.** S.n.t.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto - MG.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. 60p.

MELO, G. B. **Efluentes Atmosféricos e Qualidade do Ar.** Belo Horizonte: UFMG, 1997.

MELO NETO, R. P. de. **Diagnóstico ambiental sobre material particulado em suspensão no entorno de pedreira: um estudo de caso em Jaboatão do Guararapes/PE.** Dissertação (mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. 120p.

RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. **Environment.** Fort Worth: Saunders College Publishing, 1995.

SANCHEZ, L. A. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina do Textos, 2008.

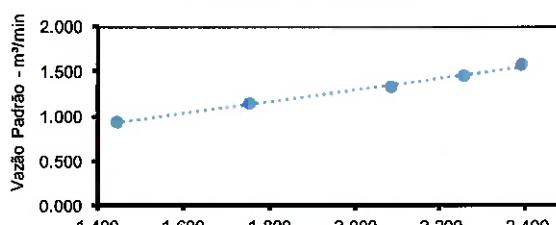
SOARES, R. M. de. **Caracterização Do Material Particulado Atmosférico e Avaliação da Qualidade do Ar da cidade de Poços De Caldas-MG.** Dissertação (mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2015. 91p.

STEFFENS, J. A poluição atmosférica e a qualidade de vida da população. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 1, p. 85-96, 2013.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - SCHRAGE, M. W. **Apostila do curso de Engenharia de Segurança do Trabalho - Proteção ao Meio Ambiente – Parte B.** São Paulo: PECE, 2017. 90p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines for Europe.** Copenhagen: WHO Regional Publications nº 91, 2000. 288 p.

## APÊNDICE A – Formulário para registro dos dados de calibração

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº:				Página:	1/1		
<b>INFORMAÇÕES GERAIS:</b>							
LOCAL DA ESTAÇÃO:	Pedreira - P1						
DATA DA CALIBRAÇÃO:	30-08-18						
DATA DA EMISSÃO DO CERTIFICADO:	03-08-18						
EQUIPAMENTO CALIBRADO:	Amostrador de Grande Volume						
CÓDIGO:	HPV-0251						
<b>INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A CALIBRAÇÃO DO CALIBRADOR PADRÃO DE VAZÃO - CPV</b>							
PARÂMETRO		SÍMBOLO	UNIDADE	VALOR			
Inclinação		a <sup>1</sup>	adm.	2.788			
Interseção		b	adm.	-0.0315			
<b>DADOS DE CAMPO</b>							
PARÂMETRO		SÍMBOLO	UNIDADE	VALOR			
Horário de calibração		h	h	16:30			
Umidade Relativa		UR	%	79.1			
Temperatura ambiente no local de amostragem		T <sup>2</sup>	°C	34			
Temperatura ambiente no local de amostragem		T <sup>2</sup>	K	307			
Pressão atmosférica no local de amostragem		P	mmHg	711.51			
<b>MEDIDAS DE CALIBRAÇÃO</b>							
1	2			3	4	5	
Placa	ΔH (cmH O)			Deflexão	Deflexão Corrigida	Vazão Padrão	
	1	2	3				Média
18	21.0	21.0	21.0	21.0	6.3	2.393	1.578
13	18.0	18.0	18.0	18.0	5.6	2.256	1.462
10	15.0	15.0	15.0	15.0	4.8	2.089	1.336
7	11.0	11.0	11.0	11.0	3.4	1.758	1.145
5	7.5	7.5	7.5	7.5	2.3	1.446	0.948
<b>REGRESSÃO LINEAR - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO</b>							
Inclinação (a )	0.6516	<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE CALIBRAÇÃO</b></p> 					
Interseção (b )	0.0017						
Correlação (r )	0.9957						
Vazão nominal (Q <sub>p</sub> )	1.2406						
Deflexão de uso	4						

## APÊNDICE B – Fotos dos pontos de amostragem

**Foto 1 – Local de amostragem do ponto P1.**



**Foto 2 – Local de amostragem do ponto P2.**

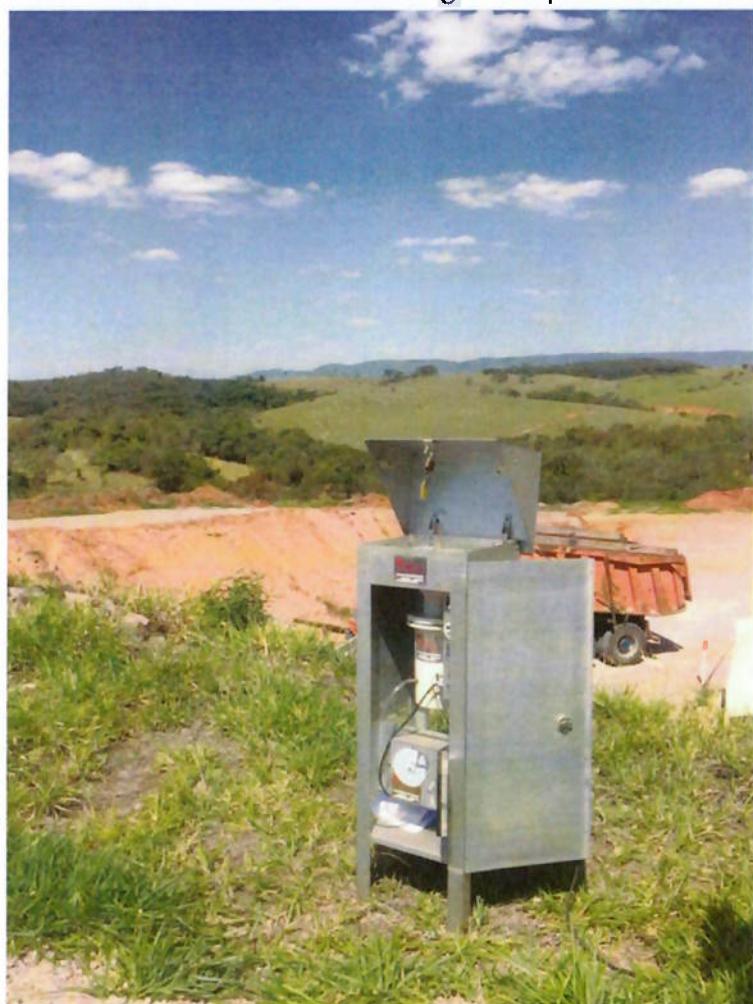


Foto 3 – Local de amostragem do ponto P2.

