



Priscila Kelly Moreira Ireno

Modelagem da Dispersão de Material  
Particulado para Avaliação da Qualidade do  
Ar do Município de São José da Lapa/MG

XVI Curso de Especialização em  
Geoprocessamento - 2017



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartografia@igc.ufmg.br

**PRISCILA KELLY MOREIRA IRENO**

**MODELAGEM DA DISPERSÃO DE MATERIAL PARTICULADO PARA  
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ  
DA LAPA/MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Nero

**BELO HORIZONTE - MG**

**2017**

I66m Ireno, Priscila Kelly Moreira.

2017 Modelagem da dispersão de material particulado para avaliação da qualidade do ar do município de São José da Lapa/MG [manuscrito] / Priscila Kelly Moreira Ireno. – 2017.

51 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Marcelo Antonio Nero.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2017.

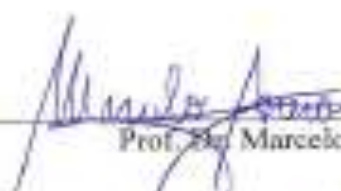
Bibliografia: f. 48-51.

1. Geoprocessamento. 2. Ar – Poluição – Minas Gerais. 3. Ar – Qualidade – Minas Gerais. 4. Degradação ambiental – Minas Gerais. I. Nero, Marcelo Antônio. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

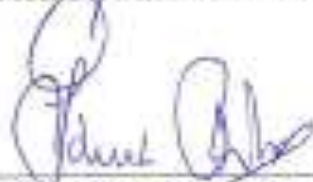
CDU: 528(815.1)

Aluna Priscila Kelly Moreira Ireno

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 06 de dezembro de 2017, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero



Prof. Dra. Sônia Maria Carvalho Ribeiro

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus meu amado Pai celestial que com todo amor e zelo me deu forças e discernimento para realizar mais uma conquista.

Aos meus amados pais Silvia e Gilberto, que além de me ensinarem a batalhar pelos meus sonhos, acreditaram em cada um deles. Espero um dia retribuir tudo o que fizeram por mim.

As minhas tias Teresinha e Maria, mulheres guerreiras das quais tenho orgulho e muito a agradecer pelo imenso apoio durante os meus estudos.

À minha amiga e companheira de estudos Rayane, uma menina iluminada e abençoada por Deus. Te desejo muito sucesso na sua caminhada pessoal e profissional.

Aos novos amigos que fiz durante a especialização, em especial Priscila, Marcos e Vinicius pela ajuda e companheirismo durante as aulas.

À Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões - GESAR da Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM que tornou viável a elaboração dessa monografia.

Ao Robson por compartilhar sua experiência e me ajudar durante todo o trabalho.

Ao meu orientador Marcelo Nero pela disposição em me direcionar.

## RESUMO

A poluição do ar é uma das consequências ocasionadas ao meio ambiente decorrente do avanço nas últimas décadas da industrialização e do aumento progressivo dos veículos em circulação, impulsionados pela crescente demanda de bens materiais. Tendo em vista o fluxo contínuo das emissões atmosféricas pelas fontes antrópicas, foram desenvolvidos modelos matemáticos que visam estimar o nível de concentração de um determinado poluente no ar ambiente com a finalidade de minimizar os impactos industriais sob a qualidade do ar, por meio do planejamento e licenciamento ambiental realizado pelos órgãos públicos. O presente estudo visa analisar por meio do modelo matemático AERMOD, o potencial degradador das emissões de material particulado provenientes dos fornos de calcinação de duas mineradoras na qualidade do ar do município de São José da Lapa/MG, nas quais estão inseridas. O período utilizado para o estudo foi o ano de 2016, e os resultados da modelagem serão validados através das concentrações de material particulado abaixo de 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) medidas pelas estações de monitoramento da qualidade do ar do município, além de verificar o atendimento dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990. Constatou-se que as concentrações de material particulado provenientes dos fornos estão bem abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990. No entanto, as mineradoras possuem outras fontes de emissão pontual e difusa, e devido os dados do monitoramento da qualidade estarem em processo de validação na Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM, não foi possível realizar a validação dos resultados para avaliar o real impacto das emissões. De qualquer maneira, os objetivos principais do trabalho proposto foram atingidos e sendo estes apresentados neste exemplar de monografia.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>13</b>
<b>2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>14</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Poluição atmosférica.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Padrões de qualidade do ar.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Modelagem de dispersão de poluentes .....</b>	<b>23</b>
<b>4. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Obtenção e tratamento dos dados .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Dados de Entrada no AERMOD.....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Dados Topográficos de Satélite.....	29
4.2.2 Dados Meteorológicos .....	29
4.2.3 Caracterização das fontes estacionárias .....	30
<b>4.3 Sistema de Modelagem AERMOD.....</b>	<b>34</b>
4.3.1 AERMET .....	34
4.3.2 AERMAP .....	36
4.3.3 AERMOD .....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Cartograma da distribuição de minas por município – Minas Gerais 2014.....	14
Figura 2	Mapa de localização dos pontos de monitoramento da qualidade do ar em relação às mineradoras.....	16
Figura 3	Circulação do ar nos ambientes de instabilidade e estabilidade atmosférica.....	18
Figura 4	Organograma da metodologia empregada no modelo matemático AERMOD.....	27
Figura 5	Planilha dos dados meteorológicos de 2016.....	35
Figura 6	Processamento dos dados topográficos no AERMAP.....	36
Figura 7	Cobertura total do município pelo AERMOD.....	37
Figura 8	Inserção dos dados das fontes pontuais no AERMOD.....	38
Figura 9	Rosa dos ventos do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins no período de jan/2016 a dez/2016.....	41
Figura 10	Cenário de médias anuais das concentrações de Partículas Totais em Suspensão provenientes dos fornos das Mineradoras A e B.....	43
Figura 11	Rosa dos ventos do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins no período de jan/2016 a dez/2016.....	44
Figura 12	Modelo Digital de Elevação do município de São José da Lapa/MG.....	45



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrões primários e secundários da qualidade do ar da Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90.....	22
Tabela 2	Dados de entrada no software AERMOD.....	26
Tabela 3	Dados de identificação da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins.....	29
Tabela 4	Caracterização das fontes estacionárias da Mineradora A.....	31
Tabela 5	Dados de entrada das fontes emissoras da Mineradora A.....	32
Tabela 6	Caracterização das fontes estacionárias da Mineradora B.....	33
Tabela 7	Dados de entrada das fontes emissoras da Mineradora B.....	34
Tabela 8	Parâmetros de superfície.....	36
Tabela 9	Máximas concentrações diárias de PTS identificadas na área de estudo pelo modelo matemático AERMOD.....	40
Tabela 10	Máximas concentrações anuais de PTS identificadas na área de estudo pelo modelo matemático AERMOD.....	42

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica vem sendo amplamente discutida em âmbito mundial, devido ao desenvolvimento progressivo das atividades industriais e aumento dos veículos motorizados em circulação, que juntos contribuem de forma significativa na degradação da qualidade do ar.

De acordo o Ministério de Meio Ambiente - MMA (2017) a qualidade do ar é o resultado de um conjunto de fatores, entre eles as emissões de poluentes pelas atividades naturais e antrópicas, condições meteorológicas que são responsáveis pela interação dos poluentes na atmosfera, juntamente com a topografia que auxilia no transporte dos mesmos através da direção e velocidade dos ventos.

Dentre as fontes de emissão, destacam-se as antrópicas pela capacidade de emissão contínua e em grande escala. As fontes antrópicas podem ser classificadas como móveis ou estacionárias (fixas). As estacionárias em especial, têm como principal característica a liberação ou emissão (difusa ou pontual) de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa em um ponto fixo, assim como os dutos e chaminés (MINAS GERAIS, 2013). Um dos principais poluentes emitidos são os do grupo dos materiais particulados, devido sua origem estar associada à maioria dos processos que envolvem combustão, inclusive nos processos de mineração, que é umas das atividades industriais mais notáveis em Minas Gerais.

Tendo em vista a importância da industrialização para o desenvolvimento econômico, evidencia-se a crescente busca por metodologias para a redução dos impactos ao meio ambiente. Por este motivo, os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) no processo de licenciamento de empreendimento exercem um papel fundamental na segurança, saúde, bem-estar público e preservação do meio ambiente como um todo. Nesses estudos é possível estimar além das demais variáveis, o impacto das emissões na qualidade do ar, bem como demonstrar os níveis de concentração do poluente em que a população está ou estará exposta.

Atualmente, existem vários modelos matemáticos que visam simular a difusão dos poluentes na atmosfera, por meio da inserção de dados da fonte emissora, do relevo e das condições meteorológicas da área pretendida. A partir dos dados obtidos na modelagem, as concentrações podem ser comparadas com os níveis de

qualidade do ar estabelecidas pela legislação ambiental vigente para verificar possíveis ultrapassagens dos limites e dessa forma analisar a viabilidade de concessão ou renovação da licença, a necessidade da instalação de pontos de monitoramento da qualidade do ar e determinar controles de emissão mais rigorosos ou não dependendo dos resultados.

No Brasil não existe uma legislação específica que faz referência a qual modelo matemático deve ser adotado nos processos de licenciamento de empreendimentos de grande potencial poluidor da variável ambiental 'ar'. Para tanto são utilizados modelos matemáticos recomendados por órgãos ambientais de outros países, assim como os modelos American Meteorology Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) e Californian *Puff* Model (CALPUFF) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2017).

Estes modelos relatados anteriormente são modelos gaussianos, no entanto são aplicados em diferentes situações. Ou seja, o AERMOD foi desenvolvido para simular a dispersão de um determinado poluente em terrenos simples e complexos e pluma em estado estacionário, sendo mais utilizado para análises em escala local de até 50km. Já o CALPUFF considera as variações das condições meteorológicas no tempo e espaço, sendo este modelo aplicado especialmente para terrenos complexos e em análises de meso-escala, além de 50km (USEPA, 2017).

Portanto, o uso da modelagem torna-se imprescindível nas tomadas de decisões pelos órgãos públicos, visto que os profissionais envolvidos são responsáveis pelo planejamento ambiental, de forma a assegurar a saúde e a qualidade de vida da população e ainda garantir uma interface entre o controle ambiental e o desenvolvimento econômico.

Dentro desse contexto encontra-se o município de São José da Lapa, no qual as principais fontes de emissão estacionárias são provenientes da mineração de calcário para fabricação de cal por dois empreendimentos. Ressalta-se que exploração de calcário é muito importante para a economia brasileira, uma vez que este minério é largamente utilizado pelas indústrias de cimento, construção civil, indústrias de plástico e de papel, indústrias de tinta, na produção de cal virgem, na agricultura entre outros.

Nesse sentido, considerando a importância da atividade de mineração de calcário e os impactos decorrentes dos processos realizados, verifica-se a necessidade de analisar o potencial de degradação da qualidade do ar das fontes estacionárias inseridas nas plantas industriais das mineradoras.

A estrutura do trabalho abrange no item 1 a Introdução, no capítulo 2 a Caracterização da Área de Estudo, no capítulo 3 o Referencial Teórico, no capítulo 4 a Metodologia e Desenvolvimento do Trabalho, no capítulo 5 os Resultados e Discussões e para finalizar no capítulo 6 serão apresentadas as Considerações Finais.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral desse trabalho é analisar a dispersão de material particulado proveniente dos fornos de calcinação das mineradoras inseridas no município de São José da Lapa/MG no ano de 2016.

Objetivos Específicos:

- Simular a dispersão de material particulado utilizando o modelo matemático AERMOD;
- Validar o resultado da dispersão com as concentrações de material particulado abaixo de  $10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) na qualidade do ar medidas pelas estações de monitoramento instaladas no município;
- Verificar o atendimento dos limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº03 de 28 de Junho de 1990 (CONAMA, 1990);

## 1.2 Justificativa

Através do estudo "Levantamento e Caracterização de Fontes de Emissão Atmosférica de Empreendimentos Licenciados no Estado de Minas Gerais" elaborado pela Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (GESAR), da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), constatou-se que só no município de São José da Lapa, houve a emissão de 668 toneladas de material particulado no ano de 2014 pelos empreendimentos de grande potencial poluidor do ar (MINAS GERAIS, 2016).

Os efeitos do material particulado à saúde pública são diversos, devido à variabilidade do seu tamanho e composição química, e por isso devem ser monitorados e controlados. As partículas abaixo de  $10\mu\text{m}$  (micrometros) são consideradas como inaláveis, pois são capazes de penetrar no trato respiratório humano e depositar tanto nas vias nasais como nos pulmões, representando assim, um risco no desenvolvimento de doenças respiratórias e cardiovasculares (WHO, 2016).

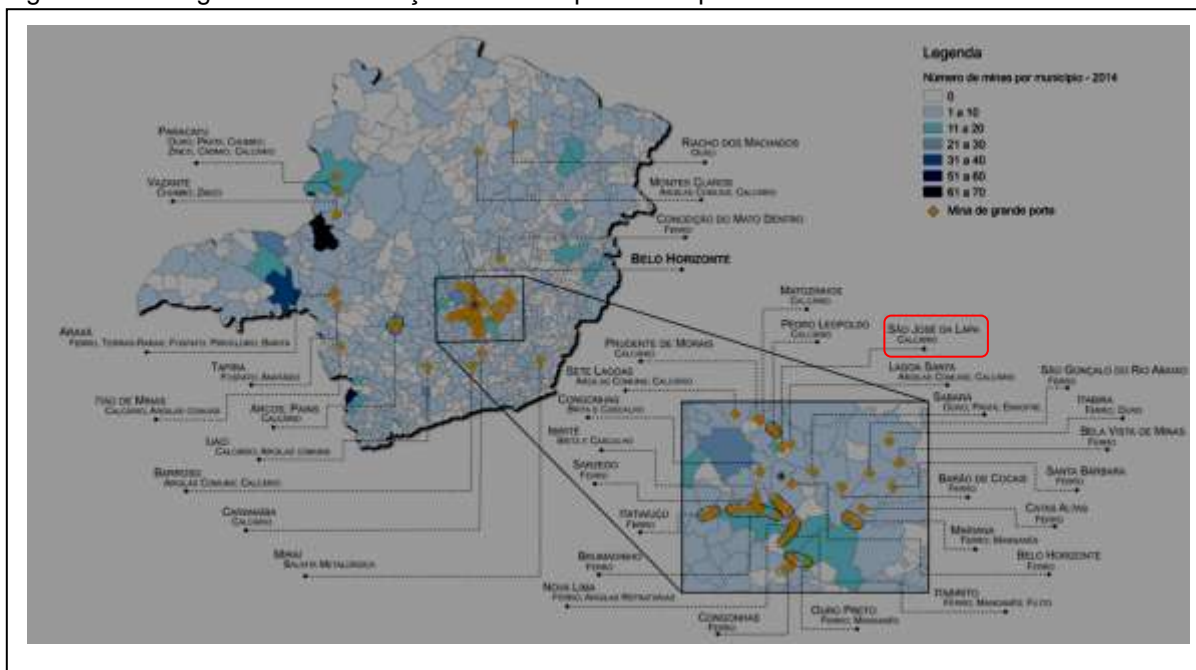
Haja vista os efeitos deletérios do material particulado à saúde pública e as concentrações do poluente que são emitidos constantemente no município de São José da Lapa, foi escolhido o modelo matemático AERMOD para simular o impacto das emissões dos fornos de calcinação na qualidade do ar do município, uma vez que a extensão territorial da área pretendida se enquadra abaixo dos 50 km indicado para aplicação do modelo e também pelo *software* estar disponível para a realização desse trabalho.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A existência de atividades mineradoras próximas aos núcleos urbanos podem gerar desconforto e efeitos deletérios à saúde pública, devido ao seu alto potencial poluidor. De acordo com Silva (2007), um dos principais transtornos gerados as comunidades do entorno são as emissões de material particulado provindos da perfuração da rocha, do processo de beneficiamento e do transporte do produto.

O relatório anual do DNPM (2014) aponta no seu cartograma de distribuição dos municípios que possuem minas de exploração mineral de grande porte o município de São José da Lapa, cuja exploração é o calcário como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Cartograma da distribuição de minas por município – Minas Gerais 2014.



Fonte: (DNPM, 2014 p. 114)

O município de São José da Lapa está inserido na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH do estado de Minas Gerais entre os municípios de Confins, Pedro Leopoldo e Vespasiano e aproximadamente 30 Km da capital Belo Horizonte. Possui área territorial de 47.930 Km<sup>2</sup> e estimava-se uma população para o ano de

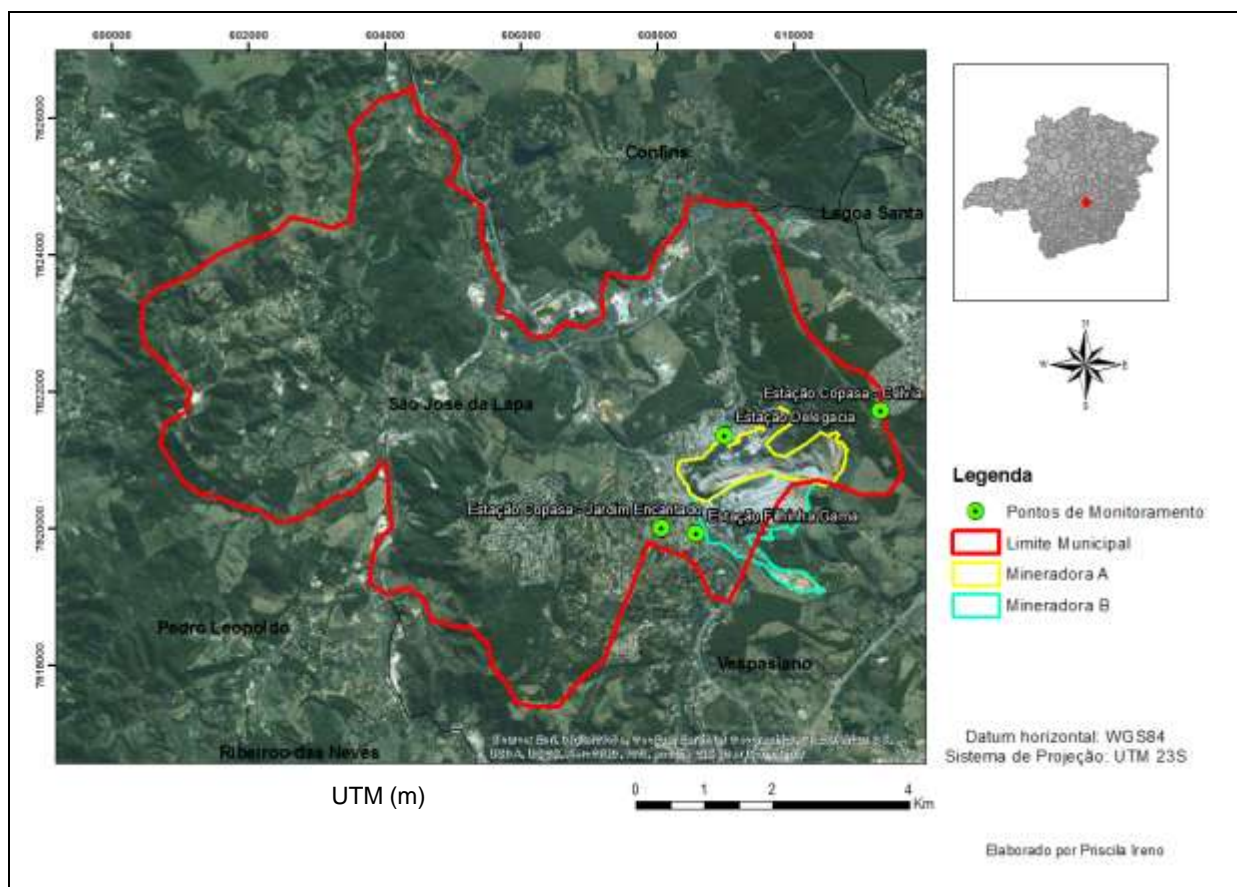
2016 de 22.592 habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017).

O clima da região é subtropical úmido, retratando períodos com temperaturas superiores a 22°C e duas estações bem definidas, com muita chuva durante o verão e seco no inverno (CLIMATE-DATA.ORG, 2017).

A exploração do mineral calcário no município é realizada por duas mineradoras de grande porte e por esse motivo são realizados monitoramentos contínuos da qualidade do ar em quatro estações automáticas: Estação Filhinha Gama - Vila Ical, Copasa - Jardim Encantado, Delegacia Civil - Centro e Copasa - Célvia. São monitorados nas estações os parâmetros partículas inaláveis ( $PM_{10}$ ) e partículas respiráveis ( $PM_{2,5}$ ) e em duas estações, Estação Copasa - Jardim Encantado e Estação Copasa - Célvia, monitoram também dados meteorológicos, tais como: Precipitação, Pressão Atmosférica, Direção e Velocidade do Vento, Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Radiação Solar Global (GESAR, 2017).

As estações de monitoramento são mantidas pelas mineradoras instaladas no município, as quais foram condicionadas pelo órgão ambiental ao monitoramento pelo seu alto potencial poluidor da variável ambiental "ar" e são geridas pela Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões - GESAR da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. A Figura 2 demonstra a localização das estações e dos empreendimentos no município.

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento da qualidade do ar em relação às mineradoras.



Fonte: Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais - IEDE( 2017).

Elaborado pela autora, 2017.



### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

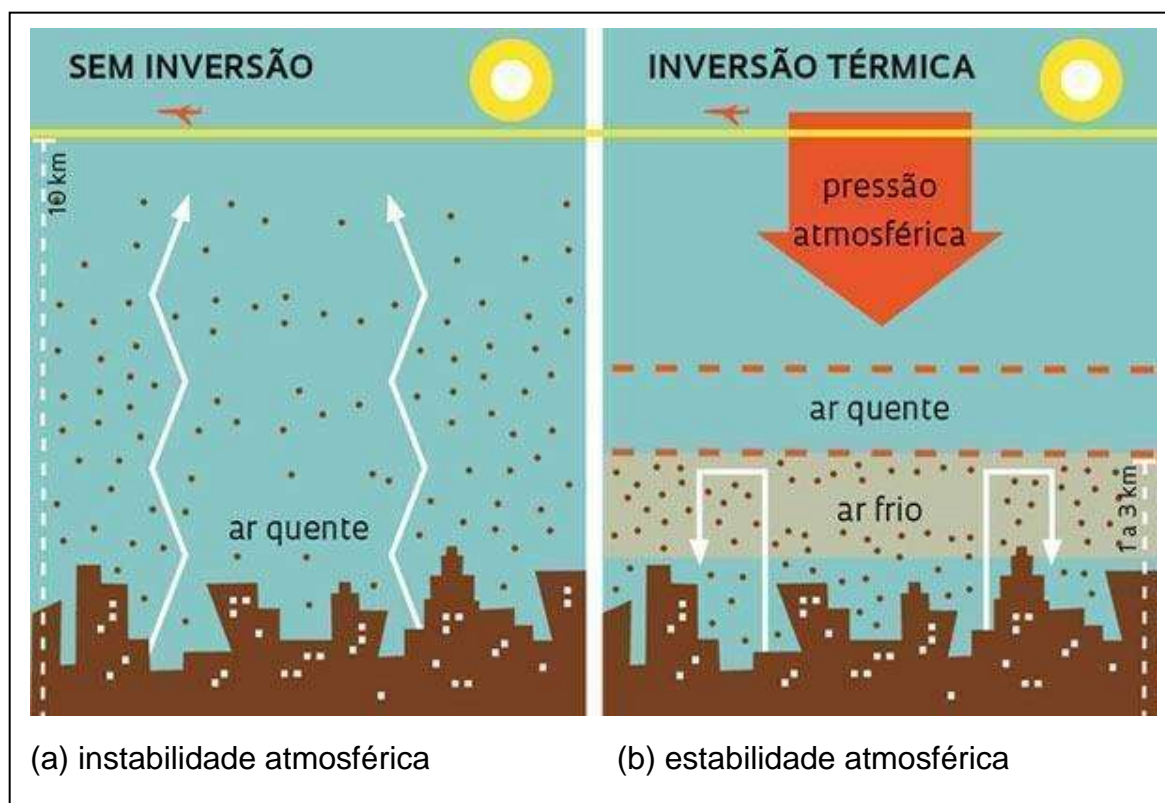
#### **3.1 Poluição atmosférica**

Num contexto geral, a preocupação com a poluição atmosférica surgiu no início do século XX em algumas cidades da Europa e Estados Unidos, entre elas as cidades Huy e Liège na Bélgica (1930), Pensilvânia nos EUA (1948), Londres na Inglaterra (1952) entre outras cidades que foram marcadas com a mortalidade de inúmeras pessoas como consequência das emissões de poluentes por indústrias e automóveis sob um cenário desfavorável à dispersão atmosférica, que promoveu o acúmulo de poluentes nas áreas urbanas. As ocorrências desses eventos motivaram uma série de pesquisas para identificar as causas das mortalidades e impulsionaram um avanço nas descobertas dos principais poluentes emitidos, suas fontes e os efeitos deletérios sob a saúde pública (BRAGA et al, 2001).

O cenário desfavorável à dispersão de poluentes na atmosfera está relacionado à estabilidade ou instabilidade atmosférica. Ou seja, a atmosfera apresenta um cenário favorável à dispersão de poluentes quando está instável e o contrário acontece quando está estável. A estabilidade é o resultado do efeito mecânico da turbulência dos ventos e da variação da temperatura superficial em relação às diferenças do ambiente exterior. Logo, quando a temperatura do ar da camada mais próxima da superfície terrestre é inferior à temperatura da camada superior ocorre o fenômeno denominado como inversão térmica. A inversão térmica provoca o confinamento do ar próximo da superfície impedindo assim, a dispersão dos poluentes (CERDEIRA, et al.,2004).

A Figura 3(a) demonstra a circulação do ar num ambiente onde o ar quente está próximo a superfície terrestre e promove dispersão dos poluentes entre as camadas de ar por ser menos denso. E na Figura 3(b) a inversão térmica, onde o ar frio que é mais denso aprisiona os poluentes próximo ao núcleo urbano por não conseguir expandir e trocar o ar entre as camadas atmosféricas, o que provoca a estabilidade da atmosfera.

Figura 3 - Circulação do ar nos ambientes de instabilidade e estabilidade atmosférica.



Fonte: DIAS (2012).

A poluição do ar é caracterizada pela presença de gases tóxicos, partículas líquidas e sólidas em suspensão emitidas por veículos, chaminés de fábricas, queimadas, e por indústrias como a mineração que lançam continuamente ao ar quantidades significativas de substâncias tóxicas à saúde. Os danos à saúde pública agravam-se nos períodos de inversão térmica, mais propícios de acontecerem na ausência de ventos e durante o inverno onde o ar tende a ser mais frio próximo a superfície terrestre (TORRES; GAMA, 2005).

Nesse sentido, a prevenção dos diversos impactos da poluição atmosférica sob a saúde pública está vinculada à identificação dos principais contaminantes e os níveis seguros das concentrações no ar ambiente perante as variadas condições atmosféricas. Diante dessa perspectiva, as normas regulamentadoras (federais, estaduais e municipais) exercem um papel fundamental, pois elas estabelecem limites de concentrações seguros a saúde e qualidade de vida dos seres vivos (IEMA, 2012). De acordo com Cançado et al. (2006), após os episódios de poluição atmosférica e com base nas pesquisas realizadas, diversos países estabeleceram

limites de concentração diário e anual aceitáveis para os principais poluentes na qualidade do ar.

Já no fim do século XX em 1989, o Brasil também demonstrou a sua preocupação por meio da criação do Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR, instituído pela Resolução CONAMA nº 05 de 15 de junho de 1989. A resolução teve como objetivo:

“permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a: uma melhoria da qualidade do ar; o atendimento dos padrões estabelecidos; o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas” (BRASIL, 1989).

De acordo com Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), existem dois tipos de fontes de emissão de poluentes que podem provocar a degradação da qualidade do ar: as oriundas de fontes fixas e as provenientes de fontes móveis. As fontes móveis são caracterizadas por serem dispersas, sem um local específico de emissão e por isso não são avaliadas fonte a fonte, assim como os veículos automotores. O que não ocorre com as fontes fixas, pois possuem uma área delimitada que permite a avaliação na fonte, tais como os dutos e chaminés.

As fontes fixas podem ser definidas pela emissão pontual ou fugitiva de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa para a atmosfera, por meio de equipamentos, instalação ou processos. A diferença entre a emissão pontual e fugitiva é em relação aos dispositivos projetados para conduzir ou controlar as emissões na fonte. Ou seja, a emissão pontual possui dispositivo de controle no fluxo de emissão, enquanto a fugitiva é o lançamento difuso da matéria sem o devido controle na fonte emissora (BRASIL, 2011).

As indústrias são as principais fontes fixas de maior potencial poluidor ou de impacto significativo na degradação da qualidade do ar. Segundo Derísio (2012) isso ocorre devido às características das matérias primas e o combustível utilizado para geração de energia no processo.

Em Minas Gerais, a norma vigente que estabelece as condições de Limites Máximos de Emissão de poluentes para a atmosfera é a Deliberação Normativa COPAM Nº 187, publicada em 20 de setembro de 2013 (COPAM, 2013). Ela também define os critérios para o controle das emissões de fontes novas e

existentes das seguintes atividades industriais modificadoras do meio ambiente (ver Quadro 1):

Quadro 1 - Parâmetro mínimos recomendados para monitoramento de poluentes atmosféricos de fontes fixas de emissão pontual ou difusa.

Anexos DN COPAM Nº 187/2013	Atividade Industrial	Poluentes													
		Amônia	Chumbo (Pb)	Cloro	CO	COV	ERT (como SO <sub>2</sub> )	Fluoreto total	HCL	MP	Nox (como NO <sub>2</sub> )	Sox (como SO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	
Anexo I-A	Combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar														
Anexo I-B	Combustão externa de derivados da madeira														
Anexo I-C	Combustão externa de óleo combustível														
Anexo I-D	Combustão externa de gás natural														
Anexo II	Turbinas a gás para geração de energia elétrica														
Anexo III	Refinária de petróleo														
Anexo IV	Celulose														
Anexo V	Chumbo														
Anexo VI	Alumínio primário														
Anexo VII	Vidro														
Anexo VIII	Cimento Portland														
Anexo IX	Fertilizantes fosfatados, nitrogenados e ácido fosfórico														
Anexo X-A	Ácido sulfúrico														
Anexo X-B	Ácido nítrico														
Anexo XI	Siderurgia Integrada, Semi-Integrada e Pelotização de Minério de Ferro														
Anexo XII	Siderurgias não integradas (fabricação de ferro gusa)														
Anexo XIII	Ferroligas, silício metálico, carbureto de cálcio, ligas Ca-Si e outras ligas														
Anexo XIV	Fabricação da Call														
Anexo XV	Usinas de asfalto a quente														
Anexo XVI	Cerâmica vermelha														
Anexo XVII	Fontes não listadas														

Fonte: Minas Gerais, 2013.

Nota-se no Quadro 1 que dentre os poluentes presentes nas emissões, o material particulado (MP) aparece em mais de 85% das atividades listadas. O grupo dos materiais particulados podem ser definidos como pequenas partículas (sólidas ou líquidas) em variados tamanhos, classificados como partículas totais em suspensão (PTS) os que possuem diâmetros inferior a 100 µm (micrômetro),

partículas inaláveis (PM<sub>10</sub>) partículas inferior a 10 µm e partículas respiráveis (PM<sub>2,5</sub>) para partículas inferior a 2,5 µm (FEAM, 2013).

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) além de serem provenientes de processos industriais, também são emitidas por veículos motorizados (exaustão), queima de biomassa, ou por fontes naturais como o pólen, aerossol marinho e solo e podem causar danos à saúde humana, à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo (FRONDIZI, 2008).

Já as partículas abaixo de 10 µm são classificadas segundo a CETESB (2017) como partículas grossas e finas. Sendo as partículas grossas de tamanho aerodinâmico entre 2,5 a 10µm e as partículas finas (respiráveis) abaixo 2,5µm. De acordo com Frondizi (2008) podem ser oriundas do processo de combustão (indústrias e veículos), aerossol secundário (formado na atmosfera) e causam graves efeitos à saúde humana, devido ao menor tamanho das partículas, aumentando os atendimentos hospitalares e mortes prematuras.

A Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS (2017) afirma que “A poluição atmosférica, feita de altas concentrações de pequenas e finas partículas, é o maior risco ambiental para a saúde – causando, por ano, mais de 3 milhões de mortes prematuras em todo o mundo”.

### **3.2 Padrões de qualidade do ar**

Tendo em vista os efeitos deletérios dos poluentes para a saúde humana foi instituído no Brasil a Resolução CONAMA n<sup>o</sup> 03 de 28 de junho de 1990 que estabelece os padrões da qualidade ar, da qual tem sua definição descrita no Art. 1<sup>o</sup> da resolução como, “[...] as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”. Ainda segundo a resolução, entende-se como poluente atmosférico:

“[...] qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora” (BRASIL, 1990).

Além de determinar os padrões de qualidade do ar, a resolução supracitada divide os padrões como primários e secundários. Sendo primários as concentrações que se forem ultrapassadas poderão provocar efeitos adversos sob a saúde pública, e secundárias as concentrações que podem afetar minimamente o bem-estar da população e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

A Tabela 1 apresenta os padrões primários e secundários de cada poluente, bem como os métodos de medição.

Tabela 1 - Padrões primários e secundários da qualidade do ar da Resolução CONAMA Nº03 de 28/06/90.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
<b>Partículas Totais em Suspensão (PTS)</b>	24 horas <sup>1</sup>	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
<b>Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>)</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA <sup>3</sup>	50	50	
<b>Fumaça</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	100	Refletância
	MAA <sup>3</sup>	60	40	
<b>Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)</b>	24 horas <sup>1</sup>	365	100	Pararonsilina
	MAA <sup>3</sup>	80	40	
<b>Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)</b>	1 hora <sup>1</sup>	320	190	Quimioluminescência
	MAA <sup>3</sup>	100	100	
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	1 hora <sup>1</sup>	40000	40000	Infravermelho não dispersivo
		35ppm	35ppm	
	8 hora <sup>1</sup>	10000	10000	
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>		9ppm	9ppm	Quimioluminescência
	1 hora <sup>1</sup>	160	160	

<sup>1</sup> Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano. <sup>2</sup> Média geométrica anual. <sup>3</sup> Média aritmética anual.

Fonte: BRASIL (1990).

Elaborado pela autora, 2017.

De acordo com a resolução (BRASIL, 1990) é de responsabilidade dos Estados desenvolverem os programas de monitoramento da qualidade do ar e juntamente com os Municípios instituir o plano de emergência, a fim de criar procedimentos de controle ambiental e proteção à saúde pública frente a cada nível de poluição.

### **3.3 Modelagem de dispersão de poluentes**

A gestão da qualidade do ar vai além dos limites de concentração estabelecidos pelas legislações ambientais. É necessário compreender a dinâmica dos poluentes na atmosfera, bem como interligar a causa ao efeito, ou seja, a fonte de emissão e a poluição atmosférica. Para tanto, são utilizados no planejamento ambiental ferramentas, assim como os modelos matemáticos de dispersão de poluentes na atmosfera para auxiliar na interpretação e análise do comportamento dos poluentes no espaço e suas interações com a vegetação, população, bens materiais e a fauna. Segundo os autores Moreira e Tarabassi (2004, p. 159-160) os modelos matemáticos exercem dentre várias funções, os objetivos de:

- "descrever e interpretar os dados experimentais;
- controlar em tempo real e/ou analisar a qualidade do ar;
- administrar as liberações acidentais e avaliar as áreas de risco;
- identificar as fontes poluidoras;
- avaliar a contribuição de uma única fonte à carga poluidora;
- administrar e planejar o território."

Tendo em vista a importância da utilização de ferramentas que viabilizem as análises da difusão dos poluentes emitidos por emissões pontuais ou difusas para a atmosfera, Boçon (1998) descreve que existem duas formas distintas: a utilização de modelos experimentais ou de modelos teóricos também denominados como matemáticos. Os modelos experimentais recriam no laboratório as características físicas da região em estudo em uma escala reduzida, sob um regime de ventos e adição de um fluido traçador e através de coletas são medidas as concentrações em vários pontos para simular a dispersão da substância na atmosfera. Já os modelos

teóricos, utilizam cálculos matemáticos através da inserção de dados da fonte emissora, da topografia e das condições meteorológicas para executar a simulação.

Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2012) para realizar a aplicação dos modelos matemáticos na avaliação da qualidade do ar é necessário levar em consideração alguns fatores, tais como: as características topográficas e meteorológicas da área; precisão dos dados de entrada, ou seja, o levantamento das fontes emissoras, os dados meteorológicos e dados de qualidade do ar; a forma como os processos atmosféricos são tratados no modelo; a competências técnica dos aplicadores do modelo; e os recursos disponíveis para a aplicação do modelo. Existem 3 tipos de modelos utilizados nas demonstrações regulatórias da EPA: os Gaussianos, Lagrangeanos e os Eulerianos.

Os modelos de plumas gaussianas usam uma aproximação de “estado estacionário”, pois pressupõe que, ao longo do domínio do modelo os dados que o compõe, assim como as emissões e a meteorologia são constantes e resulta em emissões distribuídas no comprimento da pluma. Tal método permite que o modelo estime os impactos de áreas próximas a número limitado de fontes em uma resolução relativamente alta, com escalas temporais horárias e escalas espaciais de medidores (USEPA, 2012).

Já os Langrangeanos são definidos por Moreira e Tarabassi (2004) como um sistema que segue o movimento da atmosfera e tendo em vista o modelo anterior, não são estáveis. A dispersão do poluente é representada pelo movimento de partículas fictícias (partículas de computador) que visam simular a trajetória e comportamento do poluente na atmosfera, de forma a calcular o campo de concentração da substância.

Os Eulerianos por sua vez, são modelos tridimensionais que utilizam matrizes para tratar os processos químicos e físicos em cada célula de grade, e também processos de difusão e transporte para locomover as espécies químicas entre as grades. Dessa forma, o modelo assume que as emissões são distribuídas em cada célula da grade. Os modelos eularianos podem ser usados adequadamente para simular impactos de poluentes reativos (USEPA, 2012).

A escolha do modelo matemático mais adequado está relacionado ao local de análise, ou seja as condições climáticas e orográficas do local (plano ou complexo).



Os modelos matemáticos podem ser divididos conforme as características das fontes emissoras: fonte pontual, fonte área e fonte linear. E também podem ser subdivididos de acordo com a extensão do campo: escala local para as distâncias inferior a 50 km, modelo de meso-escala para distâncias com centenas de quilômetros, e macro-escala para os modelos de circulação continental e planetária (MOREIRA; TARABASSI, 2004).

Sendo assim, é cada vez mais frequente a busca por modelos matemáticos capazes de fornecer resultados que mais se aproximam da realidade local. A USEPA (2017) recomenda a utilização dos modelos matemáticos Meteorology Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) e o Californian Puff Model (CALPUFF) para fins regulatórios de fontes existentes e para os processos de licenciamento de empreendimentos com capacidade de degradação da qualidade do ar.

A diferença entre os modelos indicados pela Agência de Proteção Ambiental Americana é que o AERMOD é um modelo de pluma de estado estacionário, cuja dispersão do ar está relacionada com base na estrutura de turbulência da camada limite planetária em terrenos simples e complexos. Diferentemente do CALPUFF que não considera o estado estável e simula os efeitos de condições meteorológicas variáveis no tempo e no espaço e também pode ser utilizado para terrenos complexos. O AERMOD pode ser aplicado para distância de até 50 km e o CALPUFF para longas distâncias, além de 50 km. Logo, entende-se que a limitação da área está relacionada às mudanças meteorológicas que poderão ocorrer no distanciamento da fonte emissora em razão das variações do relevo (USEPA, 2017).

A USEPA (2017) aponta que o AERMOD é composto por dois pré-processadores: AERMAP e AERMET. O AERMAP é um pré-processador de dados de relevo do terreno, enquanto o AERMET é um pré-processador dos dados meteorológicos. Os dados requeridos pelo modelo AERMOD da fonte estacionária, podem ser visualizados na Tabela 2, assim como os parâmetros meteorológicos e os tipos de poluentes aplicáveis ao modelo.

Tabela 2 - Dados de entrada no software AERMOD.

<b>Dados da Fonte Poluidora</b>	<b>Parâmetros Meteorológicos</b>	<b>Tipos de Poluentes Atmosféricos</b>
Diâmetro da chaminé (m)	Velocidade dos ventos	Monóxido de Carbono (CO)
Altura da chaminé (m)	Temperatura do ar	Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )
Velocidade de lançamento dos gases (m/s)	Direção dos ventos	Óxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )
Temperatura de lançamento dos gases (K)	Cobertura de nuvens	Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Taxa de emissão do poluente (g/s)		Material Particulado (MP <sub>10</sub> )
Localização da fonte fixa (X,Y)		

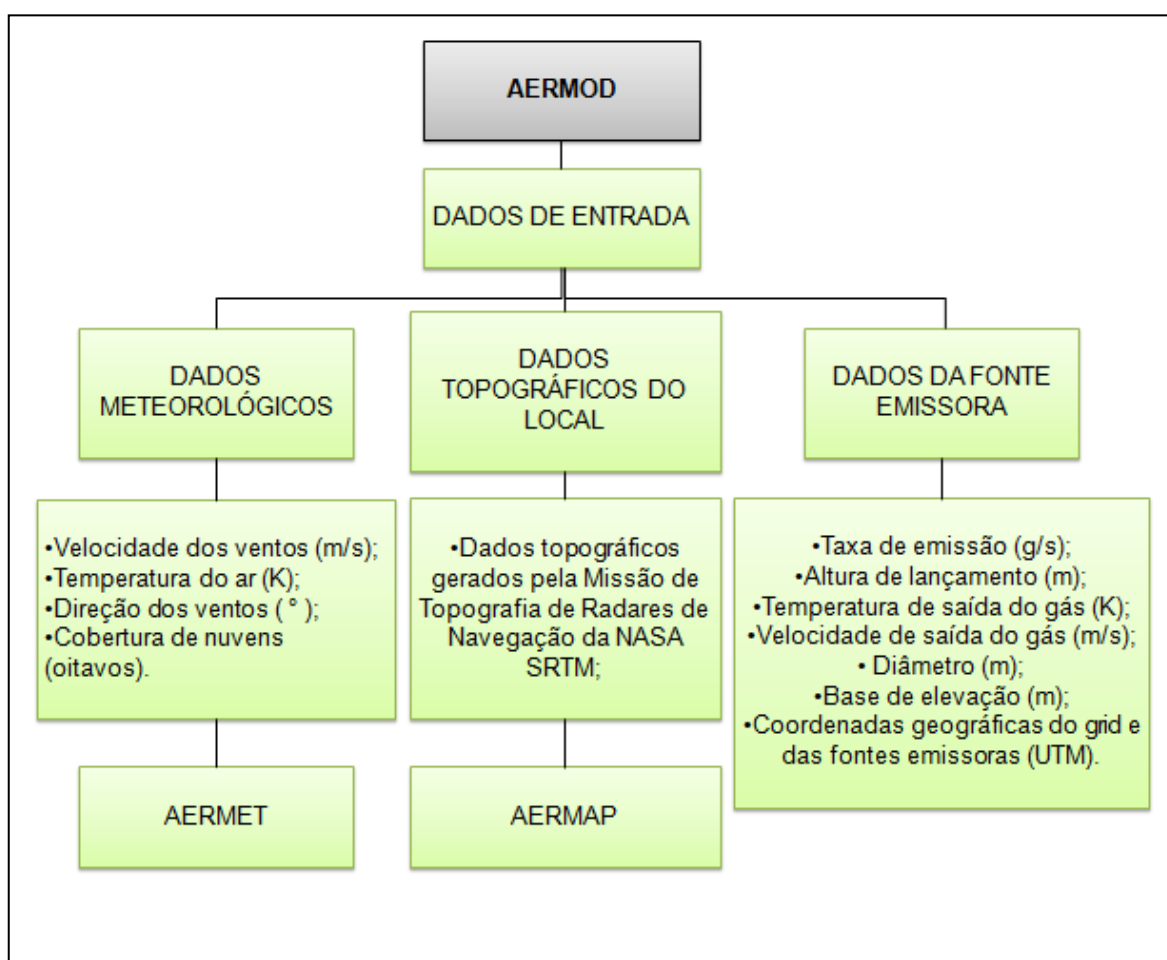
Fonte: Barbon e Gomes (2010).

## 4. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 4.1 Obtenção e tratamento dos dados

Os impactos das emissões de material particulado proveniente dos fornos das mineradoras instaladas no município de São José da Lapa foram avaliados por meio da modelagem matemática. Para tanto, foi utilizado o *software* AERMOD View da empresa *Lakes Environmental Consultants Inc.*, operado em ambiente *Windows*. Os procedimentos aplicados seguiram a linha metodológica requerida pelo modelo, conforme segue na Figura 4.

Figura 4 - Organograma da metodologia empregada no modelo matemático AERMOD.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho envolveu inicialmente, o levantamento das características das fontes estacionárias inseridas no município por meio do Sistema Integrado de Informação Ambiental - SIAM e pelos relatórios enviados a Superintendência Regional de Regularização Ambiental da Central Metropolitana - Supram CM. Nos dados levantados foram identificados empreendimentos minerários, denominados como Mineradora A e Mineradora B.

Para alimentar o modelo com as variáveis pertinentes foram levantadas informações técnicas referentes aos fornos, tais como: o diâmetro da chaminé (m), altura da chaminé (m), velocidade de lançamento dos gases (m/s), temperatura de lançamento dos gases (K), taxa de emissão do poluente (g/s), localização da fonte fixa (X, Y) e base de elevação das fontes. Nesse caso, foram considerados a altura da chaminé (m) e a localização das fontes (X, Y) do estudo de dispersão já realizado no município pelas mineradoras, a base de elevação das fontes através do Google Earth e as demais informações optou-se por utilizar a média aritmética dos dados dos monitoramentos do ano de 2016, uma vez que o monitoramento das fontes é semestral.

Além dos dados das fontes emissoras, o modelo matemático também requer uma série histórica de no mínimo 1 ano de dados meteorológicos da região. Dessa forma, foram utilizados os dados da estação de monitoramento mais próxima dos empreendimentos, ou seja, do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins que está localizado a 7 Km do município. Ressalta-se que existem estações meteorológicas mais próximas inseridas no município de São José da Lapa, no entanto, os dados não foram disponibilizados por estarem em processo de validação, logo optou-se pela utilização dos dados cedidos pelo aeroporto.

Como demonstrado no organograma os dados do levantamento topográfico do local foram obtidos por meio da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) realizada pela USGS/NASA (*United States Geological Survey*).

Posteriormente, foram solicitados a Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões - GESAR da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM os dados da qualidade do ar, mais especificadamente os do poluente PM<sub>10</sub> monitorados no município de São José da Lapa no ano de 2016 para comparar com os resultados da modelagem de dispersão do poluente com a qualidade do ar do

município. No entanto os dados também não foram disponibilizados, por estarem em processo de validação.

## 4.2 Dados de Entrada no AERMOD

### 4.2.1 Dados Topográficos de Satélite

Para os dados de altitude do terreno foi utilizado o modelo digital de elevação (*Digital Elevation Model* - DEM) do SRTM3 disponibilizado na plataforma da *Geographic Information Systems Resource* (GIS, 2017). Os dados do terreno obtidos possuem resolução de ~90 metros e sistema de coordenadas geográficas WGS84, no formato DEM. Referente às categorias de uso do solo, o modelo AERMOD permite ao usuário escolher parâmetros como rugosidade, albedo e razão de Bowen que serão melhor explicados posteriormente.

### 4.2.2 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação localizada no Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2017). A estação está nomeada no site como METAR SBCF, pois as observações do tipo METAR são feitas por estações meteorológicas de superfície situadas em aeroportos. A Tabela 3 apresenta a identificação da estação meteorológica para entrada no AERMOD.

Tabela 3 - Dados de identificação da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins.

PARÂMETRO	
Longitude UTM (Datum WGS-84)	43° 57' 55,42" O
Latitude UTM (Datum WGS-84)	19° 38' 3,07" S
Elevação da estação	829 m

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os dados meteorológicos monitorados nessa estação são: Data/Hora, Tipo da nuvem da primeira camada, Direção do Vento (0-360°), Velocidade do Vento (m/s), Altura da base das nuvens na primeira camada (m), Cobertura de nuvens da camada mais restrita (%), Cobertura de nuvens da primeira camada (oitavos), Pressão reduzida ao nível do mar - QNH( hPa), Temperatura do ar (°C), Temperatura do Ponto de Orvalho (°C), Visibilidade horizontal (m) (acima de 10000m VV=10000) e Tempo Presente (Tabela 020003).

#### 4.2.3 Caracterização das fontes estacionárias

Um importante passo de modelagem da dispersão atmosférica é a inserção correta das informações das fontes emissoras. No município de São José da Lapa foram identificadas duas mineradoras, cujo principal processo é a exploração de calcário para fabricação de cal industrial. De acordo com AP42 (USEPA, 1998), documento que estabelece a Compilação de Fatores de Emissão de Ar da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, os processos básicos envolvidos durante a fabricação são: (1) pedreiras de pedra calcária em bruto; (2) a preparação de calcário para os fornos por britagem e dimensionamento; (3) a calcinação da pedra calcária; (4) o processamento da cal ainda por hidratação; e (5) as operações variadas de transferência, armazenamento e manuseio.

Ainda segundo a AP42 (USEPA, 1998) o coração da planta de cal é o forno, e se tratando de emissão é a principal fonte de duto de material particulado (MP), sendo este o único poluente dominante. Os fornos podem utilizar como combustível carvão, gás natural e petróleo. E durante a fabricação produz os gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Existem vários tipos de fornos, no caso das mineradoras em questão foram observados 2 tipos: Rotativo e Vertical. O forno rotativo é o segundo pior em emissão MP fugitiva, devido à pequena alimentação, taxas elevadas de velocidade do ar e aos arrastes das partículas provocadas pela câmara rotativa. Já o forno vertical possui as mais baixas emissões de poeiras fugitivas, por ter as velocidades do ar baixas e o material se mover lentamente dentro do forno. Evidencia-se que a utilização do carvão como combustível, juntamente com as propriedades da

alimentação do calcário podem afetar significadamente as emissões de MP. Para diminuir a taxa de emissão dos poluentes gerados são utilizados filtros, ciclones, precipitadores entre outros dispositivos de controle (USEPA, 1998).

#### 4.2.3.1 Mineradora A

Segundo o Parecer Único nº063/2014 do Processo Administrativo COPAM nº 00046/2000/009/2011, o empreendimento denominado neste trabalho como Mineradora A está localizado sob as coordenadas geográficas latitude 19°42'05"S e longitude 43°57'21"O no datum WGS84, possui área total de 30ha e exerce as atividades de fabricação de cal virgem, hidratada ou extinta (SUPRAM, 2014).

O empreendimento possui 3 fornos, sendo o forno I e II do tipo rotativo e o forno III vertical (SUPRAM, 2014). O estudo de dispersão (ECOSOFT SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2014) aponta que além dos fornos existem na planta industrial da mineradora outras fontes de emissão de material particulado como pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização das fontes estacionárias da Mineradora A.

Fonte emissora	UTM [X]	UTM [Y]	H [m]	D [m]	Q [Nm <sup>3</sup> /s]	T [°C]	Taxas de	
							Emissão[kg/h]	
							MP	
CH - Forno I	609.247	7.821.095	55	3,3	44,2	182	<b>16,1</b>	
CH - Forno II	609.258	7.821.084	55	4,0	95,1	199	<b>22,9</b>	
CH - Forno III	609.365	7.821.076	55	1,2	13,8	99	<b>4,9</b>	
CH - Hidratação de Cal	609.469	7.821.157	20	0,8	2,6	74	0,5	
CH - Moagem I de Combustível Sólido	609.231	7.821.100	20	1,2	16,2	61	4,5	
CH - Moagem II de Combustível Sólido	609.241	7.821.076	6	0,9	6,5	82	1,3	
CH - Recupol Forno I	609.400	7.821.254	12	0,8	9,6	37	0,3	
CH - Recupol Forno II	609.408	7.821.246	12	0,8	8	36	2,2	
CH - Silo de Cal I	609.466	7.821.192	55	0,7	7,3	51	0,6	
CH - Silo de Cal II	609.481	7.821.203	55	0,7	7,2	46	0,3	
CH - Silo de Combustível Sólido	609.319	7.821.132	20	0,5	3,8	29	0,3	
Total								<b>53,9</b>

Fonte: (ECOSOFT SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2014, p.29)

Legenda:

X - coordenada X da fonte emissora no sistema UTM WGS84 e unidade em metros (m);

Y - coordenada Y da fonte emissora no sistema UTM WGS84 e unidade em metros (m);

H - Altura da fonte emissora em relação ao solo;

D - Diâmetro da fonte emissora;

Q - Vazão de gases da fonte emissora;

T - Temperatura dos gases na fonte emissora

MP - Taxa de emissão de material particulado;

Ressalta-se que neste estudo a nomenclatura utilizada para as partículas emitidas para atmosfera, MP (material particulado), refere-se as Partículas Totais em Suspensão - PTS, uma vez que engloba os parâmetros  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ .

Serão utilizados apenas os fornos devido à emissão em maior escala que as demais fontes pontuais. Para facilitar a entrada dos dados no modelo matemático, os dados da fonte emissora foram compilados. A Tabela 5 exhibe todos os dados requeridos pelo modelo.

Tabela 5 – Dados de entrada das fontes emissoras da Mineradora A.

Fonte Emissora	Localização Geográfica		Base de elevação	Diâmetro da Chaminé	Altura da Chaminé	Velocidade de Lançamento dos Gases	Temperatura de Lançamento dos Gases	Taxa de Emissão de MP
	UTM[X] (m)	UTM [Y] (m)						
<b>Unidades</b>			<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m/s</b>	<b>K</b>	<b>g/s</b>
<b>Forno I</b>	609247	7821095	739	3,30	55	7,69	433,15	0,72
<b>Forno II</b>	609258	7821084	739	4,00	55	9,18	443,64	036
<b>Forno III</b>	609365	7821076	739	1,20	55	17,76	377,41	0,44

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os dados da velocidade de lançamento dos gases, temperatura de lançamento dos gases e taxa de emissão do poluente são resultado da média aritmética dos monitoramentos realizados em 15/03 e 06/09/2016 nos fornos I e II e 19/04 e 12/09/2016 no forno III.



## 4.2.3.2 Mineradora B

De acordo com o Parecer Único nº 115/2013 do Processo Administrativo COPAM nº 00002/1978/032/2011 (SUPRAM, 2013), a Mineradora B está localizada sob as coordenadas geográficas latitude 19°42'36"S e longitude 43°57'42"O no datum WGS84, possui área total de 746,29ha e desenvolve as atividades: Fabricação de Cal Virgem, Hidratada ou Extinta; Britamento de pedras para construção, inclusive mármore, ardósia, granito e outras pedras; Fabricação de tintas, e; Fabricação de mix massa (mistura de cimento e cal).

A mineradora possui como fonte fixa 4 fornos de calcinação, sendo 3 do tipo vertical, denominados como Forno 4 (F4), Forno 5 (F5) e Forno 6 (F6) e um forno rotativo denominado como Forno 7 (F7). Além dos fornos o empreendimento possui outras fontes fixas: Hidratação, Moagem do Combustível Sólido e Moagem da Cal (SUPRAM, 2013). Foram consideradas para este estudo somente os fornos, devido a taxa de emissão ser consideravelmente maior que nas demais fontes como pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização das fontes estacionárias da Mineradora B.

Fonte emissora	UTM [X]	UTM [Y]	H [m]	D [m]	Q [Nm <sup>3</sup> /s]	T [°C]	Taxas de Emissão [kg/h] MP
CH - F4 - FM01	609.045	7.820.074	45	1,1	9,9	93	<b>3,3</b>
CH - F5 - FM01	609.028	7.820.070	45	1,3	11,9	100	<b>1,1</b>
CH - F6 - FM01	609.014	7.820.070	45	1,3	10,8	92	<b>1,3</b>
CH - F7 - PE01	608.821	7.820.019	50	1,8	18	201	<b>3,3</b>
CH - Hidratação I	608.874	7.820.310	17	0,9	1,6	92	0,1
CH - M4 - FM01	609.041	7.820.080	15	0,5	2,6	62	0,1
CH - M4 - FM02	609.041	7.820.080	25	0,5	2,6	58	0,3
CH - M5 - FM01	609.020	7.820.076	15	0,6	5,3	66	0,6
CH - M5 - FM02	609.020	7.820.076	25	0,5	1,1	41	0,5
CH - Moagem de Cal LD	608.757	7.820.311	10	0,5	3,1	41	0,1
Total							10,7

Fonte: (ECOSOFT SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2014, p. 23).

Legenda:

X - coordenada X da fonte emissora no sistema UTM WGS84 e unidade em metros (m);;

Y - coordenada Y da fonte emissora no sistema UTM WGS84 e unidade em metros (m);;

H - Altura da fonte emissora em relação ao solo;

D - Diâmetro da fonte emissora;

Q - Vazão de gases da fonte emissora;

T - Temperatura dos gases na fonte emissora

MP - Taxa de emissão de material particulado;

Os dados obtidos por meio dos relatórios de monitoramento encontrados nas pastas de licenciamento do empreendimento na Supram foram compilados conforme exposto na Tabela 7, de forma a atender as informações de entrada no AERMOD.

No entanto, foi utilizado para o Forno 4 apenas os dados do 1º semestre, pois conforme o ofício protocolado na Supram sob o número de registro R0060461/17, o forno estava desativado, devido a falta de mercado. E no forno 5 também foi utilizado os dados do 1º semestre, pois não foram encontrados os dados do 2º semestre nos arquivos da Supram.

Tabela 7 - Dados de entrada das fontes emissoras da Mineradora B.

Fonte emissora	Localização Geográfica		Base de elevação	Diâmetro da Chaminé	Altura da Chaminé	Velocidade de Lançamento dos Gases	Temperatura de Lançamento dos Gases	Taxa de Emissão de MP
	UTM [X] (m)	UTM [Y] (m)						
<b>Unidades</b>			m	m	m	m/s	K	g/s
<b>Forno 4</b>	609045	7820074	796	1,10	45	15,93	352,3	0,69
<b>Forno 5</b>	609028	7820070	794	1,25	45	11,46	374,2	0,40
<b>Forno 6</b>	609014	7820070	792	1,25	45	12,53	378,8	0,30
<b>Forno 7</b>	608821	7820019	794	1,80	50	18,13	498,1	0,97

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

### 4.3 Sistema de Modelagem AERMOD

#### 4.3.1 AERMET

De acordo com Velloso (2007), o AERMET é um processador cuja finalidade é organizar e processar dados meteorológicos, além de estimar os parâmetros da

Camada Limite Atmosférica - CLA para o cálculo da dispersão de poluentes no modelo AERMOD.

Os dados meteorológicos devem ser de 1 ano de dados específicos do local ou 3 anos caso haja necessidade de estimar a meteorologia. Contudo, para as análises da qualidade do ar são mais indicados a inserção de 1 até 5 anos de dados meteorológicos do local (USEPA, 2012).

Sendo assim, foram utilizados os dados meteorológicos do ano de 2016 obtidos na estação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins. Os dados foram organizados numa planilha padronizada e inserido no AERMET, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Planilha dos dados meteorológicos de 2016.

Year	Month	Day	Hour	Wind Direction	Wind Speed	Cloud Cover	Dry-Bulb Temperature	Relative Humidity	Barometric Pressure	Ceiling Height	Local Horizontal Visibility
2016	1	1	1	49.0	5.37	0.0	37.0				
2016	1	1	2	133.0	2.56	0.0	36.0				
2016	1	1	3	50.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	4	133.0	3.0	0.0	36.0				
2016	1	1	5	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	6	90.0	2.56	0.0	36.0				
2016	1	1	7	90.0	2.56	0.0	36.0				
2016	1	1	8	360.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	9	210.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	10	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	11	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	12	90.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	13	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	14	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	15	360.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	16	45.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	17	360.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	18	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	19	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	20	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	21	133.0	2.07	0.0	36.0				
2016	1	1	22	270.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	23	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	24	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	25	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	26	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	27	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	28	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	29	133.0	1.04	0.0	36.0				
2016	1	1	30	133.0	1.04	0.0	36.0				

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O pré-processador meteorológico AERMET possibilita ao usuário selecionar os parâmetros que se referem as categorias de uso do solo como a rugosidade, albedo e razão de Bowen. Para o estudo em questão foi utilizado a categoria de uso do solo urbano, do qual os valores estão expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros de superfície.

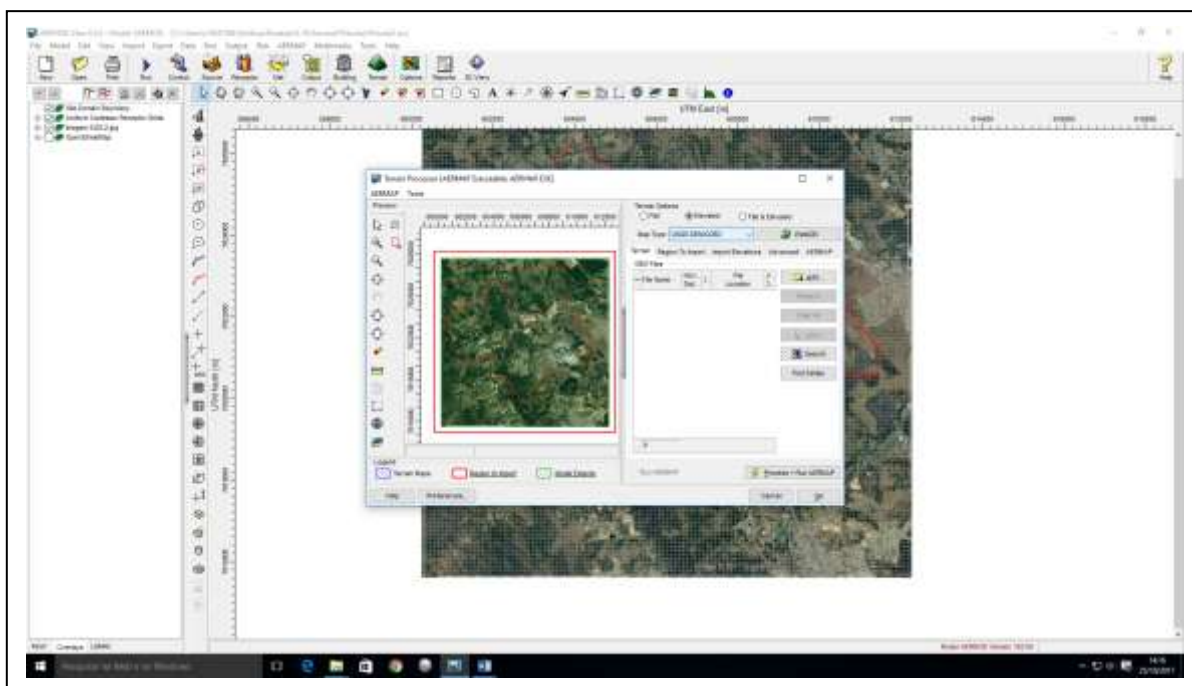
Albedo	Razão de Bowen	Rugosidade de Superfície
0,2075	1,625	1

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

#### 4.3.2 AERMAP

Para o pré-processador AERMAP foram utilizados os dados disponibilizados pela missão SRTM realizada pela USGS para determinar a elevação topográfica da base das fontes e dos receptores. Os dados do terreno obtidos possuem resolução de ~90 metros e sistema de coordenadas geográficas WGS84 no formato DEM. Os dados inseridos podem ser visualizados na Figura 6.

Figura 6 – Processamento dos dados topográficos no AERMAP.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

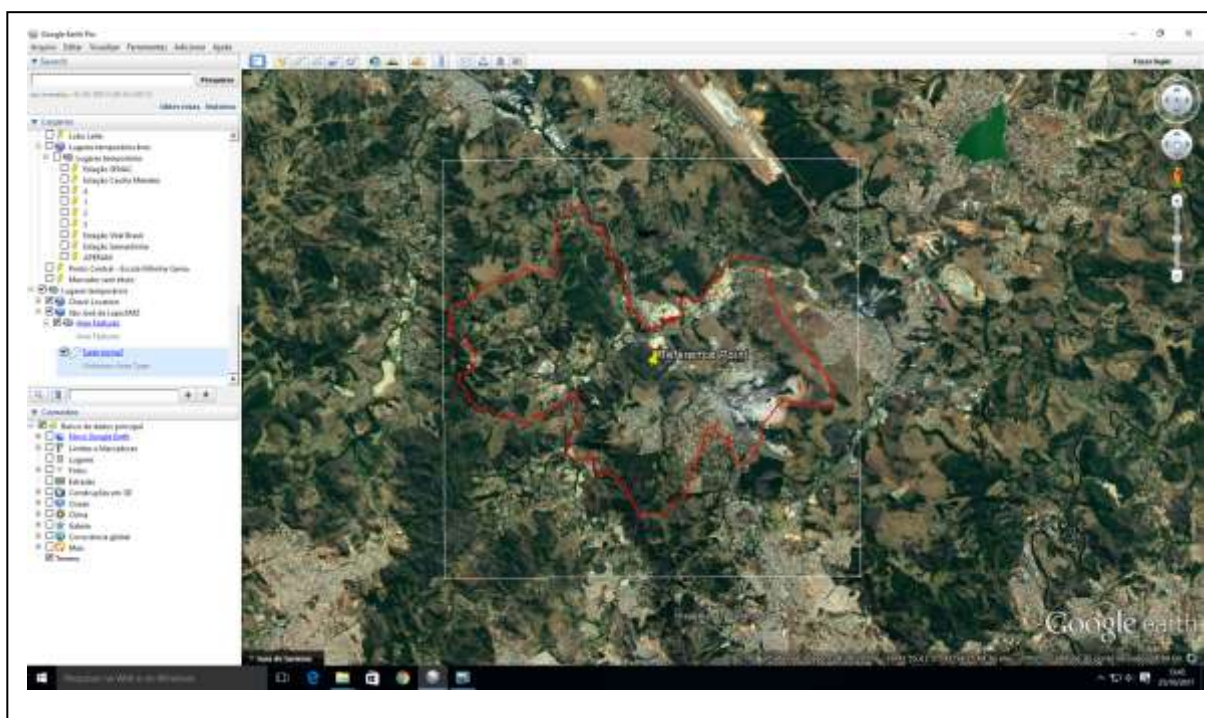
#### 4.3.3 AERMOD

Para realizar a modelagem foi necessário inserir os arquivos gerados pelos pré-processadores AERMET (aermet.pfl e aermet.sfc) e AERMAP (aermap.rou e

aermap.sou). Além dos dados pré-processados foram realizadas as seguintes etapas:

- Definição do sistema de coordenadas do projeto, do qual foi utilizado o Sistema de Projeção UTM 23 sul e Datum WGS84.
- Foi inserido as coordenadas do ponto central do município (latitude 19°41'52"S e longitude 43°59'10") e um raio de 6 km para atingir a cobertura total da área do município (ver Figura 7).

Figura 7 – Cobertura total do município pelo AERMOD.



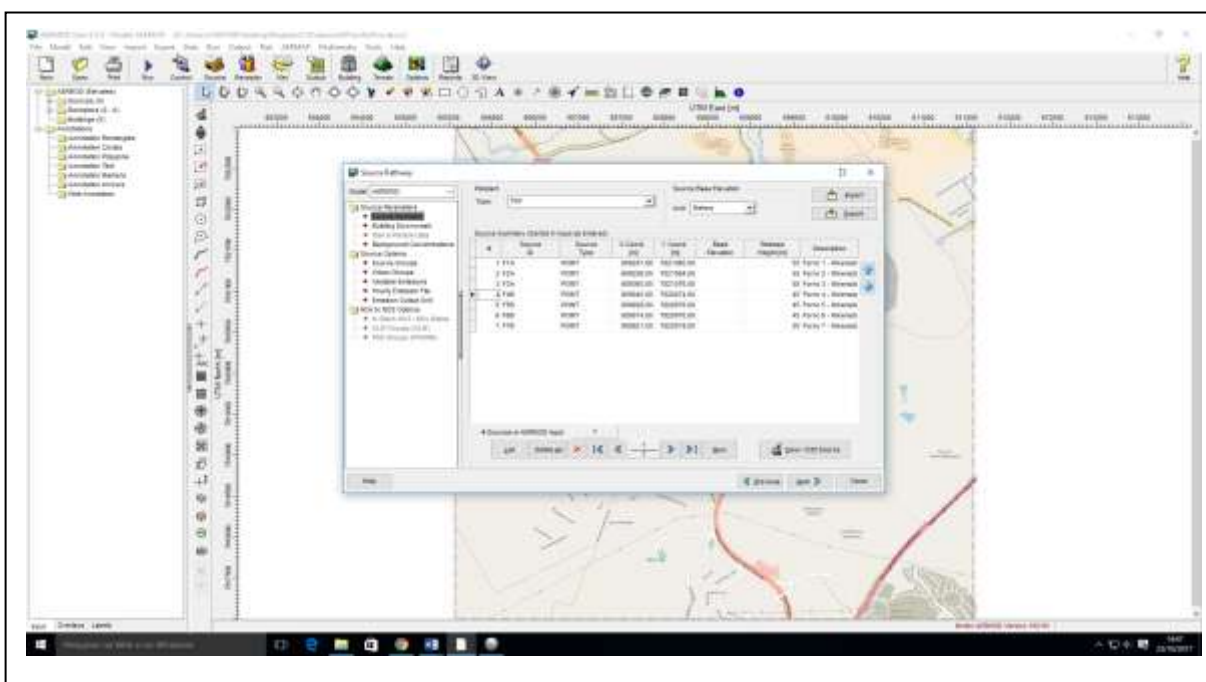
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

- Posteriormente, foram definidos os arquivos de saída da modelagem:
  - A opção do tipo de dispersão: Padrão e saída em concentração;
  - Poluente a ser modelado: PTS;
  - Opção de tempo de média: 24 horas e anual.
- Tipo de elevação do terreno: elevado.

- Foram seleccionados também a rede de receptores da área de trabalho, que nesse caso foram utilizados uma malha de 121x121, totalizando 14.641 receptores. O espaçamento entre as grades foi de 100x100m para cobrir a área do município.
- E para finalizar foram inseridos os dados das fontes, tais como:
  - Nome das fontes emissoras;
  - Localização das fontes (latitude e longitude em UTM);
  - Base de elevação das fontes (m);
  - Diâmetros das chaminés (m);
  - Alturas das chaminés (m);
  - Velocidade de lançamentos dos gases (m/s);
  - Temperatura de lançamentos dos gases (K);
  - Taxa de emissão dos gases (g/s).

A Figura 8 demonstra a organização dos dados das fontes no AERMOD.

Figura 8 – Inserção dos dados das fontes pontuais no AERMOD.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos na modelagem da dispersão de material particulado proveniente dos fornos de calcinação inseridos no município de São José da Lapa. A modelagem das fontes permite avaliar de forma quantitativa a influência das emissões dos fornos sobre o município, suas áreas possivelmente afetadas e a concentração de material particulado em que a população está exposta. Essa quantificação foi realizada por meio do modelo matemático AERMOD e dos pré - processadores AERMET (dados meteorológicos) E AERMAP (dados topográficos).

Para comparar os resultados com os padrões da qualidade ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990 foram gerados cenários correspondentes às médias de 24 horas e médias anuais. Os resultados estão apresentados em figuras e tabelas.

- **Apresentação visual (figura):** demonstra a pluma de concentração sobre uma imagem de satélite do município.
  - **Cenários de curto período:** apresentam as máximas concentrações de 24 horas que ocorrem em cada célula da malha computacional. Vale ressaltar que as máximas concentrações indicadas pelo modelo matemático não ocorrem simultaneamente na mesma data ou horário do possível evento ocorrido, pois o mesmo utiliza de cálculos estatísticos a partir dos dados de entrada para estimar as áreas impactadas.
  - **Cenário de médias de longo prazo:** nesse cenário são apresentados os locais mais frequentemente afetados em longo prazo (anual) pelas emissões dos fornos.
  
- **Apresentação em tabelas:** tabulação dos principais dados gerados para as máximas concentrações dos períodos curtos e longos identificados na área de estudo.

## 5.1 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO

De acordo com a Resolução CONAMA 03/1990 o poluente Partículas Totais em Suspensão (PTS) possui limite diário de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e média geométrica anual de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo assim os resultados tanto das tabelas quanto dos cenários estão apresentados para os dois períodos.

A Tabela 9 apresenta os 10 máximos acréscimos médios de 24 horas calculados pelo AERMOD, a localização dos pontos de ocorrência e as datas nas quais foram identificadas.

Tabela 9 - Máximas concentrações diárias de PTS identificadas na área de estudo pelo modelo matemático AERMOD.

Data	Localização em UTM das máximas diárias		Concentração estimada - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão de qualidade do ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	X	Y		
1 21/01/2016	608653,5	7820271	3,44	240
2 26/06/2016	608353,5	7820171	3,43	240
3 26/06/2016	608453,5	7820171	3,47	240
4 02/09/2016	608453,5	7820071	3,52	240
5 02/09/2016	608553,5	7820071	3,57	240
6 07/10/2016	609353,5	7820171	3,35	240
7 07/10/2016	609353,5	7820271	3,35	240
8 10/10/2016	608353,5	7820071	3,39	240
9 29/10/2016	608753,5	7820071	3,44	240
10 06/11/2016	608653,5	7820071	3,57	240

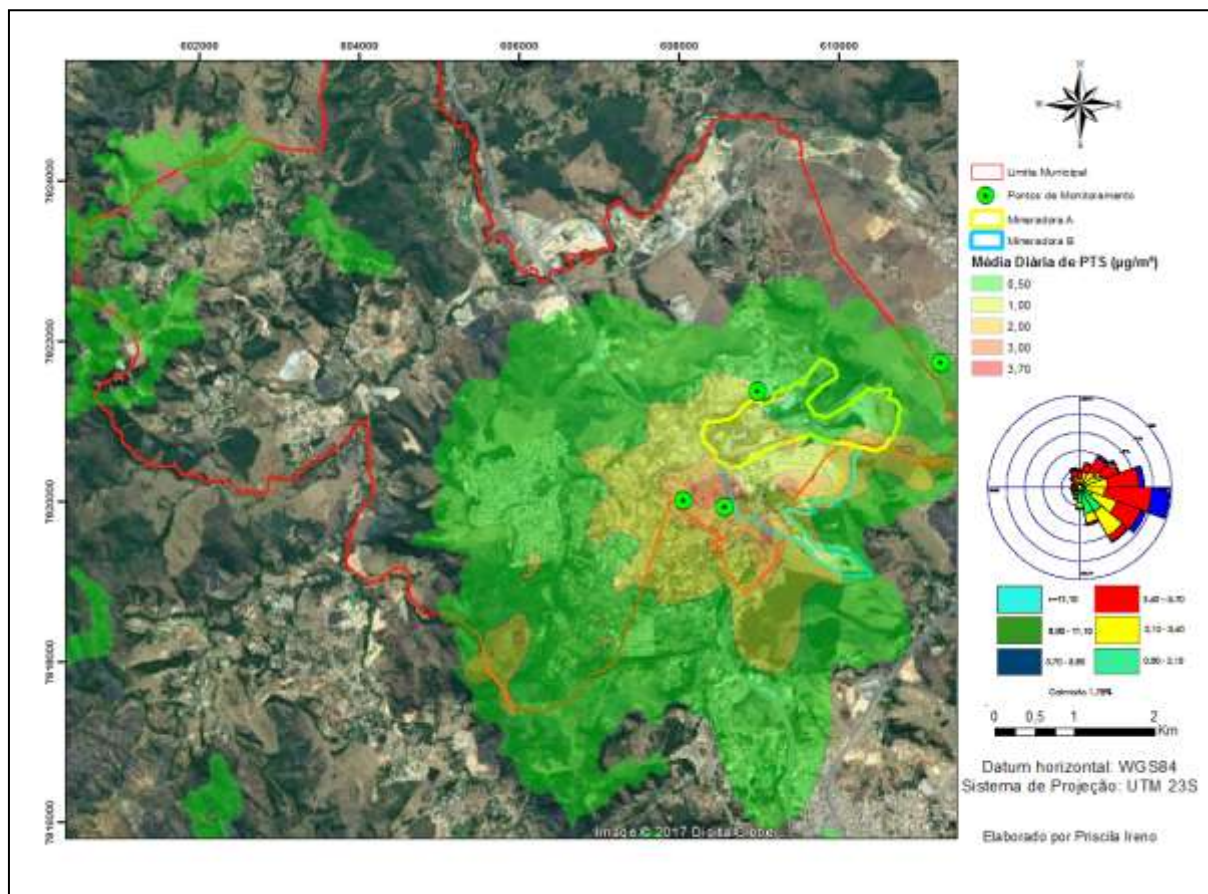
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os resultados das concentrações estimadas pelo AERMOD na área de estudo apontam que a qualidade do ar resultante das emissões provenientes dos fornos inseridos no município de São José da Lapa estão bem abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990. A maior concentração identificada foi de  $3,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nos dias 02/09/2016 e 06/11/2011. As áreas frequentemente



impactadas pelas emissões no período de 24 horas podem ser visualizadas na Figura 9.

Figura 9 - Cenário de máximos acréscimos de 24 horas nas concentrações de Partículas Totais em Suspensão provenientes dos fornos das Mineradoras A e B.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Por meio do cenário de concentrações apresentado na Figura 8 é possível verificar que as máximas concentrações no período de 24 horas estão cobrindo a maior parte da área urbana e uma parte das concentrações extrapola os limites do município. Observa-se por outro lado que as maiores concentrações estão próximas dos fornos da Mineradora B.

Assim como as médias diárias, as médias anuais da área de estudo também apresentaram abaixo do limite da legislação vigente. No entanto, não foi possível comparar com a média anual real obtida pelo monitoramento da qualidade do ar realizado no município, devido os dados de concentração estarem em processo de

validação na FEAM. Dessa forma, a Tabela 10 apresenta as médias anuais estimadas pelo modelo matemático AERMOD e suas localizações.

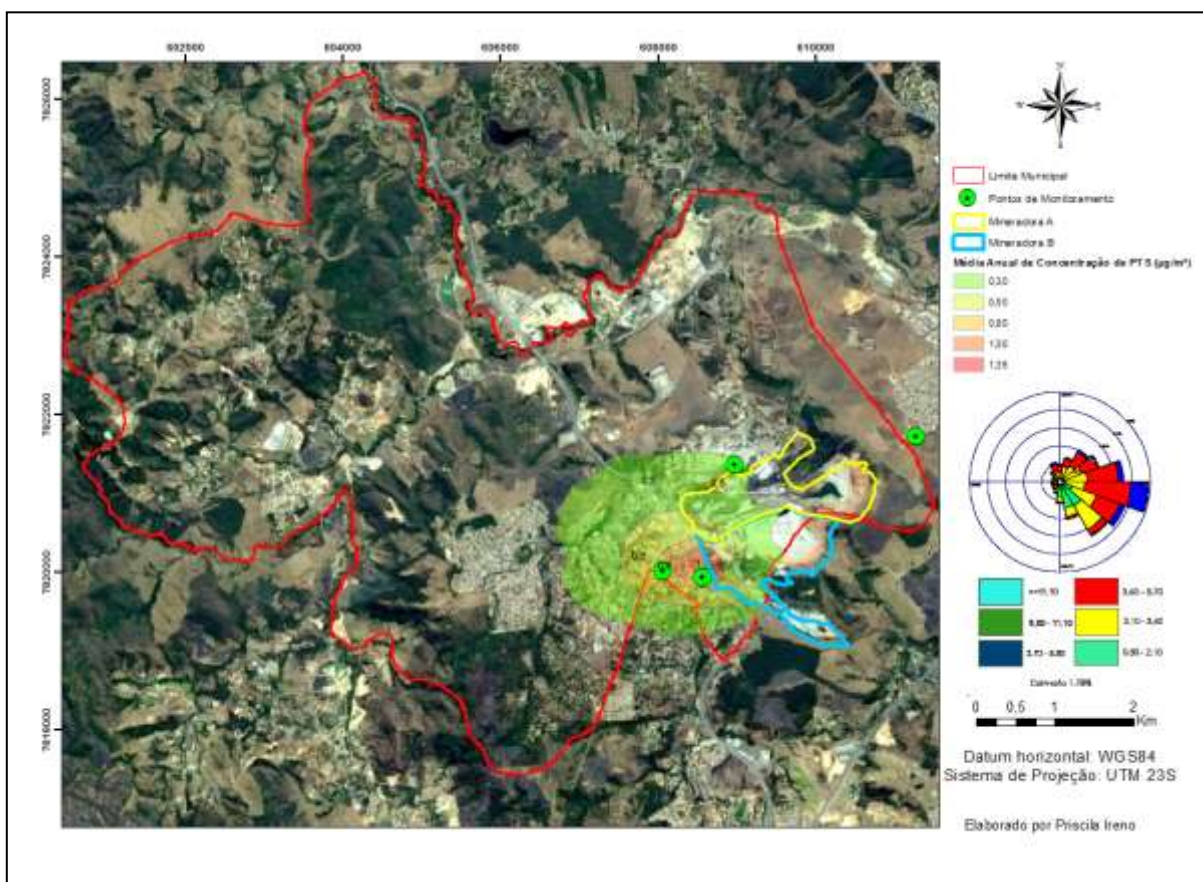
Tabela 10 - Máximas concentrações anuais de PTS identificadas na área de estudo pelo modelo matemático AERMOD.

Referência	Localização em UTM das médias anuais		Concentração estimada - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão de qualidade do ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	X	Y		
1	608653.54	7820171	1,34709	80
2	608653.54	7820071	1,31981	80
3	608553.54	7820071	1,3032	80
4	608553.54	7820171	1,27421	80
5	608453.54	7820071	1,24532	80
6	608453.54	7820171	1,18227	80
7	608753.54	7820071	1,16323	80
8	608353.54	7820071	1,16088	80
9	608753.54	7820171	1,14432	80
10	608453.54	7819971	1,13491	80

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O cenário das médias anuais exposto na Figura 10, demonstra as áreas que possuíram a maior frequência de concentração de material particulado durante o ano de 2016.

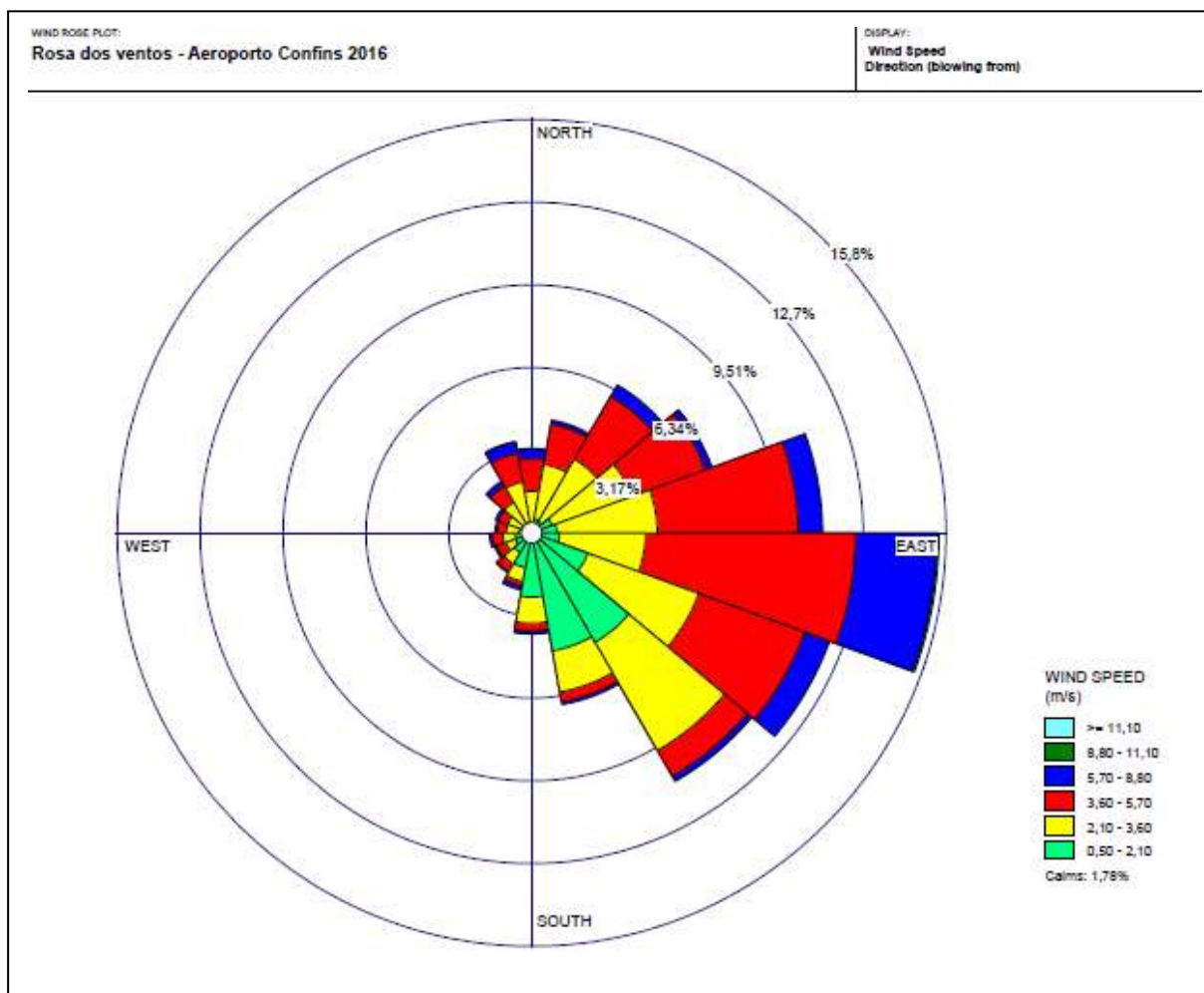
Figura 10 - Cenário de médias anuais das concentrações de Partículas Totais em Suspensão provenientes dos fornos das Mineradoras A e B.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O cenário das médias anuais apresenta concentrações bem próximas das fontes, afetando a parte da população que reside no entorno dos empreendimentos, mais precisamente ao Oeste. Verifica-se ainda que os pontos de monitoramento da qualidade do ar estão situados em cada faixa de concentração do poluente, representando uma localização geográfica estratégica da entrada e saída do poluentes, uma vez que as concentrações se mantiveram entre o oeste (O) e noroeste (NO), devido a preferencial dos ventos serem provenientes do Leste (E) ao Sudeste (SE), como demonstrado na Rosa dos Ventos da Figura 11.

Figura 11 - Rosa dos ventos do Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins no período de jan/2016 a dez/2016.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Como foi dito anteriormente um dos fatores que auxilia na direção e velocidade dos ventos é a topografia. O município em questão possui relevo ondulado variando entre 677 e 931 metros de altitude conforme apresentado no Modelo Digital de Elevação (MDE) no Mapa 2. As fontes pontuais estão inseridas entre as elevações 739 e 796 m e estão cercadas por altitudes entre 750 a 850 m, o que demonstra uma localização desfavorável a dispersão do ar e um possível aprisionamento das concentrações nas baixas altitudes onde estão localizadas as áreas urbanas, como foi exibido nos cenários das médias de 24 horas e anual.

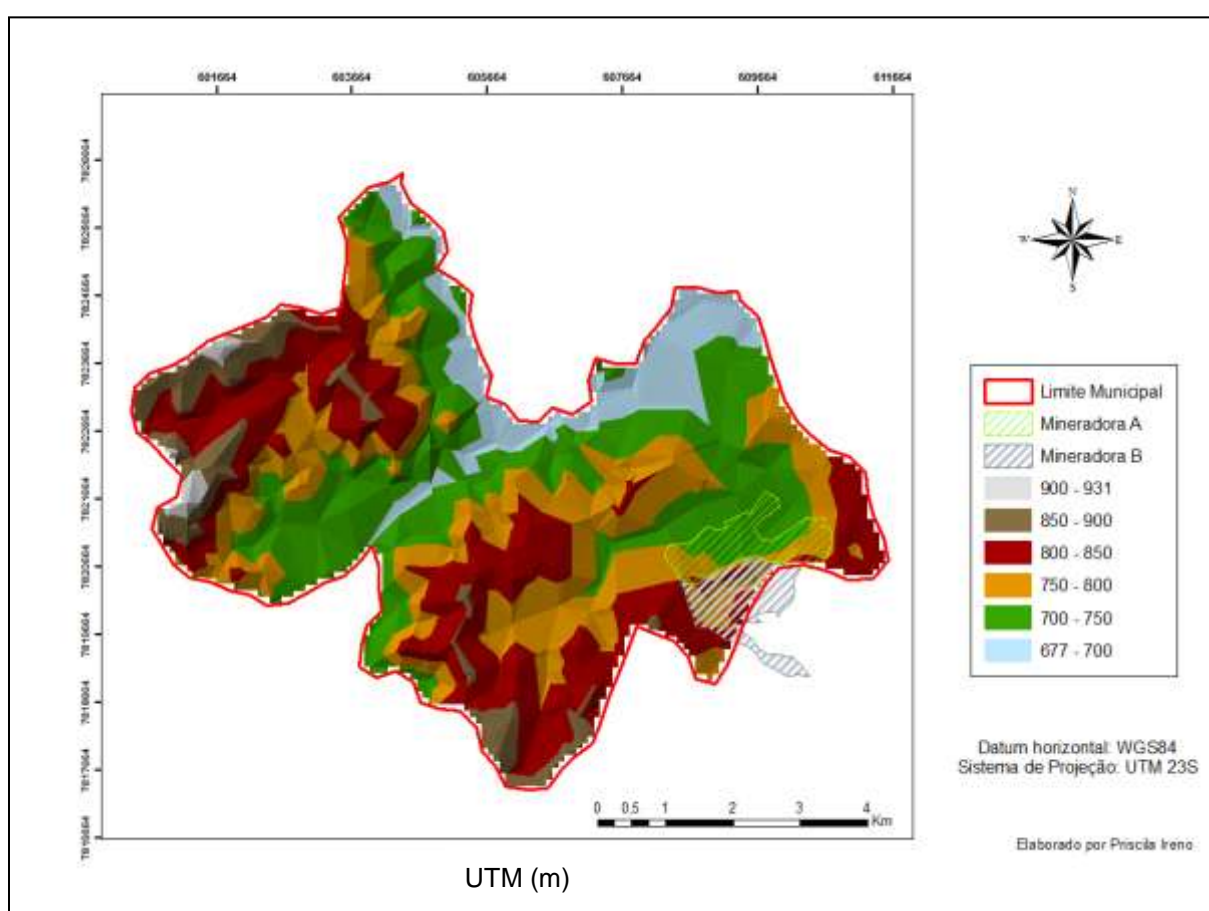
Através do MDE é possível correlacionar visualmente a topografia local com os cenários gerados pelo AERMOD. No cenário de 24 horas (Figura 9) verifica-se a presença de concentrações de material particulado afastado das fontes emissoras,



mais precisamente no limite ao oeste do município. A Figura 12 demonstra que nessa área o relevo de São José da Lapa é o mais elevado, o que justifica o modelo apresentar concentrações nessa parte, uma vez que a topografia elevada da área forma uma barreira na dispersão do poluente.

Contudo, devido às altitudes elevadas próximas as empresas, as maiores concentrações ocorrem frequentemente no entorno das fontes pontuais, conforme apontado no cenário das médias anuais (Figura 9).

Figura 12 – Modelo Digital de Elevação do município de São José da Lapa/MG.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi utilizado o modelo matemático regulatório AERMOD sugerido pela USEPA (2017), com a finalidade de analisar o potencial de degradação da qualidade do ar pela emissão de material particulado provenientes dos fornos de calcinação das mineradoras inseridas no município de São José da Lapa no ano de 2016. A modelagem apresentou concentrações de PTS abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990. No entanto, as mineradoras possuem outras fontes de emissão além dos fornos, tais como: Áreas expostas, Hidratação da cal, Moagem do combustível, Recupol dos fornos, Silos de cal, Silos do combustível, Áreas de transferência, Britagem, Cominuição, entre outras fontes pontuais e difusas.

Conforme apontado pela USEPA (1998), os fornos são as principais fontes estacionárias de emissão de material particulado na fabricação da cal, porém além de não serem as únicas fontes na planta industrial que permitem a medição das emissões, ainda existem as fontes fugitivas, cuja as emissões não são mensuradas. Dessa forma, verifica-se a necessidade de validar o modelo, por meio das concentrações de  $PM_{10}$  medidas pelas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e avaliar o potencial degradador absoluto das emissões pelas mineradoras sob a qualidade do ar da área de estudo, uma vez que a população reside no entorno das mineradoras e estão em contato direto com os processos minerários exercidos pelas mesmas.

Ressalta-se também que o longo período de estiagem durante o inverno favorece a ocorrência de inversões térmicas e podem agravar a degradação da qualidade do ar no município. Sendo assim, planos de emergência para esses períodos tornam-se essenciais para assegurar a saúde e qualidade de vida da população.

Nesse caso, os pontos de monitoramento automáticos da qualidade do ar inseridos em São José da Lapa são fundamentais tanto para o órgão público quanto para a população. Pois, os dados são obtidos em tempo real e a sua divulgação diária em meio eletrônico para conhecimento público permite a tomada de ações emergências em períodos críticos de estagnação atmosférica. Além disso, as concentrações monitoradas no ar ambiente também permitem ao órgão fiscalizador

acompanhar a efetividade das medidas mitigadoras realizadas nos processos produtivos dos empreendimentos.

Em vista disso, considerando o cenário atual de São José da Lapa, o modelo matemático torna-se um importante recurso para o planejamento econômico e ambiental do município, no que tange a respeito a futuros licenciamentos de empreendimentos, de forma a projetar a melhor localização que terá o menor impacto sob a área urbana, e condicionar medidas mitigadoras mais restritivas caso a modelagem aponte concentrações em descumprimento a legislação vigente.

## REFERÊNCIAS

BARBON, Amarildo; GOMES, Júlio. Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n. 2, p. 129-140, 2010.

BOÇON, Fernando Tadeu. **MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO E DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA MICROESCALA ATMOSFÉRICA**. 1998. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78075>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

BRAGA, Alfesio, et al. "**Poluição atmosférica e saúde humana.**" *Revista USP* 51 (2001): 58-71.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1989. "**Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - Pronar**". Brasília, 25 ago. 1989.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990. "**Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**". Brasília, 22 ago. 1990.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 436 de 22 de dezembro de 2011. "**Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007**". Brasília, 26 dez. 2011.

CANÇADO, José Eduardo Delfini, et al. "**Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica.**" *J bras pneumol* 32.Supl 1 (2006): S5-S11.

CERDEIRA, Rita et al. **Simulação da Dispersão de Poluentes Atmosféricos para Prever o Impacte da Qualidade do Ar na Saúde Pública**. 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Joao\\_Garcia4/publication/243458005\\_Simulacao\\_da\\_Dispersao\\_de\\_Poluentes\\_Atmosfericos\\_para\\_Prever\\_o\\_Impacte\\_da\\_Qualidade\\_do\\_Ar\\_na\\_Saude/links/0deec51d0ca67389a9000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Joao_Garcia4/publication/243458005_Simulacao_da_Dispersao_de_Poluentes_Atmosfericos_para_Prever_o_Impacte_da_Qualidade_do_Ar_na_Saude/links/0deec51d0ca67389a9000000.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2017.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo -. **QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO 2009**. São Paulo: 2009. 290 p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 27 maio 2015.



CLIMATE-DATA.ORG. Dados Climáticos para Cidades Mundiais. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/176164>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Portal de Tecnologia da Informação para Meteorologia**: Banco de Dados Meteorológicos. 2016. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012. 223 p.

DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. **O que é, o que é?: Inversão térmica**. 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/08/10/o-que-e-o-que-e-9/>>. Acesso em: 13 out. 2017.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **ANUÁRIO MINERAL ESTADUAL – MINAS GERAIS: ANOS BASE 2010 – 2014**. Brasília: 2017. 119 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro>>. Acesso em: 05 out. 2017.

GIS, Geographic Information Systems Resource. **Dados do Terreno**. Disponível em: <<http://www.webgis.com/srtm30.html/>>. Acesso em: 22 set. 2017.

ECOSOFT SOLUÇÕES AMBIENTAIS. Ical Indústria de Calcinação Ltda; Mineração Belocal Ltda. **ESTUDO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA E REVISÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DE SÃO JOSÉ DA LAPA – MG**: RTC140293-R1. São José da Lapa/MG: 2014. 91 p.

FEAM, Fundação Estadual de Meio Ambiente. Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (GESAR). **Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte Ano Base de 2013**. Belo Horizonte: 2013. 77 p.

FRONDIZI, Carlos A. **MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR**. Rio de Janeiro: e-papers, 2008. 277 p.

GESAR, Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões. Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Mapas - Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar**: São José da Lapa. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/article/15/1401-mapas-estacoes-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. Cidades: São José da Lapa. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/sao-jose-da-lapa/panorama>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

IEDE, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais -. **MG Município**. Disponível em: <<http://www.iga.mg.gov.br/IEDE/Catalogo.html>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

IEMA, Instituto de Energia e Meio Ambiente -. **Padrões de qualidade do ar**: Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. 2012. 79p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/Estudo\\_Padrees\\_Qualidade\\_Ar.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/Estudo_Padrees_Qualidade_Ar.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2012. MMA, Ministério do Meio Ambiente -. **Cidades sustentáveis: Qualidade do Ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa nº 187, de 19 de setembro de 2013. Estabelece condições e limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e dá outras providências. **Diário do Executivo**. Belo Horizonte, MG, 19 set. 2013.

MINAS GERAIS. Núbia Cristina Pinto. Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Levantamento e Caracterização de Fontes de Emissão Atmosférica de Empreendimentos Licenciados no Estado de Minas Gerais**: Empreendimentos com Licença de Operação e de Grande Potencial Poluidor no Estado de Minas Gerais - FASE I. Belo Horizonte, MG: 2016. 53 p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente -. **Fontes Fixas**: Poluição Ambiental. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

MOREIRA, Davidson; TIRABASSI, Tiziano. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & sociedade**, v. 7, n. 2, 2004.

OPAS, Organização Pan-americana de Saúde -. **Níveis de poluição do ar estão crescendo em muitas das cidades mais pobres do mundo**. 2016. Disponível em: <[http://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5096:niveis-de-poluicao-do-ar-estao-crescendo-em-muitas-das-cidades-mais-pobres-do-mundo&Itemid=839](http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5096:niveis-de-poluicao-do-ar-estao-crescendo-em-muitas-das-cidades-mais-pobres-do-mundo&Itemid=839)>. Acesso em: 05 jan. 2017.

SILVA, João Paulo Souza. **Impactos ambientais causados por mineração**. Rev. Espaço da Sophia - nº 08 – nov. 2007 – Mensal – Ano I. Disponível em:

<http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>. Acesso em: 11 out. de 2017.

SUPRAM, Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Central Metropolitana. SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **PARECER ÚNICO Nº n°063/2014**. Belo Horizonte, MG, 2011. 24 p.

SUPRAM, Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Central Metropolitana. SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **PARECER ÚNICO Nº 115/2013**. Belo Horizonte, MG, 2013. 23 p.

TORRES, Vidal Felix Navarro; GAMA, Carlos Dinis da. **Engenharia ambiental subterrânea e aplicações**. Rio de Janeiro: Cetem/cyted, 2005. 550 p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency -. **Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM): Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models**. 2017. Disponível em: <[https://www3.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](https://www3.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm)>. Acesso em: 02 nov. 2017.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulations nº Title 40 Appendix W to Part 51, Revised as of July 01, 2012. **Guideline on Air Quality Models**. Disponível em: <<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title40-vol2/pdf/CFR-2012-title40-vol2-part51-appW.pdf>> Acesso em: 01 out. 2017.

USEPA. United States Environmental Protection Agency - **Emission Factor Documentation for AP-42: Mineral Products Industry**. 5ª Edition. Volume I. Chapter 11. Section: 11.17. Feb. 1998.

VELLOSO, Maria Francisca Azeredo. **Avaliação de Modelos Gaussianos para Fins Regulatórios – Um Estudo para a Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2007. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Mecânica., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

WHO, World Health Organization -. **Ambient (outdoor) air quality and health**. 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 05 jan. 2017.