



LAYNE CAMPOS SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO
EMITIDO POR INDÚSTRIAS DE FERTILIZANTES NO SUL
DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2022



LAYNE CAMPOS SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR
INDÚSTRIAS DE FERTILIZANTES NO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

Orientadora

LAVRAS – MG

2022

LAYNE CAMPOS SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR
INDÚSTRIAS DE FERTILIZANTES NO SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 20 de abril de 2022

Prof. DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi	UFLA
Mestrando em Engenharia Ambiental, Arthur Boari	UFLA
Doutorando em Ciência dos Solos, Marcelo Tesser Antunes Prianti	UFLA

Profa. DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

Orientadora

LAVRAS – MG

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me guiar e ser luz na minha vida. Aos meus pais, os quais sempre me apoiaram durante toda a minha trajetória. À minha orientadora, por toda paciência e ensinamento nessa caminhada, exemplo de simpatia e profissionalismo.

À UFLA, local que me acolheu durante esses 5 anos e a todos os professores pelos ensinamentos transmitidos. À Preserva, empresa júnior que tive a oportunidade de fazer parte e que foi crucial para a minha formação. A todos os meus amigos, que de alguma forma contribuíram para chegar até aqui, em especial Pamela e Jaqueline, as quais estiveram sempre presentes.

RESUMO

Para atender a demanda mundial no que se refere a disponibilidade de alimentos, faz-se necessário o uso de fertilizantes nas culturas. Um manejo adequado do uso desses fertilizantes é um fator primordial para promover a segurança alimentar global. Apesar de essencial para a disponibilidade de alimentos, as indústrias desse setor emitem diversos poluentes, tais como o material particulado. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as emissões de material particulado considerando os diferentes tipos de combustíveis mais empregados nas indústrias de fertilizantes na região do sul de Minas Gerais. Para isso, foi utilizado o modelo de fator de emissão da AP-42 da EPA para os combustíveis óleo BPF, biomassa seca e GLP. A partir dos dados disponibilizados pelas indústrias X, foram estimados as emissões de $MP_{filtrável}$, $MP_{condensável}$ e MP_{total} . Dentre as fontes energéticas analisadas neste estudo, a biomassa foi que apresentou as maiores taxas de emissão com $294,04 \frac{kg}{dia}$ para MP_{total} sem controle e $223,52 \frac{kg}{dia}$ com controle. Em seguida, o óleo BPF apresentou uma taxa de $7,95 \frac{kg}{dia}$ e por último o GLP, com a menor taxa dentre os três combustíveis utilizados, com $0,4 \frac{kg}{dia}$ para o butano e $0,35 \frac{kg}{dia}$ para propano. Comparando estes valores com os dados de amostragem das indústrias, houve um erro associado, sendo que no caso da biomassa o modelo da AP-42 superestimou os valores e para o óleo BPF os valores estimados foram inferiores aos amostrados.

Palavras-Chave: Fertilizantes. Material Particulado. Fator de emissão. AP-42.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Geral	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
3.1 Tipos e fontes de poluição.....	7
3.2 Meteorologia e dispersão de poluentes.....	8
3.3 Processo produtivo e a produção de fertilizantes No Brasil e em Minas Gerais.....	9
3.4 Poluentes atmosféricos gerados pela indústria de fertilizantes	13
3.5 Efeito dos poluentes atmosféricos gerados pelas indústrias de fertilizantes na Saúde e Ambiente	14
3.6 Legislação aplicada à poluição atmosférica	15
3.7 Técnicas de controle da poluição do ar em indústrias de fertilizantes	15
4. METODOLOGIA	18
4.1 Área de estudo	18
4.2 Descrição dos dados e do modelo AP-42	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
7. REFERENCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das indústrias no mundo a partir do século XVIII, e conseqüentemente o uso de novas fontes de energia, tais como o carvão e os combustíveis fósseis, alguns impactos foram evidenciados no ambiente, como o aumento dos níveis de poluentes emitidos na atmosfera. No Brasil, o grande salto ao desenvolvimento industrial ocorreu na década de 50. Na década de 70, a cidade de Cubatão, localizada no estado de São Paulo, tornou-se o primeiro grande polo industrial no Brasil com a instalação de indústrias estatais, petroquímicas, fertilizantes, cimenteiras e metais (ALVES, 2013). Entretanto, esse crescimento desenfreado trouxe várias conseqüências ambientais negativas, como a poluição atmosférica local, devido à ausência de controle da emissão dos poluentes pelas fábricas, tornando a cidade de Cubatão, conhecida como o “Vale da Morte”, a cidade mais poluída do mundo (SILVA, 2020).

A partir deste acontecimento, houve uma preocupação com a qualidade do ar, impulsionando a comandos legais no combate à poluição do ar, como o Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR) estabelecido no final da década de 80. Posteriormente, vigoram no Brasil a Resolução CONAMA n° 436 de 2011 e a Resolução CONAMA n° 491 de 2018, estabelecendo os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas anteriormente ao ano de 2007 e os padrões de qualidade do ar (PQAR), respectivamente.

Por outro lado, há a emissão de poluentes atmosféricos por essas indústrias químicas, sendo os mais comuns o material particulado, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia, ácido fluorídrico e ácido sulfúrico (CETESB, 2017). Dentre esses, o material particulado possui grande impacto quando se refere a produção de fertilizantes organominerais. Esse tipo de fertilizante vem se destacando na adição de matéria orgânica no solo e na fertilização das culturas (TEIXEIRA, 2013; RABELO, 2015; NEIVA JUNIOR et al., 2018). Um problema associado é a emissão de PTS (Partículas Totais em Suspensão), MP_{10} , que são as partículas inaláveis as quais apresentam diâmetro aerodinâmico médio no intervalo de 2,5 a 10 μm e $MP_{2,5}$, que são as partículas respiráveis que apresentam diâmetro aerodinâmico médio inferiores a 2,5 μm , os quais podem causar sérios danos à saúde populacional, principalmente o $MP_{2,5}$ pois estes podem penetrar no trato respiratório causando doenças e problemas cardiovasculares e respiratórios.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Estimar as emissões de material particulado em indústrias de fertilizantes no sul de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar a emissão de material particulado baseado em modelo de fator de emissão, compilados na AP-42 da EPA;
- Avaliar as emissões de material particulado considerando os diferentes tipos de combustíveis, mais utilizados nas indústrias de fertilizantes;
- Avaliar a interferência das variáveis atmosféricas na dispersão dos poluentes.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tipos e fontes de poluição

O ar tem sido alterado pelo homem e sua característica vem mudando desde o progresso da humanidade (BRAGA,2001). O grande crescimento demográfico mundial é frequentemente responsabilizado pela devastação do meio ambiente, sendo que os países subdesenvolvidos tem sido responsabilizados por essas questões devido ao seu elevado crescimento populacional (FONTANA,2015). Portanto, esse fator aliado com o desenvolvimento tecnológico influenciam as modificações ao meio ambiente (PIRES,2005).

Uma consequência dessa alteração é a poluição atmosférica, a qual é resultado da modificação das características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, de tal forma que podem causar danos ao ser humano, à flora, à fauna e aos materiais (BRITO; ARAUJO; SILVA, 2018). Esse tipo de poluição não é somente de responsabilidade do homem. Existem processos no qual a própria natureza emite gases e materiais particulados no ar, como as emissões vulcânicas, incêndios florestais, aerossóis dos oceanos, etc, (PIRES, 2005). Mas as fontes antropogênicas possuem uma grande relevância nesse contexto de poluição. Um grande problema ambiental é causado pelas instalações de indústrias próximas às grandes cidades e do crescimento de automóveis, que contribui para a poluição do ar (CAMARA et al., 2015; SANTOS et al., 2019).

Os poluentes podem ser classificados em primários, os quais são emitidos diretamente para a atmosfera, e em secundários, que são resultantes de reações químicas entre os poluentes primários e os constituintes atmosféricos (ARBEX et al., 2012). Tais fontes emissoras podem ser classificadas em estacionárias ou fixas e fontes móveis. As fontes fixas abrangem desde atividades não industriais, ou seja, pouco representativas nas áreas urbanas, como lavanderias, queima de combustíveis em hotéis, padarias, dentre outros, bem como a poluição causada por processos industriais. Já as fontes móveis, é representada pelos meios de transporte, que geram emissões significativas de poluentes no ar (CAVALCANTI, 2010).

Com o aumento dos níveis de poluentes no ar, e gases estufas que atuam como termorreguladores, há por consequência uma elevação da temperatura média global. Segundo Kalkuhl e Wenz (2020), as mudanças climáticas afetam a produção econômica de forma não linear, sendo que em regiões quentes, um aumento na temperatura tende a reduzir o produto regional bruto. Os gases presentes na atmosfera são responsáveis por absorverem a energia e reemitir essa radiação, aquecendo o planeta, fenômeno conhecido como efeito estufa. Tal fenômeno é intensificado de forma proporcional aos níveis de poluentes no ar, uma vez que eleva a absorção e radiação dos raios solares, contribuindo para aumentar a temperatura do planeta (MOLION, 2008). Apesar de ser um fenômeno natural, o aumento da poluição e emissão de gases poluentes, acelera tal processo (MATTEI; CUNHA, 2021).

3.2 Meteorologia e dispersão de poluentes

A atmosfera atua sobre os poluentes por dois fenômenos fundamentais: o transporte e a difusão. Tais processos são descritos por pré processadores meteorológicos para descrever o transporte devido ao vento e a sua variabilidade, o qual é útil para calcular a dispersão de poluentes. A interação do campo de vento com o solo e o seu aquecimento, produz um movimento caótico do ar, a turbulência atmosférica, responsável pela dispersão dos poluentes na atmosfera (MOREIRA; TIRABASSI; MORAES, 2008). As alterações que as ações antrópicas criam no ambiente urbano, como o processo de adensamento e verticalização, faz com que as condições de ventilação e por consequência a dispersão de poluentes sejam variáveis fundamentais na gestão do meio ambiente. Portanto, a morfologia urbana tem grande relevância para a dissipação de poluentes, uma vez que determina os padrões de fluxo de ar, pois influencia na direção e velocidade dos ventos (DORIGON; CARDOSO, 2015).

A localização concentrada das fontes de emissão, o volume de material liberado e a continuidade do processo são fatores que podem dificultar a dispersão dos poluentes

(RIBEIRO et al., 2020). Ademais, as condições meteorológicas têm um importante papel no que se refere à dispersão de poluentes na atmosfera.

Dentre as condições atmosféricas, a precipitação é um importante parâmetro. A chuva representa um fator de eliminação eficaz para remover poluentes dissolvidos na atmosfera (FLUES et al, 2002). O coeficiente de remoção de gases e material particulado por gotas de chuva e nuvem é um dos pilares do cálculo da transferência de poluentes entre reservatórios atmosfera-hidrosfera. Tal coeficiente é influenciado diretamente pela distribuição de espectro de gotas de chuva (GONÇALVES; MASSAMBANI, 2010). Tal parâmetro é caracterizado pela deposição úmida a qual ocorre através da chuva, orvalho, neblina e neve. Além disso, há também a deposição seca que é o processo de transporte de gases e material particulado sem a presença da água. Por meio desses processos, seja por deposição seca ou úmida, as substâncias que foram emitidas para a atmosfera retornam quimicamente transformadas à superfície (CARVALHO JÚNIOR, 2004).

Outro fator importante nesse contexto é o relevo. Esse pode interferir no deslocamento da pluma, no qual as feições morfológicas da superfície atuam como barreiras orográficas, o que influencia na deposição dos poluentes (RIBEIRO et al., 2020). A estabilidade atmosférica é outro importante parâmetro para caracterização da dispersão de poluentes. Segundo Lisboa (2014), a estabilidade se refere à tendência da atmosfera a contrapor ou acentuar o movimento vertical. Além do mais, o grau de turbulência na baixa atmosfera depende fortemente do gradiente vertical de temperatura. Em seu estudo Oliveira Júnior, Pimental e Landal (2010) concluíram que atmosfera da região da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) em de Angra dos Reis - RJ se apresentava com baixa capacidade para dispersar os poluentes, devido a condição de estabilidade local. Já no estudo de Santos et al. (2019), o autor verificou diferenças significativas de $MP_{2,5}$ em relação aos parâmetros precipitação, temperatura e a umidade relativa, comparando os valores no período seco e chuvoso na cidade de Belo Horizonte.

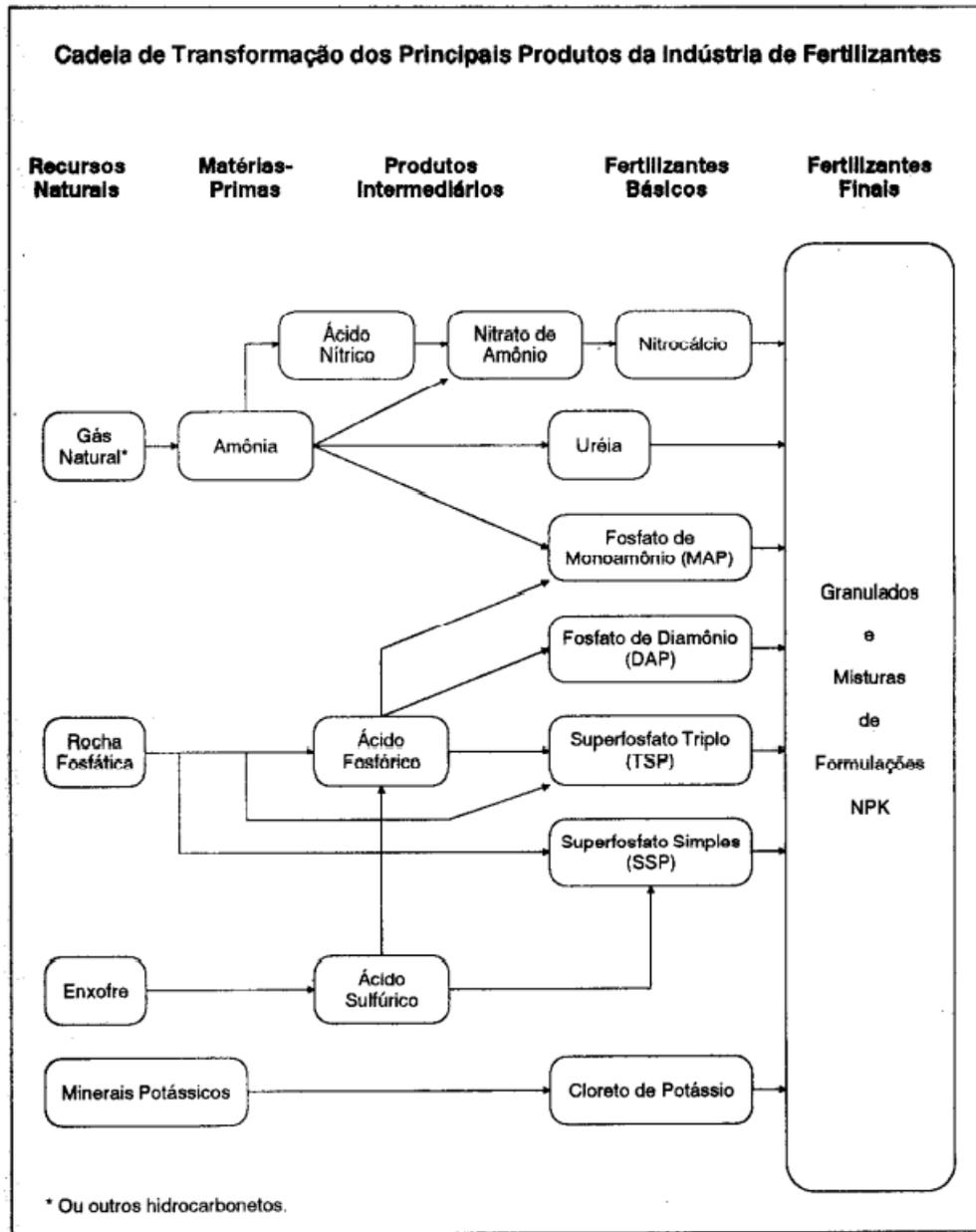
3.3 Processo produtivo e a produção de fertilizantes no Brasil e em Minas Gerais

No que se refere ao processo produtivo, segundo Taglialegna, Paes Leme e Souza (2001) apud Carvalho (2009), a indústria de fertilizantes pode ser dividida em três diferentes atividades: produção de matérias primas básicas e intermediárias, de fertilizantes básicos e de misturadoras. De forma geral, o processo produtivo de fabricação dos fertilizantes se inicia na

exploração de recursos naturais. Um recurso natural utilizado é o gás natural, que a partir de sua transformação química se obtém a amônia, principal matéria prima para produção dos nitrogenados. Já para os fertilizantes fosfatados, a rocha fosfática e o ácido sulfúrico são as principais matérias primas. Para produção desse ácido, é importado o enxofre devido a baixa quantidade de reservas no país. Vale destacar que a parte primária da produção dos fertilizantes, que são as extrações minerais, grande parte são importadas para o Brasil. Com relação aos fertilizantes potássicos, sua produção é baixa, portanto, grande parte desse insumo é importado de países como Canadá, Israel e Rússia (TEIXEIRA,2010).

Na segunda parte da fabricação dos fertilizantes realiza-se a produção dos fertilizantes básicos, os quais são formados apenas por um composto químico. Como mostrado na Figura 1 a amônia é utilizada para produção de outros compostos e também há a produção do cloreto de potássio extraído das rochas. No que se refere aos fosfatados, a reação da rocha fosfatada com o ácido produz o superfosfato simples ou o ácido fosfórico, o qual é um produto intermediário utilizado para a produção do monofosfato de amônio (MAP), difosfato de amônio (DAP) ou o superfosfato triplo. Por último, tem-se as misturas e granulação desses fertilizantes simples para produção de fertilizantes mais complexos (TEIXEIRA, 2010).

Figura 1 - Processo geral de produção de fertilizantes.



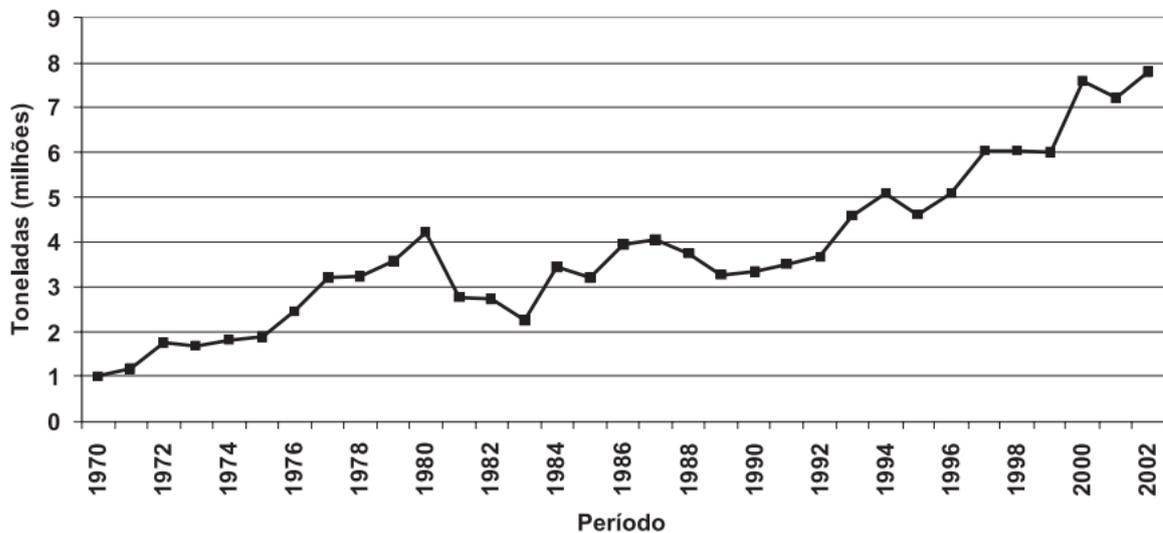
Fonte: ANDRADE (1995)

Tais fertilizantes são classificados em três diferentes tipos, o mineral, orgânico e o organomineral. O mineral é aquele que irá fornecer um ou mais nutrientes para a planta, podendo ser natural ou sintético, produzido por processos industriais. O fertilizante orgânico é obtido por meio de processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico e sua matéria prima pode ter origem vegetal ou animal. E por último, o fertilizante organomineral, sendo resultante da combinação dos dois anteriores (DIAS; FERNANDES,2006). Este último vem se destacando pelo acréscimo de matéria orgânica no solo, além de apresentarem uma maior concentração de nutrientes se comparado aos fertilizantes orgânicos, o que reduz os custos,

uma vez que podem ser empregados em menores quantidades por área (NEIVA JUNIOR, 2018).

Quanto à utilização desses fertilizantes, no período de 1970 a 2002 o consumo desse produto no país aumentou 680%, passando de 998 mil toneladas em 1970 para 7,77 milhões de toneladas em 2002. É neste período que houve uma grande expansão do consumo deste insumo, conforme demonstrado na Figura 2 (NICOLELLA; DRAGONE; BACHA, 2005). Ainda, vale ressaltar que, as indústrias de fertilizantes são essenciais para a manutenção da produção agrícola, uma vez que estas subsidiam o fornecimento dos nutrientes corretos (REETZ, 2017).

Figura 2 - Brasil: consumo total de fertilizantes em milhões de toneladas, 1970-2002.



Fonte: NICOLELLA; DRAGONE; BACHA (2005)

Nesse contexto, entre os dez produtos mais exportados pelo país no ano de 2019, oito são do agronegócio, sendo esse setor de grande relevância para o Brasil. Ademais, as exportações crescem constantemente e aliado com a produção agrícola, faz do Brasil uma grande potência agrícola (SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATEGICOS, 2020). O desenvolvimento desse setor é contínuo e devido ao grande potencial dos fertilizantes para a produção, o aumento na sua utilização é significativo para o país (RICHETTI, 2018).

Um estudo realizado por Teixeira (2021), no qual foi analisado o mercado de fertilizantes brasileiros no período de 2016 a 2020, em média o Brasil importou 80 % dos fertilizantes utilizados, sendo os principais os potássicos, as formulações NPK e os

nitrogenados. Do que foi produzido nacionalmente, 5% destes foram exportados para outros países. No caso de Minas Gerais, de acordo com dados do AGROSTAT (2021), as exportações referentes ao agronegócio tiveram uma participação de 8,70% no ano de 2021.

Em síntese, os fertilizantes minerais são uma das tecnologias de uso difundido na agricultura brasileira, capaz de proporcionar uma elevação na produtividade agrícola (OGINO, 2021). Seu uso torna-se eficiente no que tange o fornecimento de nutrientes (NEIVA JUNIOR, 2018). Apresentam grande relevância, uma vez que são responsáveis por grande parte da produção mundial das culturas, disponibilizando alimento para a população global. Além do mais, os nutrientes fornecidos por esse recurso são essenciais para a sobrevivência dos seres humanos (REETZ, 2017).

3.4 Poluentes atmosféricos gerados pela indústria de fertilizantes

Segundo UNEP (1998) apud Garcia et al. (2000), compostos nitrogenados (amônia, óxidos nítrico e nitroso, aerossóis de sais de amônia); óxidos de enxofre; vapores ácidos; elementos radioativos; poeira de fertilizantes e fluoretos sob forma de HF e SiF_4 são os principais poluentes emitidos por indústrias de fertilizantes.

Estudo realizado em uma fábrica de fertilizantes em 2015 por Schwartzaupt, Trindade (2016), concluíram que o processo de secagem do fertilizante foi a principal fonte de emissão de gases do efeito estufa (GEE), correspondendo a 60% das emissões totais. Esse tipo de indústria é responsável por 1,2% do consumo de energia e da emissão antrópica global de GEE (SUKALAC, 2005 apud FERNANDES; LUZ; CASTILHO, 2010).

Na fase de processamento dos minérios fosfáticos, há emissões atmosféricas, as quais estão associadas às operações de beneficiamento de rocha fosfática. Já na etapa da industrialização, que utiliza de processos químicos e físicos, as emissões de gases e poluentes possuem grande relevância. Calcula-se que as emissões globais desse setor chegam aos 283 milhões de toneladas de CO_2 , desse total, 134 milhões como gases de chaminé, 75 como CO_2 puro e 74 como óxido nitroso, este último decorrente da produção de ácido nítrico (FERNANDES; LUZ; CASTILHO, 2010).

Outros componentes emitidos durante o processo de fabricação de fertilizantes são os óxidos de enxofre e névoa ácida, sendo os principais o H_2S , SO_2 e SO_3 . Estes são lançados durante a produção do ácido sulfúrico e fertilizantes fosfatados. Na etapa de acidulação das rochas fosfáticas, há a emissão de compostos de flúor os quais podem conter de 2 a 4,5% de

flúor e variáveis quantidades de sílica na forma de SiF_4 e HF. Por volta de 35 a 40 % do flúor são liberados nos gases de escape, podendo ser recuperados por meio de processos de tratamento na forma de ácido fluorsilícico ou serem neutralizados com carbonato de cálcio (UNEP 1998 apud FERNANDES; LUZ; CASTILHO, 2010).

3.5 Efeito dos poluentes atmosféricos gerados pelas indústrias de fertilizantes na saúde e ambiente

Estudos sugerem que houve um grande crescimento das evidências que mostram que há uma relação entre a poluição do ar e a saúde humana (NAÇÕES UNIDAS, 2021). A presença desses gases poluentes tem relação direta com os problemas da saúde populacional no que se refere ao sistema respiratório e circulatório, enquadrando entre as principais causas de morte a nível global (CAMPOS, 2019). Um poluente associado às indústrias de fertilizantes é o material particulado (MP), que quanto menor for o seu diâmetro aerodinâmico médio, maior será sua capacidade de penetração no corpo humano pelas vias aéreas (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).

O material particulado inalável, engloba as partículas inaláveis grossas cujo diâmetro aerodinâmico médio está entre 2,5 a 10 μm (MP_{10}) e as partículas inaláveis finas com diâmetro médio da partícula inferior a 2,5 μm ($MP_{2,5}$), e a depender do seu tamanho, tais partículas podem se instalar em diferentes regiões do sistema respiratório. Segundo a OMS, a poluição do ar é uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana e em 2021 foi estimado que a cada ano, 7 milhões de mortes prematuras esta relacionado a esse tipo de poluição (NAÇÕES UNIDAS, 2021). Dapper, Spohr e Zanini (2016), concluiu em sua revisão que há uma relação entre a poluição atmosférica com problemas na saúde populacional.

Uma consequência ambiental associada a emissão de poluentes na atmosfera é a chuva ácida. Esta é intensificada pelas queimas de combustíveis fósseis, os quais produzem poluentes como os óxidos de enxofre, óxidos nítricos e os carbônicos. Posteriormente, esses poluentes, em contato com o vapor d'água presente no ar, formam compostos que acidificam as chuvas. Segundo Lins et al (2021), os poluentes com a presença do íons sulfato em águas de chuvas ocasionam a redução na fertilidade do solo, além de desgaste de materiais da construção civil. Estudo realizado por Costa et al. (2016) em Belém, foi possível constatar a relação da alteração na água da chuva local com as indústrias presentes na região.

Essas problemáticas resultantes da poluição atmosférica indica que a qualidade do ar é um fator que deve ser monitorado a fim de que medidas possam ser tomadas para controlar os impactos. Vormittag et al. (2021), realizaram uma análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil, e concluiu que de um total de 371 estações de monitoramento ativas no Brasil, todos os poluentes são monitorados em menos de 40% das estações com exceção do material particulado, único poluente monitorado em 62,8% dessas estações. Outrossim, a região sudeste detém 80% das estações, o que demonstra a desigualdade na distribuição espacial.

Com a emissão desses poluentes, a qualidade do ar decresce, o que afeta o bem-estar da população local, causando prejuízos tanto na área da saúde como no meio ambiente (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011). Por isso, o monitoramento da qualidade do ar se torna fundamental, uma vez que determina as concentrações dos poluentes atmosféricos e gera dados das condições da qualidade do ar, o que subsidia os tomadores de decisão a propor ações e políticas públicas. Esse monitoramento também permite identificar se um local está ou não com as concentrações de poluentes acima dos níveis seguros em termos de exposição (VORMITTAG et al., 2021).

3.6 Legislação aplicada à poluição atmosférica

No Brasil, há legislações que regulamentam os padrões de emissão de poluentes por fontes fixas e móveis, além de determinar padrões de qualidade do ar. O Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo, criou em 1989, o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR), como um dos instrumentos da gestão ambiental, limitando os níveis de emissão de poluentes de diversas fontes. Essa resolução é considerada como uma das mais importantes em se tratando de poluição atmosférica (VORMITTAG et al., 2021). Ademais, um dos programas incorporados ao PRONAR foi o Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial (PRONACOP) com o intuito de instrumentalizar suas medidas.

Posteriormente, em 1990, a Resolução CONAMA n°03/90 atribuiu aos Estados e o Distrito Federal a responsabilidade da implementação da Rede Nacional de Qualidade do Ar, a qual foi mantida pela Resolução CONAMA n°491/18, revogando a CONAMA 03/90. (VORMITTAG et al., 2021). A CONAMA ° 491/2018 estabelece os padrões de qualidade do ar, sendo que tais padrões são considerados instrumentos complementares do PRONAR, em vigor até o momento.

Já em 2006, a Resolução CONAMA n°382, estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007, sendo tais limites adotados por fonte e tipologia de fonte. Em 2011, complementando a anterior, foi estabelecido a CONAMA n° 436 fixando os limites de emissão para fontes fixas instaladas anteriormente à 02 de janeiro de 2007.

Para o Estado de Minas Gerais, dentre as ações de gestão de qualidade do ar, um dos instrumentos da FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) é a caracterização de fontes de emissão de poluentes no ar de fontes fixas. Uma das legislações vigentes é a Deliberação Normativa COPAM 187/2013, que estabelece limites máximos de emissão para tais fontes (FEAM, c2015).

Já em relação as fontes móveis, também há legislações que monitoram os limites de emissão. Em 1986, foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, com um dos seus objetivos de reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores a fim de atender os Padrões de Qualidade do Ar, principalmente nos centros urbanos. Em 2002 foi instaurado a Resolução CONAMA n° 297, o PROMOT – Programa de controle de emissões de gases poluentes para ciclomotores, motocicletas e similares. Posteriormente, a CONAMA n°433/2011 dispõe sobre a inclusão no PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas. Outras resoluções posteriores estabelecem as fases do PROCONVE (IBAMA, 2016).

3.7 Técnicas de controle da poluição do ar em indústrias de fertilizantes

As medidas diretas adotadas por fontes de poluição atmosféricas, como as indústrias são a utilização dos equipamentos de controle da poluição, sendo projetados de acordo com a sua capacidade, a natureza do poluente emitido e a eficiência demandada (GUIMARÃES, 2016). Em indústrias de fertilizantes os equipamentos mais comuns são os ciclones, lavadores de gases do tipo spray e venturi e o filtro de tecido. Os ciclones são equipamentos utilizados como pré-coletores e associados a outros equipamentos o sistema pode alcançar altas eficiências. Oliveira, Silva e Quast (2014) em estudo encontraram uma eficiência de 85% de remoção de partículas com o uso do ciclone em um sistema de britagem e, associado ao filtro de manga, o sistema ciclone/filtro apresentou 99% de eficiência.

As medidas indiretas, as quais tem o intuito de mitigar a formação de poluentes, são referentes por exemplo, a modificação do equipamento e/ou processo, mudança do tipo de matéria prima utilizado e manutenção dos equipamentos dentro de sua limitação, dentre outros (LISBOA,2007). Relacionado a isso, existem diversos modelos que estimam a emissão de poluentes no ar, como os baseados na compilação da AP-42 da EPA (Environmental Protection Agency), uma agência de proteção ambiental do governo dos Estados Unidos, assim como, vários modelos que avaliam a dispersão de poluentes, como o AERMOD. Barbon e Gomes (2010) avaliaram o uso do modelo AERMOD na dispersão dos poluentes produzidos por indústrias no município de Araucária. Os autores avaliaram os compostos NO_x , SO_x , CO e MP e concluíram que, para o poluente MP e CO houve uma tendência de obtenção de valores diferentes aos observados. Já para o NO_x e SO_x as concentrações foram bem representadas.

Em relação ao modelo AP-42, Lucon (2003) ressalta que apesar dos fatores de emissão serem usados mundialmente, há diferenças entre os processos e insumos de um país para outro. Santos et al (2019) avaliaram quantitativamente as emissões atmosféricas por fontes estacionárias, como siderúrgicas e lavanderias industriais que apresentam potencial significativo de impacto na poluição do ar na cidade de Belo Horizonte-MG. Essas emissões foram quantificadas baseadas nos dados de monitoramento das chaminés, mas quando não se dispunha desses dados, o autor estimou-as com base no modelo da AP-42. Foram avaliados os poluentes NO_x , PTS, MP_{10} , $MP_{2,5}$, SO_2 , CO e COV (compostos orgânicos voláteis), e como resultado, o autor encontrou uma taxa de 305, 234, 224, 206, 180, 235 e 63 t/ano , respectivamente.

Marques (2020) em seu trabalho também utilizou do modelo para determinar as emissões dos poluentes MP, CO e NO_x em indústrias licenciadas no município de Guarapuava- PR. A autora encontrou uma carga total de $243,07 \frac{kg}{h}$ para o material particulado. Desse valor, $0,21 \frac{kg}{h}$ correspondem a uma taxa utilizando o combustível GLP; $95,49 \frac{kg}{h}$ a biomassa, $0,24 \frac{kg}{h}$ o BPF, $147 \frac{kg}{h}$ para óleo xisto e $0,02 \frac{kg}{h}$ para óleo diesel.

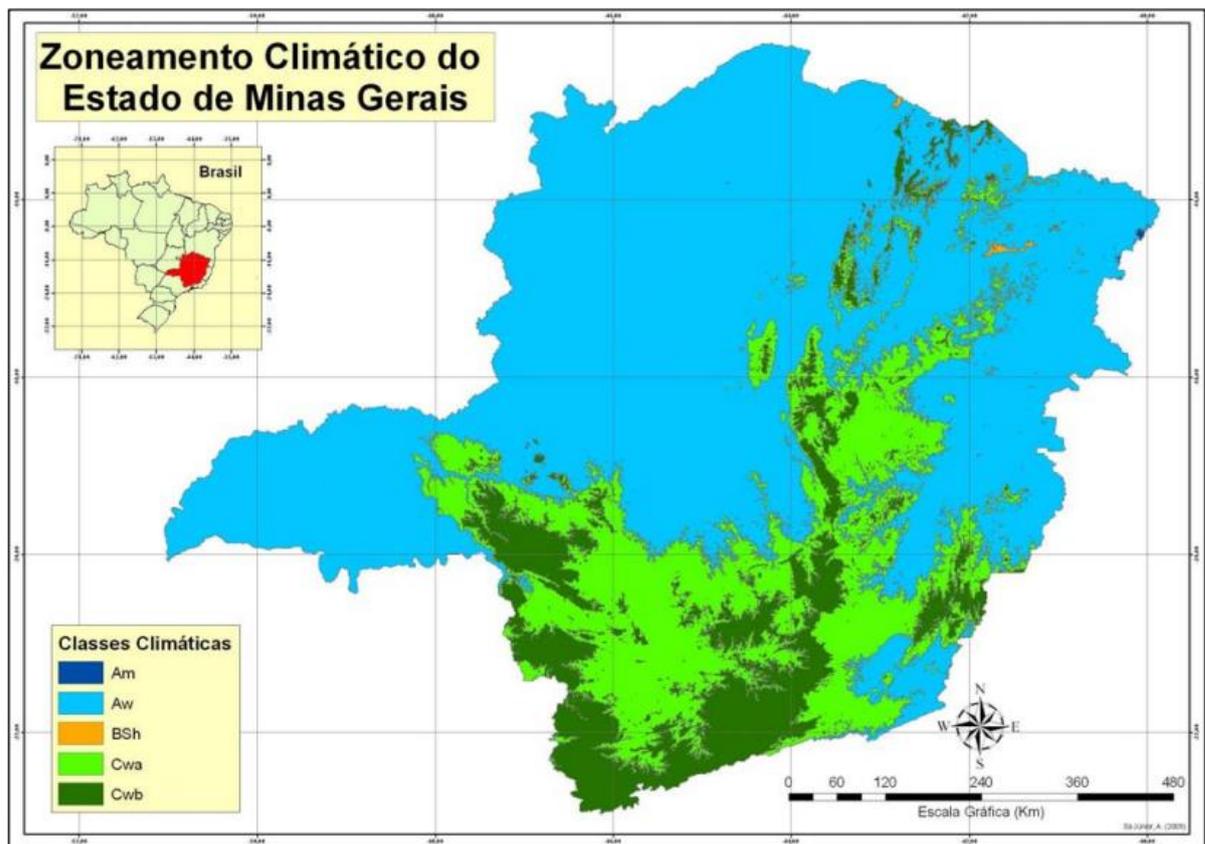
4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O estado de Minas Gerais localiza-se na região sudeste do Brasil e possui uma população estimada de 21 milhões de habitantes (IBGE, 2021). No que tange a economia, o este estado é o maior produtor de café do Brasil, contribuindo com 54% da produção nacional. A região sul do estado é responsável por cerca de 55,3% do volume total, onde é conhecida pelos cafés de qualidades, sendo produzidos em locais com topografia de montanha e de relevo acidentado (SEAPA,2020).

Quanto ao clima, na mesorregião sul, destaca-se o clima Cwb (Clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente) e Cwa (Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), que representam 56% e 43%, respectivamente, do total da mesorregião, conforme Figura 3 (SÁ JUNIOR, 2009).

Figura 3. Zoneamento climático do estado de Minas Gerais, conforme classificação climática de Köppen & Geiger (1998).



Fonte: SÁ JUNIOR (2009)

Em estudo realizada por Reboita et.al, 2015, em relação a precipitação, a região sul do estado apresentou os maiores valores anuais. Quanto à temperatura (mínima, média e máxima), essa região apresentou as menores médias, fato relacionado com a maior latitude em relação a elevação topográfica. No que se refere aos ventos, os mais intensos ocorrem na região nordeste do estado enquanto que os mais fracos, no extremo sul de Minas Gerais.

4.2 Descrição dos dados e do modelo AP-42

O modelo AP-42 é uma compilação das informações de fator de emissão da EPA. Tal modelo é desenvolvido a partir de dados de teste de origem, estudos de balanço de materiais e estimativas de engenharia. Tais dados foram organizados e divididos em capítulos de acordo com as características e tipologia da fonte, sendo regularmente atualizados. É uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de inventários de emissões seja a nível nacional, regional, estadual ou local para decisões de gestão da qualidade do ar e no desenvolvimento de estratégias de controle de emissões (EPA,1995).

O estudo em questão foi conduzido com base em características específicas de fontes emissoras do tipo indústrias de fertilizantes, situadas na região sul de Minas Gerais, denominadas de indústrias de fertilizantes X. Foram quantificadas as emissões do poluente material particulado (MP). Este pode ser dividido em $MP_{condensável}$, o qual é emitido no estado de vapor na temperatura do filtro durante a coleta, que posteriormente condensa; $MP_{filtrável}$, que são as partículas retidas pelo filtro durante amostragem e o MP_{total} , que se refere à soma do filtrável e condensável. A quantificação das emissões de material particulado pelas indústrias de fertilizantes X são baseados a partir do fator de emissão, com a seguinte expressão:

$$E = FE \times A \quad (1)$$

E = Estimativa da emissão de poluentes $\left(\frac{kg}{dia}\right)$

FE = Fator de emissão compilados pela AP-42 $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ para BPF e GLP e $\frac{kg}{j}$ para Biomassa)

A= Taxa de atividade $\left(\frac{m^3}{dia}\right)$ para GLP e BPF e $\frac{j}{kg}$ para Biomassa)

O fator de emissão é um valor representativo, o qual relaciona a quantidade de um poluente emitido para a atmosfera com uma atividade, que pode ser expressa por exemplo

pelo gasto de certo combustível em um determinado tempo. Tais fatores foram primeiramente determinados para preencher lacunas de dados em inventários de emissões. Hoje, estes fatores são utilizados para diversas atividades de poluição do ar como o estabelecimento de limites de emissão de poluentes (DRISCOLL; FRIEDMAN, 2010).

A depender da qualidade e da quantidade de informações, dos testes realizados e também da capacidade daquele determinado fator de representar a emissão média anual para uma determinada atividade, estes podem ser classificados de acordo com sua qualidade e confiabilidade (EPA,1995):

A - Excelente. O fator é desenvolvido a partir de dados de teste de fonte com classificação A e B, obtidos de muitas instalações escolhidas aleatoriamente na população da indústria. A população da categoria de fonte é suficientemente específica para minimizar a variabilidade;

B - Acima da média. O fator é desenvolvido a partir de dados de teste com classificação A ou B de um "número razoável" de instalações. Embora nenhum viés específico seja evidente, não está claro se as instalações testadas representam uma amostra aleatória da indústria. Como na classificação A, a população da categoria de fonte é suficientemente específica para minimizar a variabilidade;

C - Média. O fator é desenvolvido a partir de dados de teste com classificação A, B ou C de um número razoável de instalações. Embora nenhum viés específico seja evidente, não está claro se as instalações testadas representam uma amostra aleatória da indústria. Assim como na classificação A, a população da categoria de fonte é suficientemente específica para minimizar a variabilidade;

D - Abaixo da média. O fator é desenvolvido a partir de dados de teste com classificação A, B ou C de um pequeno número de instalações, e pode haver motivos para suspeitar que essas instalações não representam uma amostra aleatória da indústria. Também pode haver evidências de variabilidade dentro da população de origem;

E - Pobre. O fator é desenvolvido a partir de dados de teste com classificação C e D, e pode haver motivos para suspeitar que as instalações testadas não representam uma amostra aleatória da indústria. Também pode haver evidências de variabilidade dentro da população da categoria de origem.

Essa classificação representa o quão confiável é aquele determinado fator, e o quanto este representa a fonte de emissão. Além do mais, para certos tipos de fontes, os fatores de emissão são expressos com base no uso de equipamentos de controle do ar, como é o caso do fator de emissão utilizando a madeira seca como combustível. Neste caso, o fator de emissão é baseado em coletores mecânicos como ciclones e multiciclones (EPA,1995).

Com isso, as Tabelas 1, 2 e 3 a seguir demonstram os valores referentes aos fatores de emissão para os tipos de combustíveis empregados.

Tabela 1 - Fator de emissão e sua classificação para o combustível óleo combustível n°6 representado pelo óleo BPF.

COMBUSTÍVEL	FATOR DE EMISSÃO (FE) ($\frac{kg}{m^3}$)			CLASSE FE	
	MP_{cond}	MP_{filt}	MP_{total}	MP_{cond}	MP_{filt}
Óleo combustível n°6	0,18	1,1S*+0,39	$MP_{filt}+MP_{cond}$	D	B

Fonte: Adaptado de EPA (1999)

* Porcentagem de enxofre (S) presente no óleo combustível (considerado 2,2%).

Tabela 2 - Fator de emissão e sua classificação para o combustível Gás Liquefeito do Petróleo (GLP), diferenciando entre Butano e Propano.

COMBUSTÍVEL		FATOR DE EMISSÃO (FE) ($\frac{kg}{m^3}$)			CLASSE FE
		MP_{cond}	MP_{filt}	MP_{total}	
GLP	Butano	0,072	0,024	0,096	E
	Propano	0,06	0,024	0,084	E

Fonte: Adaptado de EPA (2008)

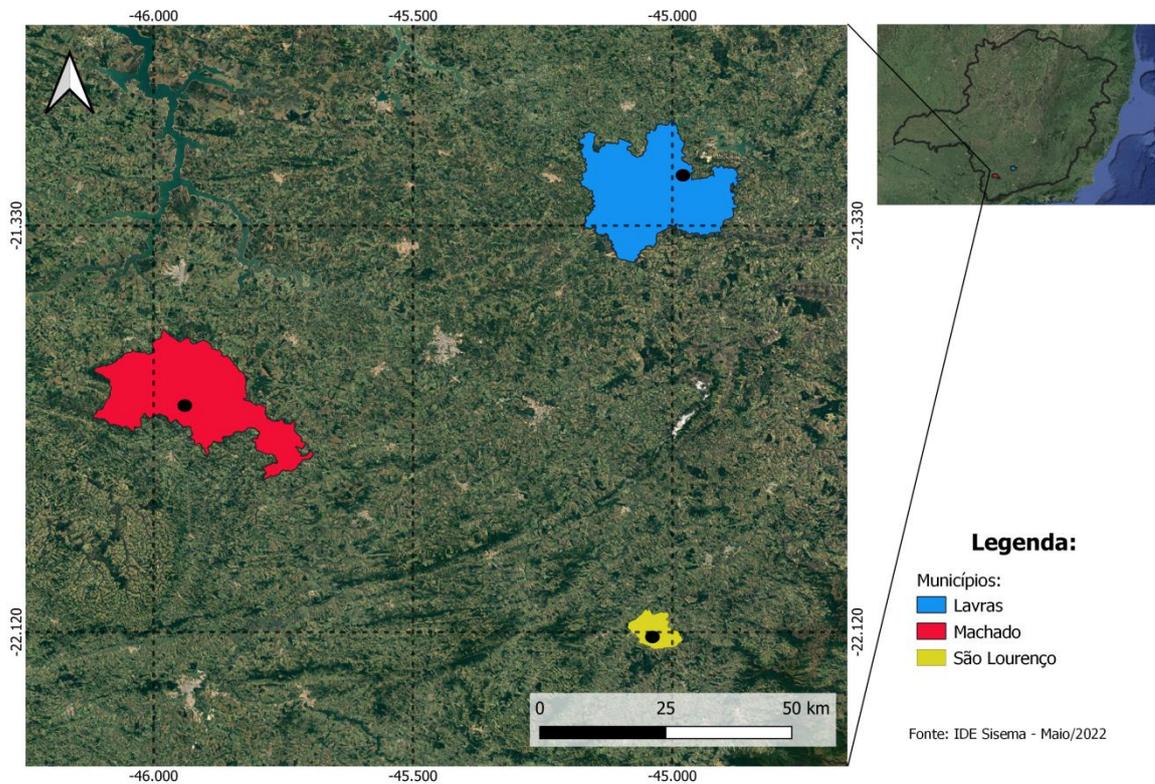
Tabela 3 - Fator de emissão e sua classificação para o combustível biomassa seca diferenciando entre sem e com controle das emissões.

COMBUSTÍVEL		FATOR DE EMISSÃO (FE) ($\frac{kg}{j}$)			CLASSE FE
		MP_{cond}	MP_{filt}	MP_{total}	
Biomassa seca	S/Controle	$0,0729 \times 10^{-10}$	$1,72 \times 10^{-10}$	$1,79 \times 10^{-10}$	A
	C/Controle	$0,0729 \times 10^{-10}$	$1,29 \times 10^{-10}$	$1,36 \times 10^{-10}$	A

Fonte: Adaptado de EPA (2022)

O estudo abrange a região do sul de Minas Gerais e, portanto, para uma melhor representação da condição atmosférica da área em questão foram utilizados os dados de três municípios mineiros Lavras, Machado e São Lourenço, escolhidos de forma aleatória. Foram utilizados dados climáticos da normal climatológica de temperatura média compensada mensal, intensidade dos ventos e precipitação acumulada mensal, pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A normal climatológica são valores médios das variáveis meteorológicas calculadas compreendendo o período de 1991 a 2020. Tais valores são baseados nas observações realizadas diariamente (BRASIL, 2022). A localização das estações meteorológicas são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Localização das estações meteorológicas nos municípios de Lavras, Machado e São Lourenço, em Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2022)

A estimativa do material particulado filtrável (MP_{filt}), condensável (MP_{cond}) e total (MP_{total}), foram realizados para fontes emissoras do tipo indústrias de fertilizantes, situadas na região sul de Minas Gerais. Para tal, foi realizada uma compilação das indústrias de fertilizantes presentes na região sul de Minas Gerais, a fim de compreender as principais características da fonte emissora, tais como os poluentes gerados no processo de produção, tipo de queimador empregado na produção e quais os combustíveis mais empregados pelas fábricas. Foram utilizados os fatores de emissão para os seguintes tipos de combustíveis: Óleo combustível nº6 (Tabela 1); Gás Liquefeito do Petróleo (Tabela 2) e Biomassa (Tabela 3).

Nas indústrias de fertilizantes X, o óleo empregado no processo produtivo apresenta 2,2% de enxofre em sua composição. Para a estimativa de emissão de material particulado utilizando este tipo de óleo combustível, foi considerado o fator correspondente ao da classe de óleo nº6, por se ter as especificações do teor de enxofre.

Com relação à taxa da atividade, esta representa o consumo de combustível no decorrer de um intervalo de tempo. Foi solicitado às indústrias o consumo médio diário dos combustíveis empregados, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo médio diário dos combustíveis BPF, GLP e Biomassa utilizado pelas indústrias de fertilizantes X.

COMBUSTÍVEL	TAXA DA ATIVIDADE
BPF	2,26 ton/dia
GLP	2,33 ton/dia
BIOMASSA	381,54 m ³ /dia

Fonte: Do autor (2022)

Devido as unidades dos fatores de emissões disponíveis, para os cálculos foi considerado o poder calorífico da biomassa utilizada e os valores de densidade dos combustíveis da GLP e BPF (Tabelas 5). Marques (2020), em seu estudo estimando as emissões de poluentes por meio do fator de emissão da AP-42, considerou uma densidade de $552 \frac{kg}{m^3}$ para os cálculos utilizando o combustível GLP e para a lenha um valor $3100 \frac{kcal}{kg}$ de poder calorífico. Portanto, para o cálculo da emissão de material particulado, foi utilizado o mesmo valor de densidade.

Tabela 5 – Valor correspondente ao poder calorífico da Biomassa e densidade dos combustíveis GLP e BPF.

COMBUSTÍVEL	CARACTERÍSTICAS	VALOR	FONTE
BIOMASSA	Poder calorífico	$3100 \frac{Kcal}{Kg}$	MARQUES (2020)
GLP	Densidade	$552 \frac{Kg}{m^3}$	MARQUES (2020)
BPF	Densidade	$850 \frac{Kg}{m^3}$	Indústrias de Fertilizantes X

Dentre os equipamentos utilizados para a combustão, não houve diferenciação no que se refere aos fatores de emissão utilizados. Portanto, para todos os tipos de combustíveis considerados neste trabalho, o equipamento em questão é a caldeira industrial. Para a indústria de fertilizantes que utiliza o óleo combustível, há diferenciação quanto a potência da caldeira a ser utilizada. Esta apresenta uma potência de 6978 kW, o que corresponde a $2,380 \times 10^7$ BTU/h sendo, portanto, classificado na categoria de Caldeiras $< 10^8$ BTU/h, conforme fator de emissão da USEPA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 6, as estimativas de emissão de poluentes baseado no modelo de fator de emissão compilados pela AP-42, para MP_{total} , MP_{filt} e MP_{cond} , considerando diferentes tipos de combustíveis como óleo lubrificante (BPF), gás liquefeito de petróleo (GLP) e biomassa, com média diária de consumo de 2,66 ton, 2,33 ton e 381,54 m^3 respectivamente em caldeiras.

Tabela 6 - Estimativa do MP_{filt} , MP_{cond} e MP_{total} emitidos pelas industriais de fertilizantes X considerando diferentes tipos de combustíveis utilizados na queima.

	$MP_{filt} (\frac{kg}{dia})$	$MP_{cond} (\frac{kg}{dia})$	$MP_{total} (\frac{kg}{dia})$
Biomassa:			
Sem controle	282,08	11,96	294,04
Com controle	211,56		223,52
GLP ¹ :			
Butano	0,10	0,30	0,4
Propano	0,10	0,25	0,35
Óleo combustível (BPF) ²	7,47	0,48	7,95

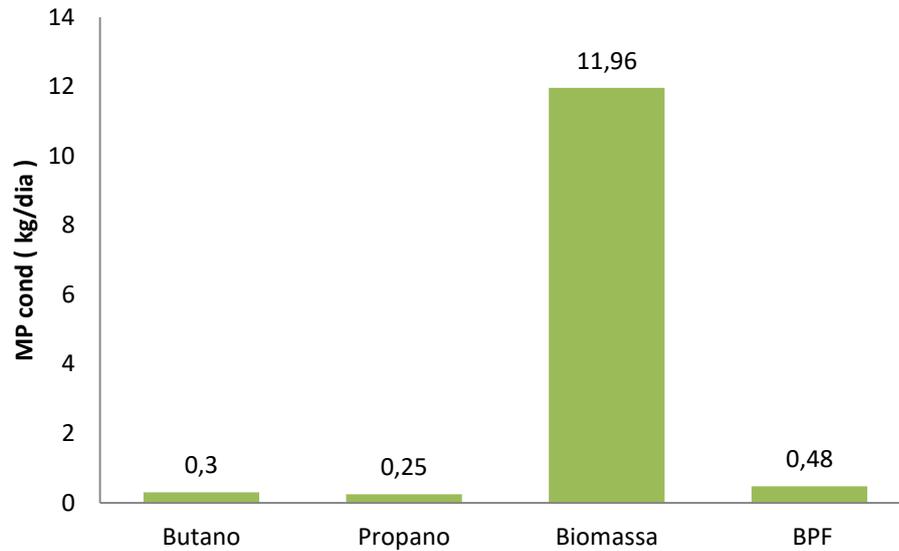
¹Volume médio diário de GLP a ser considerado nos cálculos é de $4,22 \frac{m^3}{dia}$.

²Volume médio diário de BPF a ser considerado nos cálculos é de $2,66 \frac{m^3}{dia}$.

Porcentagem de enxofre a ser considerado é de 2,2%.

Na Figura 5 são apresentados os valores correspondentes às estimativas de emissões de material particulado condensável, MP_{cond} , para os diferentes combustíveis utilizados. Vale ressaltar que neste caso não há diferenciação no que se refere à biomassa com e sem controle da emissão de poluentes.

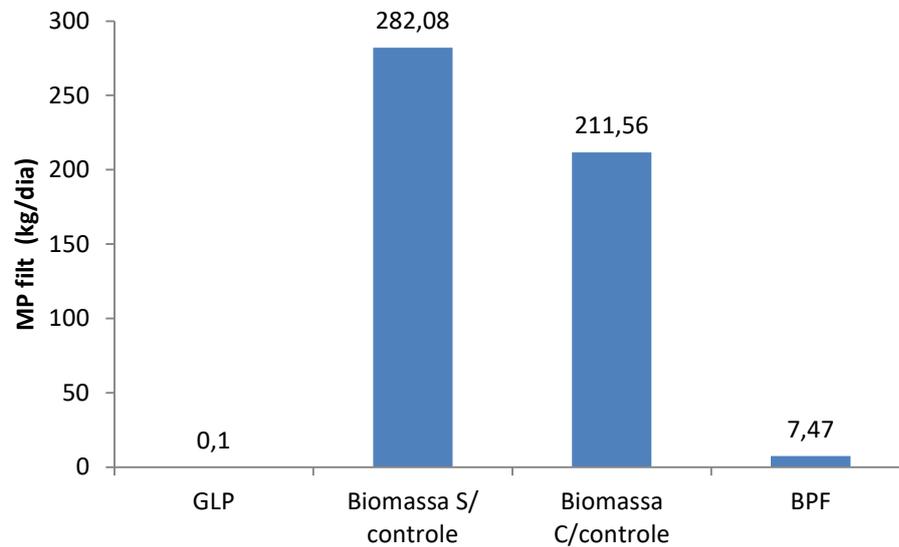
Figura 5 - Gráfico correspondente às emissões de MP condensável.



Fonte: Do autor (2022)

Já na Figura 6 são apresentados os valores para as emissões de MP_{filt} entre os diferentes combustíveis. No caso do GLP, os fatores de emissão são iguais tanto para o butano quanto para o propano.

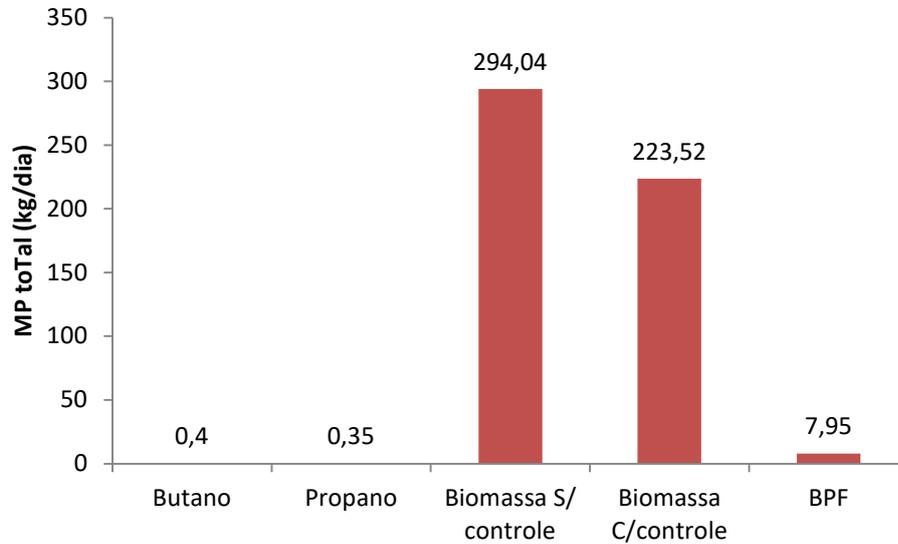
Figura 6 - Gráfico correspondente às emissões de MP filtrável.



Fonte: Do autor (2022)

Por fim, na Figura 7 encontram-se os valores referentes à soma do MP_{filt} e MP_{cond} , o que corresponde ao MP_{total} .

Figura 7 - Gráfico correspondente às emissões de MP total.



Fonte: Do autor (2022)

Com os valores das emissões de MP_j já calculados, pode-se observar que o combustível biomassa foi o que apresentou as maiores taxas de emissão. Marques (2020) em seu estudo utilizou a seguinte tabela do poder calorífico dos combustíveis.

Tabela 7 - Poder calorífico do óleo combustível, GLP e Biomassa/lenha.

COMBUSTÍVEL	PODER CALORÍFICO INFERIOR ($kcal/kg$)
ÓLEO COMBUSTÍVEL	9590
GLP	11100
BIOMASSA/LENHA	3100

Fonte: Adaptado de MARQUES (2020)

O poder calorífico expressa a quantidade de energia liberada por unidade de massa. Portanto, para fornecer uma mesma quantidade de energia é necessário uma maior parcela de biomassa em um processo. Isso explica o fato da taxa de atividade desse tipo de fonte energética ser maior e conseqüentemente os maiores valores encontrados nas emissões calculadas. De forma geral, é necessário cerca de 3x mais biomassa para fornecer a mesma quantidade de energia de um óleo combustível e/ou GLP.

Observa-se na Figura 7 que a estimativa de emissão de material particulado total (MP_{total}) utilizando a biomassa como combustível, foi o maior valor apresentado, resultando

em uma emissão de $294,04 \frac{kg}{dia}$ (Tabela 6) sem controle e $223,52 \frac{kg}{dia}$ (Tabela 6), com o controle. Marques (2020), relacionando a carga de emissão de poluentes com o tipo de combustível empregado nos empreendimentos do município de Guarapuava, também encontrou um maior valor para os combustíveis derivados de madeira. A Tabela 8 representa a comparação entre os valores encontrados utilizando o modelo AP-42 para as indústrias de fertilizantes X e os valores encontrados por Marques (2020).

Tabela 8 – Comparação entre os valores encontrados utilizando do modelo AP-42 para as indústrias de fertilizantes X e os valores encontrados por Marques (2020).

Combustível	Estimativa pelo modelo AP-42 $(\frac{kg}{dia})$	Marques (2020) $(\frac{kg}{h})$
Biomassa	294,04	95,49
GLP	0,75	0,21
BPF	7,95	0,24

Comparando as emissões entre a biomassa e o GLP, pode-se observar que a biomassa apresentou valores maiores para o MP_{filt} , MP_{total} e MP_{cond} . Souza et al (2015) avaliou a substituição de uma caldeira à lenha por uma caldeira utilizando o GLP em uma empresa que produz produtos veterinários. De acordo com seu estudo, houve uma menor emissão de partículas se comparado com o uso da lenha e de forma geral o impacto ambiental foi de 13 vezes menor. Segundo Wielgosinski, Lechtanska e Namiecinska (2017) apud Marques(2020), a biomassa apresenta elevadas emissões de poluentes, afirmando que este combustível não pode ser considerado de fato ecológico, como se acreditava. Isso explica os valores encontrados no uso dessa fonte energética. Simoneit (2002) em sua revisão verificou que a combustão produz partículas seja no uso dos combustíveis fosseis e também da queima da biomassa, que neste caso se sobrepôs as emissões de outras fontes.

Dentre os fatores de emissão, a biomassa é o que apresenta diferenciação no que se refere aos equipamentos de controle de emissão. Neste caso, o fator de emissão relacionado à parte com controle, diz respeito aos coletores mecânicos, incluindo ciclones e multiciclones. É perceptível que o uso desses equipamentos refletem na redução da emissão de material particulado. Lisboa (2007) afirma que esse tipo de equipamento é de grande uso como pré-coletores e sua eficiência aumenta com o diâmetro e a densidade da partícula, dentre outros fatores. Ressalta-se que neste caso dos cálculos a partir do fator de emissão, não foi

considerado as diferenças nos diâmetros das partículas. Segundo CETESB (2017) o uso desses coletores mecânicos propicia um controle de partículas para as caldeiras a lenha e de forma geral, são empregados dois multiciclones em série, no qual o primeiro é responsável por remover a maior parte do pó enquanto que o outro remove as partículas de menores tamanhos. A eficiência desses coletores em série oferece uma eficiência em torno de 25 a 65%, o que é considerado baixo.

Já em relação ao GLP, este foi o que apresentou as menores taxas de emissão. Segundo Amorin et al (2018), este combustível apresenta características de queima limpa, além de apresentar quantidades muito baixas de enxofre, o que confere reduzidas emissões de poluentes. Para Russomano (1987) apud Nunes e Trein (2006) a mudança de combustíveis em processos de combustão industrial, como a troca de óleos em geral (óleo BPF, óleo diesel, dentre outros) por Gás Liquefeito do Petróleo (GLP), traz vantagens ao meio ambiente, uma vez que nas queimas de combustíveis há a emissão de elementos nocivos ao ambiente.

Foi possível comparar as estimativas calculadas com o valor encontrado no monitoramento realizado pelas indústrias, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo entre a taxa emissão de MP total utilizando o modelo AP-42 e o monitoramento nas indústrias X para óleo BPF e biomassa.

	AP-42	Monitoramento
BPF	7,95 $\frac{kg}{dia}$	58,92 $\frac{kg}{dia}$
BIOMASSA	223,52 $\frac{kg}{dia}$	36,72 $\frac{kg}{dia}$

Fontes: Indústrias X

No modelo da AP-42, os fatores de emissão são baseados em estimativas estabelecidas pela EPA, sendo resultado de testes de fontes disponíveis, que em geral são de um conjunto pequeno de amostras. Dessa forma, foram estabelecidos as classes desses fatores de emissão de A a E (POULIOT et al ,2012). Como explicitado na metodologia, os fatores aqui empregados possuem classificação A, B, D e E.

Como pode ser observado na Tabela 9, os valores estimados com base no modelo AP-42 subestimou os valores encontrados utilizando o combustível BPF. Já para a biomassa, os valores encontrados pela estimativa foi maior do que o monitorado. Vale ressaltar que tais estimativas podem subestimar ou superestimar os dados. Pouliot et al. (2012) em seu estudo concluiu que os fatores de emissão com classificação A possuem um intervalo de incerteza de 25 a 62%, de 46 a 75% para os fatores com classificação B, de 60 a 82% para os classificados

em C, de 69 a 86% para os fatores com classificação D e de 82 a 92% para os fatores de emissão classificados em E.

Paulo (2020) avaliou a variação entre os dados disponíveis em monitoramento e as estimativas baseadas no modelo da AP-42 para os poluentes MP, SO_x , NO_x e CO. O autor conclui que para o poluente material particulado, este apresentou uma variação percentual média de 142,37%, sendo que dentre os poluentes avaliados, o MP e CO apresentaram uma melhor adesão dos valores estimados e medidos. Ademais, para todos os poluentes avaliados nos diversos setores industriais, os valores foram superestimados, como no caso deste estudo ao se utilizar o combustível biomassa.

As diferenças entre os dados estimados pelo uso do modelo e os dados de monitoramento, podem ocorrer por diferentes fatores. O primeiro se relaciona com as incertezas dos fatores de emissão da AP-42 (EPA,1995). Outro fator que pode levar a uma subestimação ou superestimação das emissões é a falta de informações sobre os sistemas de controle utilizados, tanto como a existência ou não de equipamentos de controle e as eficiências de remoção de partículas e poluentes gasosos (SANTOS et al,2019). Paulo (2020) também encontrou erros ao comparar os valores estimados com base no modelo AP-42 e os valores monitorados. Segundo o autor, esses erros podem estar associados às falhas nas medições, aos próprios fatores de emissão da AP-42 estarem desatualizados, às taxas de atividade apresentada nos relatórios ambientais dos empreendimentos.

No que se refere aos limites estabelecidos pela legislação, a Tabela 10 mostra os valores encontrados no monitoramento realizado pelas indústrias e o limite estabelecido pela DN COPAM 187/2013, Tabela IX – Condições e LME para poluentes atmosféricos provenientes de fontes existentes e fontes novas de indústrias de fertilizantes e de ácido fosfórico.

Tabela 10 - Comparação entre os valores amostrados pelas indústrias de fertilizantes X e os LME pela DN COPAM 187/13.

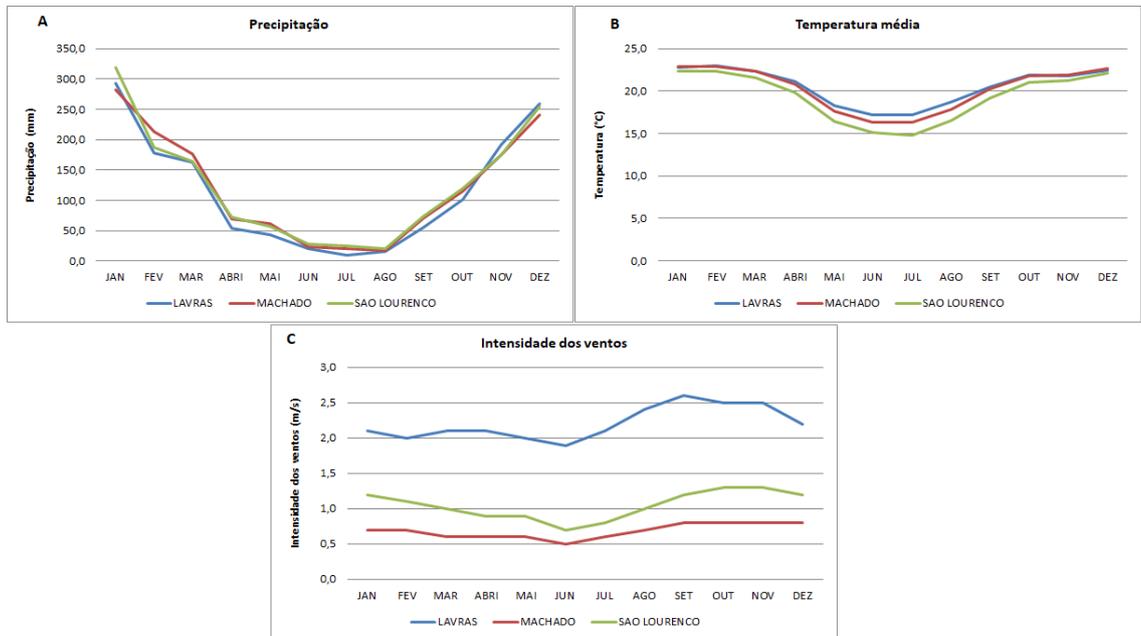
	LME – DN COPAM 187/13	
	MP_{total} (mg/Nm ³)	MP_{total} (mg/Nm ³)
INDÚSTRIAS X	88,58	75
	78,4	75

Fonte: Do autor (2022)

Assim, observa-se que as indústrias de fertilizantes X estudadas se encontram acima do limite estabelecido pela legislação. Apesar de possuírem equipamentos de controle de poluição do ar, como ciclones, filtros de manga e lavadores de gases, provavelmente este problema pode ser decorrente da falta de manutenção dos equipamentos, erros no projeto, problemas nas tubulações, limpezas, etc.

A Figura 8 apresenta os dados da normal climatológica compreendendo o período de 1991-2020 para três municípios do sul de Minas Gerais, Lavras, Machado e São Lourenço. Tais dados são referentes à precipitação acumulada mensal (A), temperatura média compensada mensal (B) e intensidade dos ventos (C).

Figura 8 - Normais climatológicas referentes ao período 1991-2020 para os parâmetros precipitação, temperatura média e intensidade dos ventos.



Fonte: Do autor segundo dados do INMET (2022).

As condições atmosféricas exercem grande influência na dispersão dos poluentes. Como mencionado, em estudo realizado por Reboita (2015), a autora concluiu que a região sul do estado apresentou os maiores valores no que se refere à precipitação. O período chuvoso compreende de outubro a março, conforme ilustra a Figura 8A, portanto esta época é favorável para a dispersão dos poluentes na atmosfera. Isso pode ser confirmado por Santos et al (2019), que em seu trabalho verificou diferenças significativas na concentração de $MP_{2,5}$ nos períodos seco e chuvoso na cidade de Belo Horizonte. A precipitação contribui para o carreamento dos poluentes, favorecendo assim na diminuição da concentração desses

compostos no ar. Wang e Ogawa (2015), também encontraram uma correlação entre as chuvas e o poluentes, sendo que no verão houve uma diminuição nessa concentração.

Santos et al (2019) também avaliou a concentração do particulado no que se refere a temperatura. Esse parâmetro esta relacionado com a precipitação, uma vez que interfere nas ocorrências das chuvas no decorrer do ano. A Figura 8B demonstra que há um aumento da temperatura nos meses onde há as maiores precipitações. Portanto, quanto maior a temperatura, menor será a concentração dos poluentes no ar, sendo este um fator que se relaciona de forma indiretamente.

Por fim, outro fator associado à dispersão, é a velocidade dos ventos (Figura 8C). É possível observar que a intensidade dos ventos é maior no período entre agosto-setembro. Wang e Ogawa (2015) observaram que altas velocidades do vento, ou seja, maiores que 3 m/s, são responsáveis pelo transporte dos poluentes. Segundo Reboita (2015), os ventos mais fortes (3 m/s) ocorrem no nordeste do estado, enquanto que no sul de MG há predominância de ventos mais fracos (1 m/s). No caso da região sul mineira, a maior intensidade encontrada foi na faixa dos 2,5 m/s.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou as emissões de material particulado variando o tipo de combustível empregado nas indústrias de fertilizantes, através do uso dos fatores de emissão da AP 42. Analisando os resultados é possível concluir que a biomassa foi o que apresentou as maiores taxas de emissões, seguida do BPF e por último o GLP.

Dentre os combustíveis empregados neste estudo, o GLP foi o que apresentou as menores taxas de emissão. Este gás está crescendo como alternativa para muitas aplicações pelo fato de apresentar uma queima limpa. A biomassa é outro tipo de fonte energética bastante empregada por ter um custo relativamente baixo, mas pelos resultados, esse combustível não é a melhor alternativa quando se relaciona com os poluentes emitidos ao ar.

A comparação entre os dados estimados e os amostrados pelas indústrias apresentaram erros associados, sendo que os valores foram subestimados para o óleo BPF e superestimados para a biomassa. Apesar das variações apresentadas entre os dados estimados e os monitorados pelas indústrias, o uso do modelo da AP-42 se mostra um método alternativo quando não se tem um monitoramento contínuo de emissões atmosféricas. Os fatores de emissão são valores médios de uma dada amostragem e são utilizados de forma frequente por

ser considerado uma metodologia rápida, simples e de baixo custo (DRISCOLL, FRIEDMAN, 2010).

Quanto à dinâmica atmosférica é comprovado que esta interfere na concentração dos poluentes. A região sul apresenta um regime de chuvas no período de outubro a março, o que contribui para a dispersão desses contaminantes. De forma relacionada, tem-se a temperatura média, que apresentou maiores valores no período chuvoso. Por fim, a intensidade dos ventos foi outro fator avaliado e a região sul do estado é caracterizada por apresentar ventos fracos.

7. REFERENCIAS

AL., Guimarães E. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Elsevier, Grupo GEN, 2016. 9788595154438. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154438/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca. Análise da vulnerabilidade socioambiental em Cubatão-SP por meio da integração de dados sociodemográficos e ambientais em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, p. 349-366, 2013.

AMORIN, R.; BRONI-BEDIAKO, E.; WORÇANYO, D.; KONADU, S. A. The Use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) as a Fuel for Commercial Vehicles in Ghana: A Case Study at Tema Community 1. *Current Journal of Applied Science and Technology*, v. 9, n. 2, 2018.

ANDRADE, José Eduardo Pessoa de et al. **A indústria de fertilizantes**. 1995.

ARBEX, Marcos Abdo et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, p. 643-655, 2012.

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

BRAGA, Alfesi; BÖHM, György Miklós; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; SALDIVA, Paulo. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT- Estatísticas do Comércio Exterior da Brasileiro Agronegócio: indicadores gerais Agrostat, 2022. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 17 fev 2022

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Normais climatológicas do Brasil 1991-2020. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 12 de abril 2022.

BRITO, GFS SODRÉ; ALMEIDA, F. F.; FV, O. Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 05, p. 1335-1354, 2018.

BRITO, Paulo Henrique Ferreira; ARAÚJO, Rinaldo dos Santos; SILVA, Glória Maria Marinho. Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura. **HOLOS**, Ano 34, V.03, 2018.

CAMARA, V. F. LISBOA, H. M. HOINASKI, L. DAVID, P. C. Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina, Brasil. **Cerâmica**, v. 61, p. 213-218, 2015.

CAMPOS, Jefferson de Matos. **Poluição industrial e saúde humana: limitações e potencialidade do uso de bancos de dados públicos em pesquisas empíricas**. 2019. Tese de Doutorado.

CARVALHO JUNIOR, Valdenor Nilo de. Deposição atmosférica e composição química da água de chuva. **Revista Tecnologia**, v. 25, n. 2, 2004.

CARVALHO, L. B. **Estudo de localização de fábricas misturadoras de adubo na região Centro-Oeste brasileira utilizando um modelo de programação linear**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharias de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 106 p., 2009.

CAVALCANTI, Paulina Maria Porto Silva. Modelo de gestão da qualidade do ar – abordagem preventiva e corretiva. **Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE**, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) – Capítulo 2, fontes de combustão. Secretaria de Meio Ambiente 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD). São Paulo, 2017.

COSTA, Cleyton Eduardo et al. Chuva ácida: estudo de caso na região metropolitana de Belém/PA. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v 4, 2016.

DA SILVA, Maurício.; MARASCHIN, Andrei de azambuja .; BISPAR, Camila Geisler; DA SILVA, Lauane Gonçalves Cordeiro; NOAL, Tatiana Nardon. Análise das consequências ambientais da industrialização em grande escala. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 1, 14 fev. 2020.

DAPPER, Steffani Nikoli; SPOHR, Caroline; ZANINI, Roselaine Ruviaro. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 83-97, 2016.

DIAS, Victor Pina; FERNANDES, Eduardo. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

DORIGON, Larissa Piffer; CARDOSO, Renata dos Santos. Análise do fluxo de vento e seu papel na dispersão de poluentes em Presidente Prudente-SP. **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 95-108, 2015.

DRISCOLL, T. A.; FRIEDMAN, B. Improving EPA's Emissions Factors Program. 2010.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources - Chapter 1: External Combustion Sources. Introduction to External Combustion Sources. 5th Edition, USEPA, 1995.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources - Chapter 1: External Combustion Sources. Fuel oil combustion. 5th Edition, USEPA, 1999.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources - Chapter 1: External Combustion Sources. Liquefied Petroleum Gas Combustion;. 5th Edition, USEPA, 2008.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources - Chapter 1: External Combustion Sources. Wood Residue Combustion in Boilers;. 5th Edition, USEPA, 2022.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo; CASTILHOS, Zuleica Carmem. **Agrominerais para o Brasil**. CETEM/MCT, 2010. Capítulo 6, p.119-120.

FLUES, M. et al. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 14, p. 2397-2404, 2002.

FONTANA, Raphael Luiz Macêdo et al. Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo. **Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE**, v. 2, n. 3, p. 113-124, 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Emissão de fontes fixas**. c2015. Disponível em: <http://www.feam.br/qualidade-do-ar/emissao-de-fontes-fixas>. Acesso em: 16 fev. 2022.

GARCIA, Marina Reback Domingues et al. **Influência das fábricas de fertilizantes na composição das águas da chuva e subterrânea (Rio Grande, RS)**, NOTAS TÉCN. FACIMAR, 4: 29-35, 2000.

GONÇALVES, Fábio Luiz Teixeira; MASSAMBANI, Oswaldo. Uma análise do coeficiente de remoção de poluentes em função do espectro de gotas de chuva em diferentes localidades no Brasil e Alemanha. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1027-1033, 2010.

GUARIEIRO, Lilian LN; VASCONCELLOS, Perola C.; SOLCI, Maria Cristina. Air Pollutants from the burning of fossil fuels and biofuels: A brief review. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação, 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock&utm_campaign=novo_popclock. Acesso em: 06 mar.2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Programa de controle de emissões veiculares, 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em: 16 fev.2022.

JÚNIOR, Eudes Neiva; FRANÇA, André Cabral; PORTO, Douglas William Batista; MACHADO, Caroline Maira Miranda; SARDINHA, Levy Tadin; FRANCO, Miguel Henrique Rosa. **Fertilizante organomineral para crescimento de mudas e plantas jovens de café arábica**, 2018.

KALKUHL, Matthias; WENZ, Leonie. The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 103, p. 102360, 2020.

LINS, Eduardo Antonio Maia et al. Análise da qualidade da água de chuva e simulação de possíveis impactos ambientais em laboratório: estudo de caso. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 439-448, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0034>. Acesso em: 08 de abr 2022.

LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da poluição atmosférica**. Controle da Poluição Atmosférica – Cap. 2 – ENS/UFSC, 2014.

LISBOA, Henrique de Melo. **Metodologia de controle da poluição atmosférica**. Controle da Poluição Atmosférica – ENS/UFSC. Montreal, 2007.

LUCON, Oswaldo Dos Santos. **Modelo Horus Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Queima de Combustíveis em Indústrias no Estado de São Paulo**. 2003. Tese de Doutorado. Doctoral Dissertation, Universidade de São Paulo.

MARQUES, Clara Gabrieli Peres. **Emissões atmosféricas de monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio: um estudo de caso em indústrias licenciadas instaladas em Guarapuava-PR.** Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Curitiba, 114 p.,2020.

MATTEI, Taíse Fátima; DA CUNHA, Marina Silva. Emissão de gases do efeito estufa no Brasil: análise de curto e longo prazo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 1-19, 2021.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista brasileira de climatologia**, v. 3, 2008.

MOREIRA, Davidson Martins; TIRABASSI, Tiziano; MORAES, Marcelo Romero de. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008.

NAÇÕES UNIDAS. Centro de Imprensa. Notícias. **Novas diretrizes da OMS sobre qualidade do ar reduzem valores seguros para poluição.** Brasília, DF: Casa ONU Brasil, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/145721-novas-diretrizes-da-oms-sobre-qualidade-do-ar-reduzem-valores-seguros-para-poluicao>. Acesso em: 28 abr de 2022.

NICOLELLA, Alexandre Chibebe; DRAGONE, Diogo S.; BACHA, Carlos José Caetano. Determinantes da demanda de fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2002. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 1, p. 81-100, 2005.

NUNES, Fabiano de Lima ; TREIN, Fabiano André. Vantagens do Uso do GLP como Combustível Em Fornos de Aquecimento para a Conformação à Quente de Metais: uma Contribuição ao Desenvolvimento Regional. **GESTÃO E DESENVOLVIMENTO**, v. 3, n. 1, p. 111-118, 2006.

OGINO, Cristiane Mitie et al. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de; PIMENTEL, Luiz Cláudio Gomes; LANDAU, Luiz. Critérios de estabilidade atmosférica para a região da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 270-285, 2010.

OLIVEIRA, Juliana Gracietti; SILVA, Marlon Luiz Neves; QUAST, Leda Battestin. Controle de emissão de material particulado em sistemas de britagem. 2014.

PAULO, Kelvin Duenhas de. **Estimativas de Emissões industriais no estado de Santa Catarina.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 127 p., 2020.

PIRES, Dilson Ojeda. Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2005.

POULIOT, George et al - Quantification of emission factor uncertainty. Journal of the Air and Waste Management Association, 2012.

QUIRINO, Waldir Ferreira et al. Densimetria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. Scientia Forestalis, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

RABELO, Kassia Cristina Caldas. **Fertilizantes organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)– Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

REBOITA, Michelle Simões et al. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

REBOITA, Michelle Simões et al. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.

RIBEIRO, Elizene Veloso; HORN, Adolf Heinrich; TRINDADE, Wallace Magalhães. Comportamento do vento e aspectos geomórficos que condicionam a movimentação da pluma de poluentes atmosféricos do distrito industrial de Pirapora-MG. **GEOgraphia**, v. 22, n. 48, 2020.

RICHETTI, Priscila. Tendências da produção de fertilizantes no Brasil. Revista Cultivar. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/tendencias-da-producao-de-fertilizantes-no-brasil>. Acesso em : 16 fev 2022.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da Classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, 2009.

SANTINI, Lara Piluski. **Simulação das Emissões Atmosféricas de uma Lavra de Minério Utilizando o AERMOD**. 2019.

SANTOS, Camila Fernanda Rocha Teles Tanzillo et al. Fatores de Emissão Atmosférica e Análise de Significância aplicada na Gestão da Qualidade do Ar no campus do IPEN/CNEN-SP. **Encontro internacional sobre gestão empresarial do meio ambiente (ENGEMA)**, 2016.

SANTOS, Fábio S et al. Regulated air pollutant emissions from higher emitters stationary sources in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 36, Nº 02, pp 75, Minas Gerais, 2019.

SANTOS, Fábio Soares dos et al. Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP 2, 5) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 371-381, 2019.

SCHWARTZAAPT, Bianca; TRINDADE, Tamara Vigolo. Inventário de emissões de gases de efeito estufa em uma indústria de fertilizantes. **Memorial TCC Caderno da Graduação**, v. 2, n. 1, p. 151-164, 2016.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balanço do Agronegócio de Minas Gerais. Seapa: Belo Horizonte, 2020. 50 p.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS (BRASIL). Produção Nacional de Fertilizantes: Estudo Estratégico, 2020.

SIMONEIT, B. Biomass burning-A review of organic tracers for smoke from incomplete combustion. *Appl. Geochem.* v. 17, p.129-162, 2002

SOUZA, Silvio Mauricio de; SILVA, Cristina Silveira da; NETO, Geraldo Cardoso de Oliveira; BAPTISTA, Elesandro Antonio. Substituição da caldeira à lenha pela caldeira a gás como prática de produção mais limpa: um estudo de caso em uma empresa fabricante de produtos veterinários. **XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**, Fortaleza, CE, Brasil, 2015.

TEIXEIRA, Moacir José. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020. XII FATECLOG – Gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: Desafios e oportunidades no contexto atual. 2021.

TEIXEIRA, Pedro Paulo de Carvalho. Mapeamento das unidades misturadoras de fertilizantes no estado no estado de Minas Gerais. **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo**, 2010.

TEIXEIRA, Welldy Gonçalves. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral**. 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia.

VORMITTAG, Evangelina da Motta et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 7-30, 2021.

WANG, Jianhua; OGAWA, S Susumu. Effects of meteorological conditions on PM2.5 concentrations in Nagasaki, Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 12, n. 8, p. 9089-9101. 2015.