

CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NA MINERAÇÃO DE TERRAS RARAS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IV-008>

Nelson Bolotari Junior (*), Henrique Savaget Chaves Silva, Thiago Augusto Dias Viana, Anderson Simões, Lara Ribeiro de Souza

* Serra Verde Pesquisa e Mineração - nelson.bolotari@svpm.com.br

RESUMO

Uma temática importante da gestão ambiental na área industrial é o controle das emissões de material particulado, sendo a caracterização e estimativa dessas emissões fundamentais para avaliação de impacto na qualidade do ar local. Uma das formas de realizar essa estimativa é por meio dos fatores de emissão. Este estudo teve como objetivo caracterizar os fatores de emissão de particulados em atividades de mineração de terras raras de uma mineradora situada no norte de Goiás - GO, dado a ausência dessas informações específicas. Foram realizados monitoramentos em campo, com o uso de equipamentos apropriados, para medir as emissões de materiais particulados (PTS, PM10 e PM2,5). Os fatores de emissão foram determinados para diferentes atividades e comparados com os valores de referência da literatura em atividades similares. As emissões medidas apresentaram variações significativas, refletindo as condições específicas da operação e destacando a importância de medições locais para a formulação de estratégias eficazes de controle ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Fatores de Emissão, Emissão Atmosférica, Terras Raras

INTRODUÇÃO

Um aspecto crucial na gestão ambiental em áreas de mineração a céu aberto é o controle das emissões de material particulado geradas pelas diversas atividades do processo de extração. No contexto da mineração, a caracterização e a estimativa dessas emissões são etapas fundamentais para avaliar o impacto potencial na qualidade do ar local, permitindo determinar o nível de emissão atmosférica associado às atividades planejadas (TRIANTAFYLLOU ET AL, 2021).

Os fatores de emissão são ferramentas essenciais para estimar as emissões de materiais particulados atmosféricos, expressos como a quantidade de poluente liberada por unidade de atividade. Tais fatores facilitam a estimativa das emissões provenientes de diversas fontes de poluição atmosférica. Na maioria dos casos, estes fatores são simplesmente médias de todos os dados disponíveis de qualidade aceitável e são geralmente considerados representativos das médias de longo prazo para todas as instalações na categoria de fonte (US EPA, 1995).

Os fatores de emissão representam uma das técnicas mais eficazes para estimar as emissões atmosféricas de uma atividade industrial (LYRA; TOMAZ, 2006). No entanto, no caso das atividades de mineração de terras raras, esses fatores ainda não estão disponíveis.

Este trabalho visa preencher essa lacuna, oferecendo uma base sólida para o cálculo das emissões, possibilitando uma estimativa mais precisa e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais assertivas nos controles das emissões atmosféricas.

OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo realizar o levantamento em campo dos fatores de emissão das atividades de uma mineração de Terras Raras, situada no norte de Goiás.

METODOLOGIA

Área de estudo

O complexo de atividades da Serra Verde Pesquisa e Mineração – SVPM localiza-se no norte do Estado de Goiás, com áreas de pesquisas situadas nos municípios de Minaçu, Trombas e Montividiu do Norte, ficando a base principal em

Minaçu, a 490 km de distância da capital Brasília e a 505 km de Goiânia. A área de estudo está compreendida entre as coordenadas UTM 725.000 e 800.000 Leste, e 8.495.000 e 8.575.000 Sul. A Figura 1 apresenta a localização da SVPM.

Dados

Para a definição dos fatores de emissão das atividades envolvidas na mineração de Terras Raras utilizou-se a seguinte metodologia:

1. Determinação dos parâmetros a serem avaliados;
2. Determinação das atividades e das tipologias envolvidas;
3. Monitoramento em campo com equipamentos específicos.

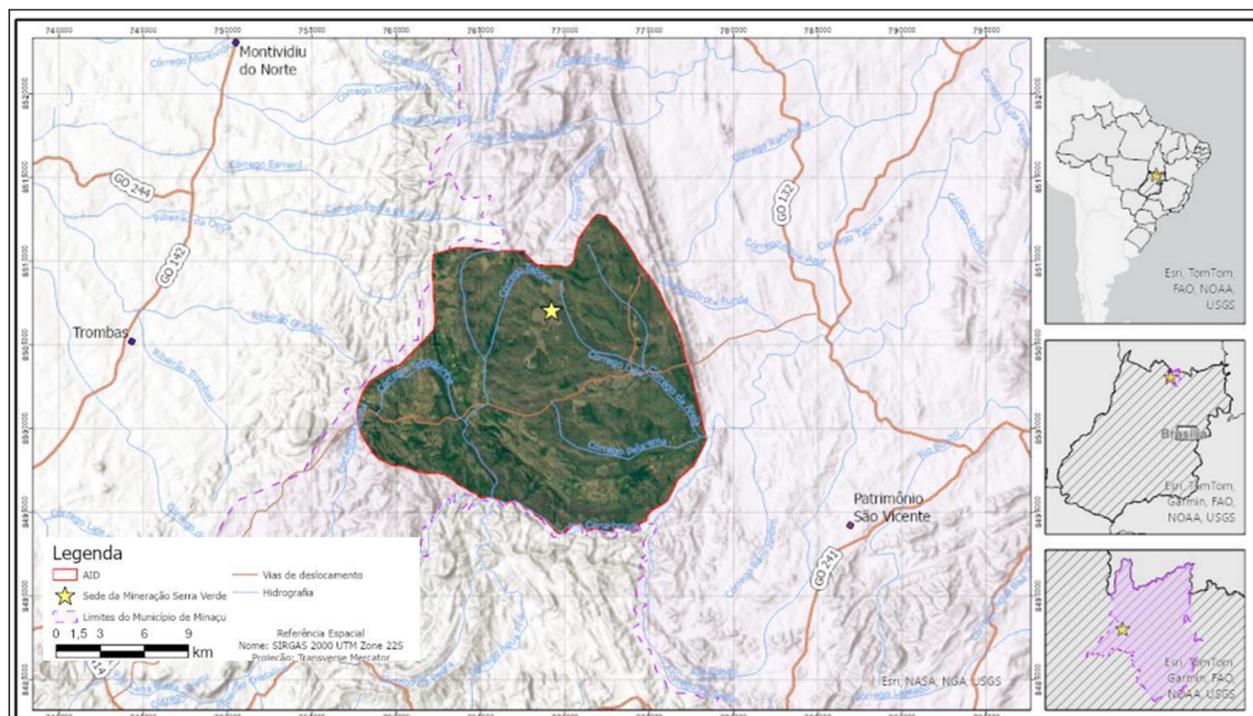


Figura 1 – Localização da Serra Verde Pesquisa e Mineração - SVPM Fonte: Autor

O método de monitoramento empregado foi o de perfis de exposição (fluxo horizontal), o qual envolveu a medição de emissões fugitivas de material particulado na seção transversal da pluma de poeira oriunda de uma fonte aberta. Esse processo foi realizado utilizando amostradores de poeira fixados, localizados antes e depois da fonte emissora.

Um equipamento foi colocado de modo a monitorar a poeira emitida na direção sotavento, enquanto um equipamento foi posicionado para monitorar a poeira que chega até a fonte na direção barlavento, para verificação do “background” (emissão proveniente de outras fontes). Cada instrumento foi equipado com sensores de direção e velocidade do vento, conforme indicado pela metodologia adotada.

Instituições internacionais, como o Desert Research Institute (DRI), o Western Regional Air Partnership (WRAP), a Countess Environmental e o Midwest Research Institute (MRI), relataram a eficácia das medições no fluxo horizontal de emissões como a abordagem mais adequada para quantificar emissões desse tipo de fonte. As emissões foram monitoradas utilizando monitores homologados por agências ambientais de renome, como a Comissão Europeia do Ambiente e a Agência Ambiental Norte-Americana (US EPA). Entre os equipamentos utilizados, destaca-se o DustMate da Turnkey Instruments, conforme figura 2 abaixo (MRI, 2006).

Esse dispositivo emprega o método "light scatter" para medir, em tempo real, as concentrações de partículas na atmosfera. Além disso, o DustMate permite a coleta simultânea das partículas amostradas em filtros, possibilitando também a avaliação das concentrações pelo método gravimétrico. (TURNKEY INSTRUMENTS, 2024).



Figura 2 - Monitor DustMate. Fonte: TURNKEY INSTRUMENTS, 2024

Essa abordagem combinada oferece uma medição precisa e confiável das emissões atmosféricas, garantindo conformidade com os padrões internacionais de monitoramento ambiental e permitindo uma análise abrangente das partículas em suspensão.

Um esquema de integração numérica é necessário para calcular a taxa de emissão, e assim determinar os fatores de emissão para cada tipo de fonte. A Equação 1 representa a integração da distribuição espacial do fluxo de massa (perfil de exposição), a partir das concentrações e velocidades do vento medidas (US EPA, 2013):

$$R = \int_A C(h,w)u(h,w)dhdw \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

R = taxa de emissão [g/s];

C = concentração total amostrada [g/m³];

u = velocidade do vento [m/s];

h = coordenada da distância vertical [m];

w = coordenada da distância horizontal [m];

A = área transversal efetiva da pluma [m²].

RESULTADOS

Foram definidos os seguintes parâmetros para a caracterização de fatores de emissão das atividades de mineração de Terras Raras, conforme tabela 1:

Tabela 1. Parâmetros definidos para caracterização dos fatores de emissão. Fonte: Adaptado de CETESB (2021) e CONAMA (2024)

Parâmetros Atmosféricos	Definições
Material Particulado Total (MPT)	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros. Uma fração dessas partículas é inalável, o que pode representar riscos à saúde humana. Outra fração pode impactar negativamente a qualidade de vida da população ao comprometer as condições estéticas do ambiente e interferir nas atividades cotidianas da comunidade.
Material Particulado (PM10)	As partículas podem ser definidas de forma simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho dentro dessa faixa, essas partículas podem ser retidas nas vias respiratórias superiores ou penetrar mais profundamente no sistema respiratório, atingindo os alvéolos pulmonares. A capacidade dessas partículas de alcançar diferentes regiões do trato respiratório está diretamente relacionada ao seu tamanho, o que determina seu potencial de causar impactos adversos à saúde.
Material Particulado (PM2,5)	As partículas podem ser definidas de forma simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 µm. Devido ao seu tamanho diminuto, essas partículas conseguem penetrar profundamente no sistema respiratório, chegando até os alvéolos pulmonares. Essa capacidade de atingir as partes mais internas do sistema respiratório aumenta significativamente o potencial de impactos adversos à saúde.

Em relação ao levantamento das atividades monitoradas e suas tipologias, tem-se representado na tabela 2:

Tabela 2. Atividades caracterizadas e suas tipologias. Fonte: Autor

Atividades	PESO (w)
Movimentações	Transferências de materiais – escavação e carregamento de estéril
	Transferência de materiais – escavação e carregamento de minério
	Transferências de materiais – carga e descarga nos peneiramentos
	Transferência de materiais – basculamento de minério no chão
Vias de Tráfego	Área de Estéril
	Área de Mina
	Vias de acessos não pavimentadas
	Vias de acessos pavimentadas

Com base nos cálculos realizados conforme descrito na metodologia, foram determinados os seguintes fatores de emissão, apresentados na tabela 3 a seguir. Esses resultados refletem as condições específicas da operação e os parâmetros monitorados.

Tabela 3. Fatores de emissões por tipologia de atividades. Fonte: Autor

Atividades	Tipologia Emissora	Fator de Emissão		
		MPT	MP ₁₀	MP _{2.5}
Movimentações [kg/t]	Transferências de materiais - escavação e carregamento de estéril	4,06E-04	2,31E-04	9,19E-06
	Transferências de materiais - escavação e carregamento de minério	7,75E-04	6,11E-04	2,22E-05
	Transferências de materiais – carga e descarga no peneiramento	7,32E-04	5,26E-04	9,81E-06
	Transferências de materiais – basculamento de minério no chão	2,25E-04	1,67E-04	8,19E-06
Vias de tráfego [kg/(m*veículo)]	Área de estéril – sem controle	2,24E-04	1,95E-04	3,65E-06
	Área de estéril – com controle	8,98E-05	6,21E-05	2,44E-06
	Área de estéril – médio	1,57E-04	1,28E-04	3,05E-06
	Área de mina – sem controle	1,10E-03	8,87E-04	3,10E-05
	Área de mina – com controle	1,36E-04	1,23E-04	2,05E-06
	Área de mina – médio	6,17E-04	5,05E-04	1,65E-05
	Via de acesso não pavimentada – sem controle	6,66E-05	2,82E-05	7,07E-07
	Via de acesso não pavimentada – com controle	2,71E-05	1,01E-05	4,04E-07
	Via de acesso não pavimentada – médio	4,69E-05	1,92E-05	5,55E-07
Via de acesso pavimentada	4,21E-05	1,66E-05	1,24E-06	

CONCLUSÕES

Este estudo caracterizou os fatores de emissão de material particulado associados às atividades de uma mineradora de terras raras, fornecendo uma base sólida para a compreensão das emissões geradas por esse setor específico. Os fatores de emissão determinados ao longo da pesquisa são fundamentais para a elaboração de um inventário de emissões, o qual se apresenta como o próximo passo essencial. Tal inventário permitirá uma gestão ambiental mais eficaz, facilitando a tomada de decisões informadas e o desenvolvimento de estratégias de controle de emissões.

Ao comparar os fatores de emissão obtidos com os valores de referência da literatura, especialmente com os estabelecidos pela US EPA-42, conforme apresentado na tabela 4, verificou-se que os dados medidos em campo apresentaram diferenças significativas em relação às estimativas internacionais.

Essas variações, atribuídas às condições específicas do processo e às características únicas do local de estudo, ressaltam a importância do monitoramento em campo para assegurar maior precisão nos próximos trabalhos de inventário de emissões e para adaptar as diretrizes globais às realidades locais, promovendo uma gestão ambiental mais eficaz.

Tabela 4. Comparativo dos fatores de emissão: Literatura x Monitorado. Fonte: Autor

Tipologias	Comparativo dos fatores de emissão: Literatura x Monitorado em campo					
	Literatura	Monitorado	Literatura	Monitorado	Literatura	Monitorado
	MPT		MP10		MP2,5	
Vias de Tráfego [kg/(m*veículo)]	1,01E-03	2,16E-04(*)	2,88E-04	1,67E-04	2,90E-05	5,33E-06
Escavação – minério [kg/t]	1,36E-03	7,75E-04	2,63E-04	6,11E-04	1,43E-04	2,22E-05
Escavação – estéril [kg/t]	1,04E-03	4,06E-04	1,89E-04	2,31E-04	1,10E-04	9,19E-06
Transferências de Materiais – minério [kg/t]	2,09E-07	7,75E-04	9,87E-08	6,11E-04	1,49E-08	2,22E-05
Transferências de Materiais – estéril [kg/t]	2,09E-07	4,06E-04	9,87E-08	2,31E-04	1,49E-08	9,19E-06
Transferências de Materiais - carga e descarga no peneiramento [kg/t]	1,18E-06	7,32E-04	5,58E-07	5,26E-04	8,45E-08	9,81E-06
Transferências de Materiais - basculamento de minério no chão [kg/t]	2,09E-07	2,25E-04	9,87E-08	1,67E-04	1,49E-08	8,19E-06

(*) dados médios

Por fim, o levantamento dos fatores de emissão realizado neste trabalho não só contribui para a ciência ambiental, mas também fornece subsídio importante para a continuidade das ações de monitoramento e controle das emissões de material particulado em operações de mineração de terras raras. A criação de um inventário de emissões, recomendada como etapa subsequente, se configurará como um instrumento indispensável para a gestão ambiental responsável e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução N° 506, de 05 de julho de 2024**. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Publicada no Diário Oficial da União em 09/07/2024; 2024, Brasília, DF. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827>
2. Companhia Ambiental do Estado De São Paulo (CETESB). **Poluentes**. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4408426/mod_resource/content/0/Invent%3%A1rio%20de%20emissoes%20atmosfericas%20na%20Regi%3%A3o%20Metropolitana%20de%20Salvador.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=Material%20Particulado%20(MP)%2C%20Part%3%ADculas,)%20e%20Fuma%3%A7a%20(FMC)>>.
3. Lyra, D. G. P.; Tomaz, E. Inventário das emissões atmosféricas da Região Metropolitana de Salvador. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006. Disponível em: <
4. MRI - Midwest Research Institute. **Background Document for Revisions to Fine Fraction Ratios Used for AP-42 Fugitive Dust Emission Factors**. Prepared for Western Governors' Association Western Regional Air Partnership (WRAP). Retrieved from EPA website. 2006. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/background_document_for_revisions_to_fine_fraction_ratios_used_for_ap42_fugitive_dust_emission.pdf>
5. Triantafyllou, A.; Kapageridis, I.; Gkaras, S.; Pavloudakis, F. **Development of Emission Factor Equations for Surface Mining Activities: The Case of the Stacker**. Mater. Proc. 2021, 5, 15. <https://doi.org/10.3390/materproc2021005015>
6. Turnkey Instruments, Ltd. **DustMate Operating Instructions. Manual**, 2024. Disponível em <<https://turnkey-instruments.com/wp-content/uploads/2016/11/DustMate-Operating-Instructions.pdf>>
7. US EPA. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. **AP-42: Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume I: Stationary Point and area sources**. Introduction. 1995. Disponível em:< AP42 Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol. 1 Stationary Point and Area Source (epa.gov)>

8. US EPA. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. **Other Test Method – 32: Determination of Emissions from Open Sources by Plume Profiling.** 2013 Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnemc01/prelim/otm32.pdf>>.