



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



Utilização de supressor de poeira à base de resinas vegetais como alternativa ao uso de água para fins de umectação de vias de transporte de minério

GERALDO SOUSA DOS SANTOS JÚNIOR

**Ouro Preto – MG
2023**

GERALDO SOUSA DOS SANTOS JÚNIOR

Utilização de supressor de poeira à base de resinas vegetais como alternativa ao uso de água para fins de umectação de vias de transporte de minério

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para obtenção do título de Bacharel De Engenharia de Minas.

Professor orientador: Dr. Hernani Mota de Lima

OURO PRETO – MG

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA
MINERAL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Geraldo Sousa dos Santos Júnior

Utilização de supressor de poeira à base de resinas como alternativa ao uso de água para fins de umectação de vias de transporte de minério

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 27 de março de 2023

Membros da banca

PhD - Hernani Mota de Lima - Orientador (UFOP)
Dr. - Felipe Souza Ribeiro - (UFOP)
M.Sc. - Luiz Fernandes Dutra

Hernani Mota de Lima, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Hernani Mota de Lima, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/04/2023, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0502851** e o código CRC **ADF7BC35**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha mãe por ser a mulher guerreira que sempre foi e que me ensinou a lutar mesmo frente a todas as adversidades que a vida coloca em nosso caminho.

Agradeço também aos professores e servidores da Universidade Federal de Ouro Preto por todo aprendizado. Ao grande professor Dr. Hernani por ter aceitado entrar nessa empreitada comigo como orientador.

À UFOP, pelo ensino público de qualidade sem o qual eu não seria o profissional que sou hoje.

RESUMO

A geração de poeira nas atividades de mineração, desde a lavra, transporte até os estágios finais do processo se mostra, cada vez mais, como um problema que carece de atenção. Este TCC apresenta uma alternativa à utilização de água, método mais comum hoje em dia para minimização deste impacto. A metodologia adotada foi visual e comparativa, isto é, buscou-se de forma visual entender se após a utilização do produto a supressão de poeiras foi efetiva ou não. Além disso, foi estudado se o produto apresentava algum tipo impacto ambiental ou se colocava, de alguma forma, em risco os motoristas de caminhão que fazem o transporte diário do minério e as comunidades no entorno das minas realizando testes de derrapagem. Os resultados obtidos se mostraram muito promissores com a utilização do produto, reduzindo de forma expressiva a quantidade de água necessária à umectação e, conseqüentemente, reduzindo também impactos ambientais, além de não oferecer nenhum risco operacional ao dia a dia da produção.

Palavras-chave: Mineração, transporte de minério, supressão de poeiras, consumo de água, impactos ambientais.

ABSTRACT

The dust generation in mining activities, starting with the extraction, transport, until the final stages of the process are a problem that needs attention. With that in mind, the current work offers an alternative to water use, the most common approach to mitigate this problem. The adopted methodology was visual and comparative, trying to visually understand if the dust control after using the product was efficient or not. Furthermore, it was studied if the product could present any environmental impact, or if it could put at risk the safety of the truck drivers responsible for the transport of the ore or the communities around the mines.

The obtained results were promising with the utilization of the product, significantly reducing the amount of water used for this purpose and, consequently, reducing the environmental impacts, not offering any risk to the production operation.

Key words: mining, ore transport, dust control, water use, environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Turbina de aspersão. Fonte: PRUNER (2007)	17
Figura 2 - Nelson Irrigation (2023).....	18
Figura 3 - Trajeto de aplicação antes do uso do produto.....	24
Figura 4 - trajeto depois da primeira aplicação do produto.....	24
Figura 5 - Camada base formada.....	25
Figura 6 - Levantamento de poeira após mais de uma semana sem aplicação. 28	
Figura 7 - Caminhão pipa umectando o piso com água.	30
Figura 8 - Caminhão realizando a subida com o piso molhado.	31
Figura 9 - Caminhão descendo o trajeto carregado.....	32
Figura 10 - Estado de conservação dos pneus.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de volumes e concentração para implementação da camada base.	23
Tabela 2 - Relação de volumes e concentração para manutenção.	27
Tabela 3 - Consumo de água antes da aplicação do produto.	35
Tabela 4 - Consumo de água depois da aplicação do produto.	36
Tabela 5 - Consumo de combustível antes da aplicação do produto.	37
Tabela 6 - Consumo de combustível depois da aplicação do produto.	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Informações Gerais	18
3.2	Localização dos testes	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	Camada Base.....	21
4.2	Manutenção.....	26
5	RESULTADOS E DISCURSÕES.....	29
5.1	Teste de deslizamento	29
5.2	Relação de custos e consumo de água	34
5.2.1	Relação do consumo de água antes e depois da aplicação do produto	34
5.2.2	Relação do consumo de combustível antes e depois da aplicação do produto	36
6	CONCLUSÃO	38

1 INTRODUÇÃO

Apesar da mineração se mostrar como uma atividade industrial importante e indispensável, ela é também uma grande geradora de impactos ambientais em todas as etapas: extração, beneficiamento, refino e até no fechamento da mina, sendo considerada uma atividade que gera problemas de poluição sonora, das águas e do ar, além de ocasionar conflitos quanto ao uso do solo, geração de áreas degradadas e transtornos pelo tráfego de equipamentos. Ademais, a proximidade de áreas mineralizadas com áreas habitadas pode causar agravamento dessa problemática. (FERNANDES *et al.* 2015).

Em adição, Mechi e Sanches (2010) pontuam que, frequentemente, a mineração causa poluição do ar em função das atividades de lavra, beneficiamento e transporte devido a ocorrência de materiais particulados, o que pode causar impactos negativos ao equilíbrio dos ecossistemas, além de impactos a saúde dos trabalhadores e das comunidades. Ademais, a geração de poeiras ocasionada pela indústria de mineração, desde a lavra, transporte, até o fechamento da mina se mostra como um grave problema de poluição do ar (NAZARENO *et al.* 2018).

Frente a essa problemática, Horta (2016) enfatiza que fazer o controle da poeira gerada pela atividade de uma mineradora é um fator de grande importância para o bom funcionamento de uma mina, seja do ponto de vista das relações econômicas, seja do ponto de vista das questões ambientais e até da comunidade.

Para o autor *op cit* o tráfego de caminhões nas estradas pode ocasionar a geração de poeiras que podem dificultar a visibilidade, além de ocasionar riscos à saúde e segurança da operação e das comunidades.

De acordo com a Resolução nº 491 do CONAMA, define-se como poluente atmosférico: “qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade”.

Diante dessa perspectiva, a supressão de poeira é um dos grandes problemas da mineração e fazer o controle adequado dela é primordial para a lavra pois pode colocar em risco saúde dos operadores, comprometer o meio ambiente e gerar incômodos às comunidades (MAGALHÃES *et al.* 2020).

Diante dessa situação, a NRM 09, pontua:

“9.1.2 Quando ultrapassados os limites de tolerância à exposição a poeiras minerais, devem ser adotadas medidas técnicas e administrativas que reduzam, eliminem ou neutralizem seus efeitos sobre a saúde dos trabalhadores e considerados os níveis de ação estabelecidos nas NRM.

9.1.3.2 Caso haja impedimento de umidificação, em função das características mineralógicas da rocha, impossibilidade técnica ou quando a água acarretar riscos adicionais, devem ser utilizados dispositivos ou técnicas de controle, que impeçam a dispersão da poeira no ambiente de trabalho.”

Magalhães (2020) também esclarece que a supressão da poeira advinda da atividade minerária é feita com a aspersão de água através do uso de caminhões pipas ou uso de aspersores fixos em pontos específicos de forma a controlar a poeira gerada e atendendo à legislação que trata do tema.

Contudo, Fernandes (2015) esclarece que, o déficit do setor hídrico mundial cresce a cada ano, tornando cada vez mais difícil a boa gestão desse bem que está diretamente ligado ao desenvolvimento econômico e social.

Além disso, o autor op cit ainda coloca que apesar do Brasil possuir expressiva quantidade de água, ainda vive dois grandes problemas: a degradação da qualidade das águas, principalmente próximas a áreas urbanas e o controle do excesso e da falta desse recurso, sendo a escassez da água um fator restritivo ao desenvolvimento econômico e social de algumas regiões. Frente a essa realidade, o Brasil vem buscando criar políticas públicas que tenham como objetivo a valorização dos seus recursos hídricos.

Para Bentley (2021) a água é um componente crítico para a indústria da mineração por facilitar a extração mineral, os processos de beneficiamento, de controle de poeira entre diversos outros processos.

Tendo isto em vista, para ANA e IBRAM (2006), a mineração é uma das principais consumidoras de água no Brasil e se mostra como um empreendimento complexo por

possuir empresas de grande porte, que, conseqüentemente geram grandes impactos, mas que exercitam altos controle ambientais e empresas ou garimpos, de menor porte, que geram menores impactos, mas que também exercem menores controles desses impactos.

É diante dessa problemática que o uso eficiente da água se faz cada vez mais necessário e tem se tornado uma realidade cada vez mais presente nas empresas de mineração. Frente a essa perspectiva, tendo em vista a utilização de água em grandes volumes para umectação e supressão de poeiras bem como a redução da quantidade permitida para utilização pelos órgãos ambientais nos períodos de seca é que se faz necessário a adoção de novas medidas para essa finalidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este TCC tem por objetivo central a análise de viabilidade técnica e ambiental da aplicação de um supressor de poeiras como ferramenta de substituição do uso de caminhões pipas para umectação de vias não pavimentadas utilizadas para transporte de minério.

2.2 Objetivos específicos

- Testar a eficiência de um supressor de poeiras à base de resinas vegetais disponível no mercado como alternativa de substituição a umectação de vias utilizando caminhões pipa.
- Analisar a relação do consumo de água antes e depois da aplicação do produto.
- Analisar possíveis situações que possam colocar em risco a segurança dos motoristas dos caminhões de transporte de minério.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A geração de poeira se mostra como um grande gargalo na mineração, sendo alvo de diversas críticas por colocar em risco a saúde dos trabalhadores e da comunidade, a segurança, devido a diminuição da visibilidade, a fauna e a flora, sendo, portanto, também uma grande agressora ambiental, além de diminuir a vida útil dos caminhões devido aos problemas mecânicos ocasionados por ela.

No que diz respeito a disponibilidade da água destinada para fins de umectação das vias utilizadas para transporte de minério muitas vezes ela é limitada, o que se agrava em períodos de estiagem e a depender da localização das minas.

Não só isso, a geração de material particulado também gera grandes incômodos as comunidades nas proximidades, o que se mostra como um fator dificultador da relação entre mineradora e comunidade, fazendo com que o problema careça de atenção e de soluções viáveis mais efetivas em relação à umectação utilizando água com caminhões pipa.

Para Santiago (2013), compreende-se como material particulado qualquer substância, com exceção da água pura, seja em estado líquido ou sólido, existente na atmosfera em condições normais com dimensões superiores a 2nm. Isto é, define-se como material particulado uma grande classe de poluentes constituída de poeiras e todos os tipos de materiais sólidos que se mantêm em suspensão no ar devido ao seu pequeno tamanho. Essas partículas em suspensão podem se espalhar, causando a diminuição da visibilidade, além de terem a capacidade de ser transportados à longas distâncias.

Em adição as fontes de emissão de material particulado podem ser naturais, como é o caso das erupções vulcânicas, ventos em solos desérticos etc. ou advindas de fontes antropogênicas, como as construções e demolições, poeira de rua em suspensão etc. (SANTIAGO 2013).

A poluição do ar adentra o sistema pulmonar e pode causar o surgimento de diversas doenças no sistema respiratório como bronquite aguda, asma e câncer, sendo uma grande ameaça a saúde mundial (OMS 2016).

De acordo com Donatiello (2019) as vias não pavimentadas são de grande importância para a rede nacional de estradas por permitir o escoamento da produção

agrícola e são comuns em regiões de difícil acesso ou quando sua vida útil é limitada, como no caso da abertura de minas, onde se tem acessos temporários, além serem uma das principais formas de ligação entre propriedades rurais, sendo importantes para tráfego de pessoas e equipamentos. São caracterizadas por não possuírem nenhum tipo de revestimento, o que faz com que a sua qualidade e visibilidade seja afetada diretamente pela composição do seu solo.

Ademais, o Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela LEI N° 9503/1997 define como “via” qualquer superfície utilizada para trânsito de automóveis, pessoas ou animais e “estradas” como as vias rurais não pavimentadas.

3.1 Técnicas para supressão de material particulado

A escolha do supressor de poeira adequado deve ser feita considerando os objetivos ao qual ele se destina e as características da região onde o produto irá ser aplicado.

3.1.1 Umectação com uso de água

A umectação das vias utilizando água é um dos métodos mais comuns e mais presentes atualmente dada a sua facilidade de aplicação e rapidez de ação. É a forma mais simples de realizar a supressão de material particulado, utilizando para isso água, sem nenhum aditivo químico e consiste basicamente em aumentar a umidade do solo de tal forma que as partículas se aglomerem umas às outras, diminuindo a chance de ficarem em suspensão. Contudo, a eficiência desse método decai quase que imediatamente após a sua aplicação, indo de uma eficiência de 100% para 0% em horas (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2006).

Não obstante, *Countess Environmental* (2006) ainda pontua que o volume de água a ser empregado por esta técnica é muito grande, assim como o índice de desperdício devido a velocidade com que a evaporação acontece, acarretando na necessidade de

um maior número de aplicações e inviabilizando a técnica em regiões com escassez de recursos hídricos.

3.1.2 Supressores de poeira

O uso de supressores de poeira se mostra como uma alternativa viável em substituição ao uso de água pela sua alta eficiência e redução do consumo deste bem, viabilizando a supressão de material particulado mesmo em regiões com escassez hídrica.

Em concordância, para Jones *et al.* (2013) o uso de supressores de poeira reduz os níveis de material em suspensão, aumento a qualidade do ar, conferindo maior segurança ao transporte, melhor qualidade de vida dos moradores locais e custos de manutenção reduzidos.

Countess environmental (2006) elucida que a eficiência dos supressores de poeira depende de alguns fatores: taxa de diluição da mistura, taxa de aplicação, intervalo de tempo entre as aplicações, a intensidade do tráfego e as condições meteorológicas da região.

Jones *et al.* (2013) esclarece que existem uma grande variedade de supressores de poeira disponíveis no mercado e que podem ser classificados da seguinte forma:

- Absorvente de água: absorvem pequenas quantidade de águas da atmosfera aglomerando as partículas que se mantêm juntas devido às forças de sucção. Os produtos mais comuns utilizados nesse tipo de supressor são o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio. São solúveis em água, mas não possuem foça suficientes para agirem como estabilizadores de solo, por isso precisam de técnicas de manutenção comuns a vias não pavimentadas.
- Orgânicos não derivados de petróleo ou polímeros naturais: agem como uma cola que aglomera as partículas juntas. São provenientes de resinas de árvores, óleos vegetais etc. e são subprodutos de indústrias de óleos vegetais, produção de etanol, refino de açúcar etc. São solúveis em água.

- Petróleo orgânico e resinas de petróleo: funcionam basicamente como emulsões asfálticas diluídas. Não sofrem lixiviação na presença de água, mas são difíceis de manter em vias não pavimentadas.
- Emulsões de polímeros sintéticos: São polimerizados em meio aquoso, predominantemente de forma que quando a água evapora o material fica agregado entre si. Estradas onde são utilizadas essa técnica são difíceis de manutenção utilizando mecanismos utilizados em vias não pavimentadas usuais.
- Óleos eletroquímicos/sulfonados: Dependem de reações químicas para desempenhar bem sua função.
- Enzimas: Por serem patenteadas suas formulações não são públicas por isso tem-se poucas informações sobre seu funcionamento.

3.1.3 Turbinas de aspersão

Este sistema funciona como uma turbina e utiliza a água ultrafina em alta pressão e velocidade para fazer o abatimento das partículas em suspensão. Possuem uma grande área de atuação, são muito eficientes e não molham as vias, mas causa o abatimento do material particulado, resultando na sua supressão.

Possuem variada gama de aplicações, como minas à céu aberto, vias de acessos, pátios etc. No entanto, são fixos, o que pode ser um problema para minas que tenham vida útil muito curta.



Figura 1 - Turbina de aspersão. Fonte: PRUNER (2007)

3.1.4 Aspersão Fixa

Esta técnica consiste na instalação de jatos fixos de água, acoplados em uma rede hidráulica por tubos de PVC ou afins e são acionados em ciclos previamente estabelecidos com certa angulação para realizar a umectação das vias.



Figura 2 - Nelson Irrigation (2023).

3.2 Informações Gerais sobre o produto

O produto utilizado nos testes tratados neste TCC é conhecido comercialmente como Fitosoil Forte e é um polímero biodegradável, feito à base de macromoléculas de origem vegetal que quando aplicado em vias sem pavimentação e até em vias pavimentadas elimina as emissões de material particulado consideravelmente. Ele é constituído de uma mescla de resinas vegetais, portanto natural, não-cancerígeno, seguro para a saúde humana e de outros orgânicos vivos e não agressor à fauna ou a flora.

O produto apresenta diversas vantagens, como:

- Combate eficiente à geração de material particulado em suspensão.

- Redução significativa do consumo de água para irrigação, maior que 90%.
- Aumento da visibilidade das vias.
- Aumento da velocidade média da frota e redução da formação de buracos nas estradas.

Além disso, não necessita de equipamentos fixos para fazer a supressão de poeira, o que é positivo para a empresa em questão, tendo em vista que a vida útil das suas minas são curtas e apresentam uma alta rotatividade, sendo constantes as alterações nos trajetos dos seus equipamentos de transporte de minério.

Não só isso, o Fitosoil Forte reduz significativamente o consumo de água, se mostrando como uma ótima ferramenta à adequação das obrigações da empresa frente a legislação minerária e as limitações do consumo de água no período de estiagem.

O custo por litro do produto varia entre R\$ 8,00 e R\$9,00 no período em que os testes foram realizados e, portanto, se mostra como uma opção viável à supressão de poeira, dadas todas as vantagens que apresenta.

A mistura do produto em água se torna uma solução aquosa, não poluente, capaz de suprimir a poeira sem gerar impactos ambientais onde é aplicado.

3.3 Localização dos testes

Os testes aqui descritos foram realizados nas estradas utilizadas para transporte de material até a fábrica de uma mineradora de bauxita localizada ao Sul do Estado Minas Gerais, próxima à divisa Minas Gerais-São Paulo.

Trata-se de uma mineradora com cerca de 50 caminhões rodoviários que realizam, diariamente, em torno de 150 a 160 viagens, fazendo com que a geração de poeira seja intensa na região, devido à não pavimentação das vias.

Ademais, tais estradas também são utilizadas pela comunidade local, por onde trafegam muitos veículos, incluindo tratores utilizados em lavouras de café e vegetais com destinação comercial no entorno das minas. Não só isso, também é observado uma grande quantidade de automóveis rodoviários que transitam diariamente nessas estradas em virtude da proximidade com propriedades rurais.

4 METODOLOGIA

O modo de aplicação do Fitosoil Forte deve ser feito em forma de solução proveniente da mistura água e produto e as concentrações das soluções utilizadas em cada aplicação foi feita seguindo instruções do fornecedor dele.

Quanto a mitigação da problemática da poeira, a forma de análise utilizada, dada a disponibilidade de recursos, foi visual e comparativa. Contudo, foi observada significativa redução do material particulado depois da aplicação, além de uma redução expressiva no consumo de água indicando a eficácia do produto.

É importante ressaltar que as concentrações e quantidades de vezes necessárias de realização da aplicação pode variar de região para região, a depender do grau de compactação do solo nas estradas e da existência ou não de pavimentação, sendo menores os números de aplicações para vias pavimentadas e para regiões com solo mais compactado.

Além disso, foi observado que quanto maior o grau de inclinação das estradas, maior o desgaste do produto e, portanto, menor a vida útil dele, sendo preciso realizar um maior número de aplicações, reduzindo também o intervalo de tempo entre uma aplicação e outra.

Cabe aqui frisar também que, vias não pavimentadas necessitam de duas etapas de aplicação, sendo a primeira a criação de uma camada base, que funciona como uma película acima do solo e que impede que ocorra levantamento de material particulado para o ar e a segunda etapa diz respeito a manutenção dessa camada base, com intervalos de aplicações maiores, servindo como conservação do que foi feito na camada anterior, impedindo o desgaste excessivo dela. Por outro lado, vias pavimentadas não necessitam de criação de camada base, podendo-se partir direto para a etapa de manutenção após uma primeira aplicação, utilizando também concentrações consideravelmente menores.

Nos testes realizados e tema central desse trabalho, as aplicações foram feitas em vias não pavimentadas e em regiões de grandes declividades, fazendo com que fosse necessária na criação da camada base, antes de adentrar na fase de manutenção, maiores concentrações do produto.

4.1 Camada Base

A criação da camada base é etapa crucial para a boa eficiência do produto quando aplicado em vias não pavimentadas. Para isso foram feitas aplicações diárias do produto durante aproximadamente uma semana.

O volume mínimo de produto utilizado em cada aplicação está diretamente relacionado a área total de aplicação, isto é, deve-se considerar tanto a extensão da via a ser aplicada, quanto a largura da estrada (Equação 1).

$$A = D * L \quad \text{Equação (1)}$$

A = Área

D = Distância da via

L = Largura da via

Com base na área calculada, é possível definir também o volume mínimo de solução necessária para cobrir a área desejada, isto pode ser feito conhecendo-se a área total que o caminhão pipa é capaz de cobrir com um tanque cheio e o volume total do tanque do caminhão através da equação (2):

$$V = \frac{A}{At} * Vtan \quad \text{Equação (2)}$$

V = Volume mínimo de solução para cobrir a área desejada

A = Área desejada

At = Capacidade total de aplicação do caminhão-pipa com o tanque cheio

Vtan = Volume total do tanque

A concentração do produto em cada aplicação é variável e vai diminuindo com o tempo e de acordo com a necessidade; e pode ser calculada utilizando uma equação simples. O somatório de A e P deve ser igual ao volume V de solução necessário para cobrir a área desejada, ou maior, caso se deseje fazer mais de uma passada do produto (Equação 3). Contudo, este não é um parâmetro fixo, podendo sofrer alteração ao longo das aplicações de acordo com a necessidade observada em campo.

$$C = \frac{P}{(A + P)} \quad \text{Equação (3)}$$

C = Concentração

P = Volume de produto

A = Volume de água

A tabela 1 mostra os volumes de produto e de água utilizadas para implementação da camada base bem como a concentração do produto na solução em cada uma das aplicações.

No presente trabalho, o volume (V) de solução necessário para cobrir a área desejada foi de 1187 litros, contudo, muitas vezes foi preparada uma solução com volume maior para alcançar maior efetividade e no último dia foi aplicada uma solução de volume menor, evidenciando que esse volume V pode variar de acordo com observações feitas em campo.

Implementação da camada base			
Dias	Volume do produto (l)	Volume de água (l)	Concentração da solução (%)
1	480	700	40,7
2	800	1200	40,00
3	418	1000	29,47
4	308	1000	23,54
5	308	1000	23,54
6	273	1200	18,53
7	273	1200	18,53
8	200	870	18,70

Tabela 1 - Relação de volumes e concentração para implementação da camada base.

É possível notar que algumas vezes a concentração utilizada de uma aplicação para a outra foi igual a anterior. Isso ocorreu porque em campo muitas vezes se observou que não seria interessante a diminuição da concentração naquele dia e, também, seguindo as recomendações do fornecedor. Nesse sentido cabe salientar o uso racional do produto, sendo importante realizar análise do estado da camada antes de realizar uma nova aplicação, de forma que seja possível adaptar a concentração e quantidade do produto a ser aplicada.

O método de análise do grau de efetividade do produto foi visual e comparativo, isto é, comparou-se a quantidade de poeira gerada pela passagem dos caminhões de transporte antes (Figura 3) e depois da aplicação do produto, sendo possível observar resultados positivos logo após a primeira aplicação (Figura 4).



Figura 3 - Trajeto de aplicação antes do uso do produto



Figura 4 - trajeto depois da primeira aplicação do produto.

Ao final do oitavo dia, seguindo as concentrações recomendadas pelo fornecedor e observando a adesão do produto ao solo, constatou-se que a camada base estava bem formada não sendo mais necessário a implementação dela. A Figura 5 mostra o resultado depois da conclusão da implementação dessa camada. Uma vez criada a camada base foi possível adentrar a fase de manutenção dela, não sendo mais necessário realizar aplicações diárias.



Figura 5 - Camada base formada.

4.2 Manutenção

Uma vez que a camada base tenha sido implementada na via, pode-se adentrar a etapa de manutenção. Essa etapa consiste basicamente em preservar a camada criada na etapa anterior por meio de aplicações de soluções do produto com concentrações menores em relação as utilizadas anteriormente e sem necessidade de aplicações diárias.

A determinação do intervalo de tempo ideal entre uma aplicação e outra também foi feita visualmente dado os recursos disponíveis para o teste e, também, porque para os objetivos esperados esse tipo de análise foi suficiente.

Assim, buscou-se examinar, todos os dias, se a poeira gerada era superior a um certo nível tolerado. Esse limite pode ser entendido como a quantidade de poeira que pudesse prejudicar a visibilidade dos caminhões e causar impactos às comunidades. Quando isso ocorria, era realizado uma nova aplicação no próximo dia.

Dessa forma, foi possível observar que, dadas as condições do terreno, declividade e tráfego de veículos no trajeto onde o produto foi aplicado para o teste, o intervalo de tempo ideal entre as aplicações foi de uma semana, uma vez que se chegou ao estágio mais avançado da fase de manutenção. Como nesse momento já se tem uma camada de produto muito bem formada, as concentrações das aplicações se tornam cada vez menores e quanto menor for o desgaste do produto no solo, maior é o intervalo de tempo necessário às aplicações.

Nessa etapa também os volumes e concentrações das soluções foram feitas seguindo as instruções recomendadas pelo fornecedor, contudo, ao longo do teste, modificações de volume foram necessárias para melhor atender as necessidades observadas em campo.

A Tabela 2 mostra os volumes de produto e de água utilizadas na etapa de manutenção bem como a concentração do produto na solução em cada uma das aplicações.

Dias	Manutenção		
	Volume do produto (l)	Volume de água (l)	Concentração da solução (%)
1	200	1000	16,7
2	140	700	16,7
3	200	1000	16,7
4	200	1000	16,7
5	200	1000	16,7

Tabela 2 - Relação de volumes e concentração para manutenção.

Uma vez na etapa de manutenção, não há tempo limite para sua eficiência, desde que seja feita a manutenção de maneira correta quando houver a formação de material particulado de forma mais intensa.

Nos testes tratados, foram observados que entre o primeiro dia de aplicação do produto na fase de manutenção e o segundo, passaram-se dois dias sem geração de poeira e sem necessidade de nova aplicação. Entre a segunda e terceira aplicação, se passaram três dias sem geração de poeira, entre a terceira e quarta se passaram quatro dias e entre a quarta e quinta se passaram cerca de uma semana sem levantamento de poeira e, portanto, sem necessidade de nova aplicação.

Por outro lado, quando o intervalo de tempo entre uma aplicação e outra foi de mais de uma semana (Figura 6), foi possível notar que o levantamento de material voltava ser intenso, se fazendo necessário uma nova aplicação e diminuição do intervalo de tempo, sem deixar exceder uma semana.



Figura 6 - Levantamento de poeira após mais de uma semana sem aplicação.

Com a ocorrência de chuvas é preciso, também, realizar uma nova aplicação de manutenção assim que possível pois por se tratar de um material que se mistura à água, quando molhado ele se degrada, sendo necessário realizar a sua manutenção.

Outra situação que merece destaque diz respeito a períodos muito prolongados entre uma aplicação e outra, o que pode fazer com que o produto se desgaste a ponto de ser necessário começar o processo de implementação da camada base novamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez implementada a camada base e adentrada a fase de manutenção, pode-se verificar a eficiência do produto de forma quantitativa. Isso foi evidenciado pela clara diminuição do consumo de água destinada à umectação das vias com base em dados de vazão do fabricante da barra utilizada pelos caminhões pipa e diminuição do consumo de combustível. Além disso, foi possível mensurar qualitativamente sua eficácia pela nítida redução da quantidade de material particulado em suspensão antes e depois da aplicação do produto e redução da necessidade de manutenção das estradas com buracos e afins. A partir deste momento, novos testes foram conduzidos buscando analisar outras situações que poderiam colocar em risco a segurança da comunidade e dos motoristas dos caminhões de transporte de minério.

O detalhamento dos resultados obtidos com todos os testes realizados estão descritos nos próximos itens deste trabalho.

5.1 Teste de deslizamento

Durante a realização dos testes, foi questionado se com a ocorrência de chuvas repentinas, o trajeto onde o produto foi aplicado ficaria com o piso escorregadio ocasionando deslizamento dos caminhões e favorecendo a ocorrência de algum tipo de acidente.

Para responder a essa pergunta, examinou-se a aderência dos caminhões ao solo com o piso molhado. Assim, foi selecionada uma região de maior declive dentro do trajeto onde o produto foi aplicado e com o auxílio de um caminhão pipa, foi feita a umectação do piso utilizando apenas água em um volume elevado antes dos caminhões de transporte passarem, buscando simular o que aconteceria em dias de chuva. A Figura 7 ilustra essa situação.



Figura 7 - Caminhão pipa umectando o piso com água.

Com o piso completamente molhado, duas formas de análises foram realizadas: os caminhões de transporte teriam problema para subir o trajeto descarregados em direção às minas e, na volta, teriam problemas para descer carregados em direção à refinaria?

Dessa forma, instruiu-se aos motoristas que subissem o trajeto com a mesma rotação de motor e mesma marcha que usam geralmente e que parassem no meio da subida para analisar se haveriam problemas de arrancada caso fosse preciso parar no

meio do percurso. Nenhuma anormalidade foi detectada e os caminhões realizaram a subida sem maiores problemas (Figura 8).



Figura 8 - Caminhão realizando a subida com o piso molhado.

Na volta do trajeto, também buscou-se compreender se haveria alguma situação de perigo com os caminhões realizando a descida carregados. Novamente, nenhuma situação fora do comum foi observada bem como nenhuma situação que colocasse em risco a segurança dos motoristas (Figura 9).



Figura 9 - Caminhão descendo o trajeto carregado.

Aqui, é importante salientar que todos os caminhões testados apresentavam bom estado de conservação dos pneus, sendo esse, também, um fator crucial para a boa aderência do equipamento ao solo (Figura 10).



Figura 10 - Estado de conservação dos pneus.

5.2 Relação de custos e consumo de água

A análise de viabilidade da aplicação do produto foi feita considerando também a relação de custos, bem como a relação do consumo de água, fator importante dado à necessidade de adequação do consumo de água no período de seca frente aos órgãos ambientais. É importante ressaltar que toda a relação foi feita considerando apenas o trajeto onde o produto foi aplicado, totalizando 800 m de estrada.

Para compreender a viabilidade do produto, dois tipos de análises foram realizados. A primeira diz respeito a redução do consumo de água antes e depois da aplicação do produto, enquanto a segunda diz respeito a redução do consumo de combustível utilizado. Cabe salientar que, a empresa responsável por realizar a umectação das estradas que levam até as minas é uma empresa terceirizada e por isso, todos os custos com manutenção e consumo de combustível estão inclusos no contrato. Dessa forma, não foi tema principal desse estudo entender a redução do gasto com óleo diesel, mas, dados os resultados obtidos, se espera obter reduções significativas, o que também gera, indiretamente, redução de emissões de carbono, contando como impacto positivo.

Por outro lado, a redução do consumo de água, dada a diminuição da necessidade de umectação das vias após a aplicação do produto foi objetivo do estudo uma vez que, nos períodos de seca intensa pode haver limitação da água destinada para umectação pelos órgãos públicos, fato que já ocorreu no passado da empresa e que por isso carece de soluções alternativas à essa possibilidade.

5.2.1 Relação do consumo de água antes e depois da aplicação do produto

A água não é uma ferramenta de supressão de poeiras muito eficiente dada a rapidez com que a ela seca, sobretudo em dias quentes. Assim, se fazia necessário, antes da utilização do produto, umectar as estradas pelo menos seis vezes por dia.

Dessa forma, conhecendo-se a vazão da barra, de acordo com dados técnicos divulgados pelo fabricante das barras utilizadas nos caminhões pipa, bem como o comprimento do trajeto de realização dos testes e o número de aplicações diárias, foi

possível chegar à relação do consumo diário antes e depois da utilização do produto. Todos os dados estão listados abaixo e exemplificados na Tabela 3.

- Vazão da barra de acordo com o fabricante: 205 l para cada 100 m
- Volume de água utilizado em 0,8km = $205l \cdot 8 = 1640$ l
- Quantidade de aplicações: 6 vezes
- Volume diário de água: $1640 l \cdot 6 = 9840$ l
- Volume mensal: 22 dias úteis * 9.840 l = 216.480 l/mês

Relação de consumo de água sem uso do produto				
	Vazão da barra/100m (l)	Quant. aplicações/dia	Trajeto (km)	Total (l)
Volume de água utilizado/passada	205	6	0,8	1640
Volume de água diária				9840
Volume de água mensal (22dias)				216480

Tabela 3 - Consumo de água antes da aplicação do produto.

Após a criação da camada base e chegada na fase de manutenção, que é a etapa que se deseja alcançar afim de suprimir a poeira, não foi mais necessário realizar a umectação das vias diariamente, logo não foi mais preciso a utilização dos caminhões pipa no trajeto, sendo, seu uso, restrito apenas a aplicação do produto semanalmente. Assim, foi possível traçar a relação do consumo de água nesse estágio do teste. Todos os dados estão listados abaixo e exemplificados na Tabela 4.

- Volume de água utilizada: 1000 l
- Quantidade de aplicações: 1 por semana
- Volume semanal de água: 1000 l
- Volume mensal de água: 4 semanas*1.000 l = 4.000 l/mês

Relação de consumo de água com uso do produto				
	Volume de água/aplicação (l)	Quantidade de aplicações/dia (l)	Quantidade deaplicações/semana (l)	Total (l)
Consumo de água/dia				0
Consumo de água/semana	1000	0	1	1000
Consumo de água/mês				4000

Tabela 4 - Consumo de água depois da aplicação do produto.

De posse desses dados foi possível estimar uma redução de 212.480 l de água por mês considerando apenas o trajeto onde o produto foi aplicado. Quando extrapolado para uma escala maior, espera-se que essa redução seja ainda mais significativa.

5.2.2 Relação do consumo de combustível antes e depois da aplicação do produto

A redução do consumo de combustível, do ponto de vista econômico para a empresa não foi de grande relevância, uma vez que já foi acordado com uma empresa terceira, responsável pela umectação das vias, um valor fixo que cobre todos os custos com manutenção e combustível utilizado pelos caminhões pipa. No entanto, do ponto de vista ambiental, essa análise se faz relevante já que uma redução do consumo de combustível representa também uma redução de emissões.

Diante dessa perspectiva, foram detalhados dados de antes e depois da utilização do produto como forma de substituição da utilização de água para umectação das vias. Todos os dados estão listados abaixo e exemplificados nas Tabelas 5 e 6.

- Consumo de combustível em km/l: 2.1 km/l
- Consumo de combustível em km/l com a bomba ligada: 1 km/l
- Consumo de combustível em 0,8 km: 0,8 l
- Consumo de combustível diário: $0,8 \text{ l} * 6 = 4,8 \text{ l}$
- Consumo de combustível mensal: $4,8 \text{ l} * 22 = 105,6 \text{ l}$

Relação do consumo de combustível sem uso do produto					
	Consumo de combustível (km/l)	Consumo de combustível com bomba ligada (km/l)	Consumo de combustível no trajeto de aplicação/0,8km (l)	Quant. passadas /dia	Total (l)
Consumo diário					4.8
Consumo mensal (22 dias)	2.1	1	0.8	6	105.6

Tabela 5 - Consumo de combustível antes da aplicação do produto.

- Consumo de combustível em km/l: 2.1 km/l
- Consumo de combustível em km/l com a bomba ligada: 1 km/l
- Consumo de combustível em 0,8 km: 0,8l
- Consumo de combustível mensal: $8 \times 0,8 = 6,4$ l

Relação do consumo de combustível com uso do produto						
	Consumo de combustível (km/l)	Consumo de combustível com bomba ligada (km/l)	Consumo de combustível no trajeto de aplicação/0,8km (l)	Quantidade de passadas/dia	Quant. passadas/semana	Total (l)
Consumo diário						0
Consumo mensal	2,1	1	0,8	0	1	6,4

Tabela 6 - Consumo de combustível depois da aplicação do produto.

Como pode ser observado, o consumo mensal de combustível foi de 6,4 l, isso porque, dada a necessidade observada em campo, muitas vezes se fez duas passadas do produto no mesmo dia, uma vez por semana, totalizando 8 passadas por mês. Essa necessidade se deu, em grande parte, devido aos pontos mais críticos no trajeto com alto grau de declividade da estrada. Não obstante, apesar de representar uma análise

conservadora, é notável a redução significativa do consumo de combustível antes e depois da aplicação do produto que era de 105,6 l e passou a ser de 6,4 l mensais.

Como já observado, esses valores representam apenas os resultados obtidos para 800 m de estrada e, espera-se que essa redução seja ainda mais significativa quando extrapolada para uma escala maior, o que é mais comum à rotina de qualquer empresa.

6 CONCLUSÃO

O produto tratado neste trabalho estava melhor alinhado aos objetivos da empresa, principalmente em função da alta eficiência no combate à geração de poeira, contrapondo-se a técnica anteriormente empregada pela empresa com a utilização de caminhões pipa, além de representar expressiva redução no consumo de água, o que é diretamente aderente a um dos objetivos centrais da empresa, além de oferecer outras vantagens como facilidade de aplicação e não ser fixo, tendo em vista que a vida útil das minas operadas por ela são muito curtas, fazendo com que a empresa precise alterar suas rotas de escoamento de minério constantemente.

No que diz respeito aos impactos ambientais gerados, foi possível concluir que eles são mínimos e que o produto ajuda na redução desses impactos pela diminuição significativa do consumo de água e pela redução das emissões de carbono advindas da redução da utilização dos caminhões pipa, além de diminuir a poeira, sendo uma grande vantagem à saúde dos trabalhadores e da comunidade no entorno das vias de transporte e menor agressão a fauna e flora da região.

Ademais, ainda foi possível observar que o intervalo de tempo entre uma aplicação e outra pode variar a depender de algumas variáveis como intensidade do tráfego na área, ocasionalidade de chuvas e quaisquer situações que causem algum tipo de desgaste maior no produto. Contudo, pelos testes realizados, foi possível perceber que uma aplicação por semana é o suficiente para garantir uma boa supressão da poeira, não sendo necessário qualquer tipo de manutenção nesse intervalo.

Outra resposta importante obtida com os testes foi em relação a ocorrência de deslizamentos em dias chuvosos, o que poderia ser um fator de risco em potencial, tanto

para os motoristas dos caminhões de transporte de material, quanto para os moradores locais que utilizam as vias para locomoção. Nesse sentido, os testes não mostraram nenhuma anormalidade em relação à aderência ao solo e os caminhões conseguiram subir e descer sem nenhuma eventualidade. No entanto, cabe salientar que os caminhões estavam todos com os pneus em ótimas condições não sendo possível concluir qual seria o comportamento dos caminhões caso os pneus estivessem em fase final de vida.

7 REFERENCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA; Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Brasília, 2006, p.58.

BENTLEY, Matthew J; Linden, Karl G; WILSON, Alana; et al. Mine Water Use, Treatment, and Reuse in the United States: A Look at Current Industry Practices and Select Case Studies. **ACS ES&T Engineering**, out. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355449173_Mine_Water_Use_Treatment_and_Reuse_in_the_United_States_A_Look_at_Current_Industry_Practices_and_Select_Case_Studies/references. Acesso em 21 nov. 2022.

BORBA, Marcos Vinícius Sampaio. Avaliação do uso de diferentes tipos de polímeros de pó no controle de emissões atmosféricas durante o transporte de minério de ferro na EFVM - Estrada de ferro Vitória a Minas. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, Belém, 2017. Disponível em: < https://www.itv.org/wp-content/uploads/2018/03/Diss_MarcosBorba_AvaliacaoUsoDiferentes_MProf2017-1.pdf>. Acesso em: 28. Mar 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369516#:~:text=%C2%A7%201%C2%BA%20O%20Chumbo%20no,crit%C3%A9rio%20do%20%C3%B3rg%C3%A3o%20ambiental%20competente>. Acesso em 11 dez. 2022.

Código de Trânsito Brasileiro – CTB – LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm>. Acesso em: 28 mar. 2023.

COUNTESS ENVIRONMENTAL. WRAP Fugitive Dust Handbook. Denver – Colorado. WGA Contract No. 30204-111, 2006. Disponível em: < https://www.wrapair.org/forums/dejf/fdh/content/FDHandbook_Rev_06.pdf>. Acesso em 29. Mar 2023.

DONATIELLO, Luiza de Oliveira. Benefícios da utilização de polímero supressor para controle de poeira fugitiva em vias não pavimentadas: estudo de caso na mina de Pedra Preta, Brumado, Bahia. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitária, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: < https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2020/02/201222080346_Luiza-de.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

FERNANDES, F. R. C.(Ed); MATOS, G. M. M.(Ed.); Castilhos, Z. C.(Ed.); LUZ, A. B.(Ed.). Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Minera. CETEM, Rio de Janeiro, 2007, p. 3- 20. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/526>. Acesso em: 21 nov. 2022.

FITOSOIL FORTE. Dust Control Brasil, 2023. Disponível em: <https://dustcontrolbrasil.com/produtos/fitosoil-forte-supressor-de-poeira/>. Acesso em: 29 mar 2023.

HORTA, Sérgio L. L. Aspersão fixa: tecnologia eficiente para redução de custos no controle de poeiras. Revista Minérios e Minerale. Jul. 2016. Disponível em: <https://revistaminerios.com.br/aspersao-fixa-tecnologia-eficiente-gera-reducao-de-custos-no-controle-de-poeira/>. Acesso em 11 dez. 2022.

JONES, Davis. et al. Unpaved Road Dust Management, A Successful Practitioner's Handbook. FHWA-CFL/TD-13-001. Western Transportation Institute, Colorado, 94p. 2013.

MAGALHÃES, Jeanny C. R. P. et al. Aspersão fixa: análise de tecnologia inovadora para combate de particulados em suspensão nas vias de acesso de uma mineração. Humanidades & tecnologia em revista. v.22, p. 326-333, jan. 2020. Disponível em: http://revistas.icesp.br/index.php/FINOM_Humanidade_Tecnologia/article/view/1108/813. Acesso em 09 dez. 2022.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. Revista de Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TNzjZ3HD8K6rCvSSWPtsZgC/?lang=pt#:~:text=De%20modo%20geral%2C%20a%20minera%C3%A7%C3%A3o,de%20causar%20polui%C3%A7%C3%A3o%20do%20ar%2C>. Acesso em: 21 dez. 2022.

NAZARENO, Guilherme C. et al. Estudo de caso - poeira nas operações de mina: alta eficiência no controle de particulados através do uso de supressor natural. Observatorio De La Economía Latinoamericana, out. 2018. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/control-particulados-supressornatural.html>. Acesso em: 12 dez. 2022. NETO, Carlos de M e S. et al. A sazonalidade da poluição do ar por fonte fixa de mineração no nordeste goiano. Revista Percurso, Maringá, v. 6, n.2, p. 157-162, dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/49613>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

NORMAS REGULADORAS DE MINERAÇÃO. **NRM 09: Prevenção Contra Poeiras**. Pernambuco, 2002. Disponível em: https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_09.htm. Acesso em 19 dez. 2022.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. Suíça: WHO - World Health Organization, 2016.

SANTIAGO, Aline. Material particulado total suspenso na baixa atmosfera em Cuiabá-MT no período de queimadas. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2013.

SCHOPRONI, Roberto S. et al. Gestão do uso da água em indústrias do setor mineral: um comparativo em relação ao porte das empresas. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/235.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SILVA, Jardel de Oliveira da. Controle de material particulado nos acessos de mina a céu aberto. 2010. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/392>>. Acesso em: 28 mar. 2023.