



Octubre 2018 - ISSN: 1696-8352

ESTUDO DE CASO - POEIRA NAS OPERAÇÕES DE MINA: ALTA EFICIÊNCIA NO CONTROLE DE PARTICULADOS ATRAVÉS DO USO DE SUPRESSOR NATURAL

CASE STUDY - DUST IN MINE OPERATIONS: HIGH EFFICIENCY IN THE CONTROL OF PARTICULATE THROUGH THE USE OF NATURAL SUPPRESSOR.

Guilherme Cassini Nazareno¹
guinazareno@hotmail.com

Larissa Alves da Silva²
larissaalvesdasilva06@gmail.com

Adriano José de Barros³
adrianojosedebarrros@Yahoo.com.br

Fernanda da Fonseca Diniz⁴
fernandafonseca178@gmail.com

Telma Ellen Drumond Ferreira⁵
telmaellen@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Guilherme Cassini Nazareno, Larissa Alves da Silva, Adriano José de Barros, Fernanda da Fonseca Diniz y Telma Ellen Drumond Ferreira (2018): "Estudo de caso - Poeira nas operações de Mina: alta eficiência no controle de particulados a través do uso de supressor natural", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (octubre 2018). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/control-particulados-supressornatural.html>

RESUMO

A mineração, apesar de sua importância econômica, gera diversos impactos ambientais em suas atividades. As empresas são fiscalizadas e têm se esforçado para mitigar esses impactos de maneira economicamente viável. A poeira gerada na mina é um dos maiores desafios das mineradoras e pode ser prejudicial de diferentes formas. O método mais comum de aspersão dessa poeira é através de caminhões pipa, porém, essa técnica apresenta grande desperdício de água e diversas desvantagens operacionais, econômicas e ambientais. Uma empresa canadense desenvolveu um tipo

¹ Graduando em Engenharia Minas – Universidade do Estado de Minas Gerais – E-mail: guinazareno@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Minas – Universidade do Estado de Minas Gerais – larissaalvesdasilva06@gmail.com

³ Doutorando Geografia e Tratamento de Informação Espacial (PUC Minas/BH) – Professor Geoprocessamento UEMG João Monlevade – E-mail: adrianojosedebarrros@gmail.com

⁴ Engenheira Ambiental, Professora da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Email: fernandafonseca178@gmail.com

⁵ Professora da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Email: telmaellen@hotmail.com

de polímero natural e biodegradável, através de tecnologia microbiológica, que possibilita alta eficiência na supressão da poeira. Diferente de outros polímeros encontrados no mercado, que já vinham sendo utilizados para contenção de pilhas de minério no transporte ferroviário, esse supressor foi desenvolvido com o objetivo de conter a poeira em vias de acesso, rampas e galerias, locais onde há fluxo de equipamentos de grande porte e altos níveis de poeira. Também reduz consideravelmente o consumo de água doce nas atuais atividades de controle. Essa tecnologia apresenta impactos positivos, tanto na excelência operacional diária quanto nas condições de vida dos trabalhadores e das comunidades vizinhas.

Palavras-chave: Poeira. Supressor. Biodegradável. Aspersão. Polímero.

ABSTRACT:

Mining, despite its economic importance, generates several environmental impacts in its activities. Companies are monitored and have been struggling to mitigate these impacts in an economically viable way. The dust generated in the mine is one of the biggest challenges of miners and can be harmful in different ways. The most common method of sprinkling this dust is through water trucks, however, this technique presents great waste of water and several operational, economic and environmental disadvantages. A Canadian company has developed a type of natural and biodegradable polymer, through microbiological technology, that allows high efficiency in the suppression of dust. Unlike other polymers found on the market, which were already being used to contain ore piles in railway transport, this suppressor was developed with the purpose of containing the dust in access roads, ramps and galleries, where there is a flow of large equipment dust and high levels of dust. It also significantly reduces freshwater consumption in current control activities. This technology has positive impacts both on daily operational excellence and on the living conditions of workers and neighboring communities.

Keywords: Dust. Suppressant. Biodegradable. Sprinkling. Polymer.

RESUMEN:

Mining, a pesar de su importancia económica, generados varios cambios en las actitudes. Las empresas se supervisan y se han bloqueado para atenuar estos incidentes en un sitio económico viable. El polvo generado en la mina es uno de los mayores desafíos de mineros y se puede controlar en diferentes maneras. El método más común de rociar este polvo es a través de los caminos de los camiones, sin embargo, esta técnica presenta gran desechos de agua y several operativa, económica y de desventaja. La canadiense de la empresa ha desarrollado a tipo de biodegradable polimerización biológica, a través de la microbiología de la tecnología, que permite alta eficiencia en la supresión de polvo. Que se ha utilizado para contener los piles en ferrocarril de transporte, este suppres-ser se ha desarrollado con el propósito de contener el polvo en el acceso al acceso, ramificaciones y galerías, donde hay un flujo de gran tamaño y altos niveles de polvo. También es importante reducir el consumo de agua dulce en las actividades de control de control. Esta tecnología ha sido positiva, tanto en la escala de tiempo operativa y en las condiciones de vida de los trabajadores y vecinos vecinos.

Palabras clave: Dust. Supresor. Biodegradable. La aspersión. Polímero.

1. INTRODUÇÃO

As empresas mineradoras se esforçam cada vez mais para suprir suas necessidades operacionais de forma sustentável, com o mínimo de impacto ambiental e social na sua área de exploração mineral. A poluição atmosférica causada pela geração de poeira durante o manuseio de minérios pode ser um problema grave. Diante do risco associado à inalação de poeira, a regulamentação da qualidade do ar tem estabelecido padrões cada vez mais rigorosos. Como resultado, em 1987 a EPA (Environmental Protection Agency) adotou padrões para regular a concentração de partículas com 10µm de diâmetro ou menores (PM10) e para com diâmetro igual ou inferior a 2,5µm (PM2,5) ou menor, uma vez que os maiores riscos à saúde não vêm apenas das partículas que são facilmente inaláveis, mas daquelas que se fixam no tecido pulmonar, causando irritação ou necrose (EPA, 2006). Preocupando-se com tais fatores, os investimentos em iniciativas de aperfeiçoamento e adoção de tecnologias de controle de emissões atmosféricas indicam uma maior conscientização da responsabilidade ambiental por parte das companhias, todavia, também é um indicativo de maior atuação de órgãos reguladores e fiscalizadores das atividades minerárias.

Operações mineiras como detonação de explosivos, transporte, carregamento e lavra de minérios, geram diferentes tipos de impactos ambientais, os quais podem e devem ser amenizados. As Normas Reguladoras de Mineração (NRM), em suas 22 ramificações, têm por objetivo disciplinar o aproveitamento racional das jazidas. Criadas e executadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNMP), essas normas regem as obrigações da empresa ao explorar os recursos minerais.

Segundo Almeida (1999), o que chamamos de materiais particulados, ou poeiras, são substâncias, sólidas ou líquidas, emitidas tanto por fontes naturais quanto antropogênicas ou formadas na atmosfera e que, quando dispersas no ar, formam os chamados aerossóis (solução coloidal em que a fase dispersora é gasosa e a fase dispersa é sólida ou líquida). Quando emitidas diretamente por essas fontes, são formadas partículas primárias e, quando resultam da interação de compostos preexistentes na atmosfera, partículas secundárias. Essas partículas variam consideravelmente de tamanho, morfologia, composição química e propriedades físicas.

Regulamentada através da NRM 9 (1978), a prevenção contra a emissão de poeiras demonstra ser um processo oneroso e com grande desperdício de água. O principal método de combate à geração de poeira é a utilização de jatos de água, principalmente acoplados a caminhões pipa. Abordam também que esse método gera diversos problemas, tais como: trânsito nas pistas de rolamento, acidentes, ineficiência na uniformidade de aplicação da água e o elevado custo desse processo (HORTA, 2016). Além disso, de acordo com a lei ambiental 9605, de fevereiro de 1998, o que antes era apenas uma simples contravenção penal, hoje passa a ser punido como crime. Os gastos com o método podem variar de acordo com o porte do empreendimento, fluxo de tráfego, peso e quantidade de equipamentos, frequência de detonações, dentre diversos outros fatores.

A aspersão, nesse método, ocorre através de jatos de água nas vias de acesso, rampas, galerias e demais áreas de ocorrência e atividades de operação. Porém, métodos inovadores, como a utilização de polímeros, podem estar ganhando espaço no mercado, utilizando de eficiência, economia e sustentabilidade, tendo em vista que esse método pode possibilitar grande economia de água, um bem tão precioso e tendente à escassez. Segundo DECICINO, R. (2007), a água é um recurso finito, e somente 3% da água do planeta é doce, todavia é a mais utilizada na mineração para fins de operações de mina.

2. ASPERSÃO ATRAVÉS DE ÁGUA

O umedecimento adequado é extremamente importante para o controle de poeira. A grande maioria das partículas criadas durante o desprendimento da superfície, no caso, a fragmentação, não são liberadas no ar, mas permanecem presas à superfície de origem (CHENG e ZUKOVICH, 1973). Molhar esse material fragmentado garante que as partículas de poeira fiquem presas. Como resultado, adicionar mais água pode geralmente, mas nem sempre, ser contado para reduzir a poeira (JANKOWSKI e ORGANISCAK, 1983; RUGGIERI e JANKOWSKI, 1983).

Água comum não tratada é comumente usada para aspersão dessa poeira. O estudo de Rosbury e Zimmer (1983) mostrou que o uso de jatos de água, uma vez por hora, resultou em uma eficiência de controle de cerca de 40%. A duplicação da taxa de aplicação aumentou o controle eficácia de 15% para 55%.

2.1 Aspectos socioambientais

A mineração é um exemplo de atividade que contribui expressivamente para a emissão de materiais particulados no ar. Chamados de poeiras, esses fragmentos de materiais podem gerar riscos à segurança das atividades da mina, incluindo questões como visibilidade, ilustrada na Figura 1, e saúde, até mesmo da população não envolvida nas atividades minerais. No Brasil, como na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte das mineradoras, refinarias, siderúrgicas e polos petroquímicos encontram-se em centros urbanos, e são eles os principais responsáveis pelas emissões de poluentes na atmosfera (CICHOSKI; BIESDORF, 2009). Sabe-se que estes níveis de materiais emitidos ao meio ambiente são determinados conforme a Resolução 03/90, regulamentada pelo CONAMA, e devem ser mantidos desde a fase do licenciamento ambiental, antes mesmo da implantação do projeto (BRASIL, 2015). Um dos principais problemas dessa prática é a grande quantidade de água utilizada na aspersão, através de caminhões pipa ou fixa. Essa água não é reaproveitada, tendo como única finalidade umedecer o solo numa tentativa de contenção da poeira.

Figura 1 – Cortina de poeira gerada por caminhão



Fonte: Earth Alive (2015).

Segundo Rosbury e Zimmer (1983), outra questão a ser levada em consideração é a curta duração e eficiência de aspersão através desse método, o que permite uma maior emissão de particulados, que são prejudiciais aos trabalhadores e à população no entorno da mina. Sendo inalada, cada tipo de poeira, seja ela inerte, fibrogênica, sensibilizante ou tóxica, pode gerar diferentes complicações respiratórias. A FIEQUIMETAL (Federação Intersindical das Indústrias Metalúrgicas, Químicas, Eléctricas, Farmacêutica, Celulose, Papel, Gráfica, Imprensa, Energia e Minas) alerta em seu livro “Risco de exposição às poeiras” (2010), sobre o quão prejudicial ao ser humano é a inalação desses particulados, pois podem dar origem a doenças graves como a pneumoconiose, que é uma doença respiratória causada pela inalação de substâncias químicas (alumínio, grafite ou asbestos), provocando tosse frequente e dificuldade para respirar (FRAZÃO, 201-?). Se tóxicas, as poeiras podem causar lesões em um ou mais órgãos viscerais, de uma forma rápida e em concentrações elevadas (intoxicações agudas) ou lentamente e em concentrações relativamente baixas (intoxicações crônicas).

2.1.2 Água Doce

2.2 Aspectos técnicos e econômicos

Em ambos os aspectos, diversos fatores desfavoráveis podem surgir. Segundo uma empresa brasileira do ramo de caminhões pipa, seus veículos possuem capacidade média entre 10.000L e 30.000L, o que permite cobrir pequenas áreas através dos jatos de água, umidificando o solo se dispersos de forma homogênea, porém, em regiões de temperaturas mais elevadas, a utilização de caminhão pipa se torna bem mais difícil. Geralmente, locais com incidência de altas temperaturas já têm a falta de água como característica natural. Além

disso, mesmo após a umidificação, essa água evapora muito rápido devido ao clima, o que obriga a empresa a repetir o processo dezenas de vezes ao longo do dia, gerando grande gasto de combustível, desgaste dos equipamentos, aumento de tráfego e de mão de obra. Outra questão técnica importante é a insegurança e a insalubridade. As operações geram grandes quantidades de poeira e a aspersão de água só possibilita níveis satisfatórios de eficiência de contenção se aplicada em curtos intervalos de tempo. Do contrário, cortinas de poeiras são criadas, o que é extremamente perigoso para a operação, pois dificulta a visibilidade do operador e pode gerar acidentes.

3. ASPERSÃO ATRAVÉS DE POLÍMEROS

A palavra polímero vem do grego *poli*, que significa “muitas”, e *meros*, que é “partes”, isto porque as macromoléculas desses compostos originam-se através da ligação de várias unidades de moléculas bem pequenas, denominadas monômeros (FOGAÇA, 2016). Pensando em todas as limitações que o sistema através de água proporciona, polímeros começaram a ser utilizados para contenção, inicialmente, apenas de pilhas de minérios estocados e em transporte ferroviário, no qual o polímero se aderiu à superfície do material, impedindo o seu desprendimento por ação do vento, para não ser projetado para fora dos vagões. Atualmente, os polímeros são usados para contenção também de poeiras nas operações dentro da mina, principalmente em países como Canadá e Austrália, e após estudos mostraram ser imensamente vantajosos em quase todos os aspectos.

3.1 Polímeros x água

Na lavra de uma mina ocorre a aplicação da água em diversas operações como desmonte, carregamento e transporte, abatimento de poeiras nas vias de acesso, drenagem da mina, e alguns métodos que trabalham diretamente com água, como desmonte hidráulico e por dragas. Outra forma de utilização de água em mina a céu aberto é o processo de caminhões pipa para molhar as vias de acesso com a finalidade de abatimento da poeira em suspensão (FROES; CESAR; ALLAN; ROCHA, 2011). A geração de poeira durante o manuseio de minérios acarreta uma série de problemas, entre os mais graves está a poluição do ar.

Em função do risco associado à inalação de poeira, diversos mecanismos de controle têm sido adotados. O uso de água como agente supressor de particulado é uma opção viável para se inibir a geração de poeira. A adequada escolha do mecanismo de supressão é feita a partir da caracterização do material gerador de poeira (SANTOS Jr. et al., 2017). Na sociedade contemporânea, os polímeros vêm substituindo gradualmente os materiais convencionais em quase todos os setores da economia, não só por seu baixo custo, mas também em consequência do desenvolvimento contínuo de sua funcionalidade. Apesar do apelo visual comercialmente interessante, são suas propriedades físicas e químicas que os fazem tecnologicamente atraentes. Os polímeros degradam-se por vários mecanismos e essa deterioração pode dar-se de forma gradual ou mais rapidamente. Em particular, os polímeros formados por hidrocarbonetos são resistentes ao ataque químico e biológico, de tal forma que isso lhes assegura longevidade mediante microrganismos (FECHINE, 2017).

Comparados à água, os polímeros apresentam uma maior eficiência de contenção. Existem diferentes tipos de polímeros, dos quais se destaca o *Dust Stop*, um polímero utilizado no controle da poeira em vias sem pavimentação. Pode ser encontrado em duas formas: líquido concentrado e em pó. O produto é 100% atóxico, não-corrosivo, de fácil aplicação e com resultados duradouros. Tem compatibilidade com qualquer tipo de solo. Após a aplicação, o *Dust Stop* aglutina os grãos até formar uma superfície rígida e desempoeirada. Além do uso no controle de poeira em pistas de rolagem, pode ser usado em pilhas de minérios, pilhas de rejeito, controle de erosão, pistas de pouso, estacionamentos, hidro-semeaduras e diversas outras aplicações.

Conforme publicado pela Asperminas (2008), o *EarthZyme*, utilizado como estabilizante de solo, aglutina os grãos da superfície das estradas, tornando-as rígidas. O produto torna ainda o solo mais denso e com menor permeabilidade, o que gera uma pista de superfície mais duradoura, mesmo durante o período chuvoso. Atua sobre a porção argilosa do solo, liberando a água do mesmo, com efeito permanente (estabilização por muitos anos). O *EarthZyme* se decompõe em 28 dias, e também o *UltraZyme*, que é um composto utilizado no processamento de rejeitos orgânicos, controlando o mau cheiro. Fabricado em forma de pó concentrado, tem o transporte com custo reduzido. O produto atinge a causa do problema de mau cheiro, eliminando o mesmo permanentemente. O *UltraZyme* é completamente atóxico e orgânico, sendo 100% ecológico. Controla parâmetros como DBO (demanda bioquímica de oxigênio), sólidos totais em suspensão, turbidez, gorduras, óleos e lubrificantes, sólidos e sedimentos precipitados. Isso faz com que melhore a qualidade e a transparência da água.

Segundo a indústria alemã fabricante do biopolímero em estudo, neste trabalho referenciada como Empresa X, o produto, também chamado de supressor natural, pode atingir até 100% de controle da poeira, isto é, controle total ou quase total de toda poeira emitida na atividade mineradora. Já com a água, entre 50% e 60%, se aplicada em curtos intervalos. Além disso, os polímeros utilizam cerca de 10% a 20% do total de água gasto por caminhão pipa, o que é um percentual altamente considerável para a maior parte das regiões.

Em sua maioria, os polímeros não são poluentes, alguns oriundos de seiva de árvores, cana de açúcar, casca de laranja, dentre outros materiais que já estão no mercado. Dados coletados pela Empresa X indicam que os polímeros comuns duram em média de 4 a 5 horas, o que é 10 vezes maior que o efeito do método por jatos de água. Também possibilita maiores intervalos de aplicação, o que gera uma série de benefícios para a mineradora, como aumento do tráfego na mina, menor desgaste dos equipamentos, economia em combustível, e melhor aproveitamento da mão de obra e de caminhões, tendo em vista que operadores e equipamentos poderiam ser realocados para outras atividades. Essas são algumas vantagens que indicam que a utilização dos polímeros tende a dominar o setor.

4. SUPRESSOR NATURAL

A maioria dos estudos dedicados a supressores afirma que o melhor supressor é aquele que molha melhor os particulados finos, pois diminui seu ângulo de contato, ou seja, apenas caracteriza-se como supressor o produto que molhar um dado material, o qual não se correlaciona diretamente com a capacidade de suprimir a poeira (CRISTOVICI, 1991). Diante disso, alguns estudos vêm sendo elaborados, visando desenvolver técnicas para avaliar a eficiência dos supressores. Uma delas é o uso de uma torre de poeira, a qual simula o comportamento do material durante seu manuseio (COPELAND e KAWATRA, 2011). O objetivo da empresa responsável pelo desenvolvimento do biopolímero, segundo entrevista com um de seus representantes no Brasil, foi criar o projeto *Dust Supressant*, caracterizado pelo desenvolvimento de um polímero orgânico e biodegradável, visando suprir essa necessidade de contenção, buscando sustentabilidade no processo, economia de água e demais benefícios dos polímeros, através de um produto natural. A criação desse polímero teve como objetivo a contenção de poeiras geradas pelo tráfego de caminhões de grande porte, detonações e grandes emissões de particulados. Diferente dos polímeros que já vinham sendo utilizados, segundo a empresa, o novo polímero não tem como foco a utilização para transporte e armazenamento de pilha de minério, considerando que produtos mais baratos e de menor capacidade são suficientes para esse tipo de desagregação.

O produto foi lançado no mercado externo há quatro anos, e no Brasil há três anos, e inicialmente testado em áreas críticas quanto à escassez de água ou em áreas insalubres, como África, Oriente Médio, regiões desérticas. Posteriormente, a Empresa X começou testes e aplicações no Chile, Peru, Guatemala, México, Canadá, dentre outros, iniciando a comercialização e fechamentos de contratos com grandes empresas do setor.

4.1 Composição

Também chamado de Biopolímero, o supressor natural é uma mistura de produtos de origem vegetal contendo substâncias derivadas de fibras naturais e água para sua diluição, que pode ser de origem industrial, reuso, entre outras. Através da reintrodução desses compostos naturais, já encontrados naturalmente no solo, é possível recriar condições que impeçam que o pó se disperse na atmosfera, ajudando na retenção da umidade e impossibilitando a fuga de particulados, mesmo sem a existência de grama ou outro tipo de vegetação.

4.2 Aplicação

A aplicação do Biopolímero, assim como os testes de medição de poeira, é realizada pela Empresa X, responsável pelo produto. O solo do local precisa ser escarificado, geralmente através de *moto scraper*, que é um trator articulado, no qual a parte traseira ou caçamba tem uma espécie de lâmina na parte de baixo para fazer a raspagem da terra, conforme ilustra a Figura 2. Após a escarificação, o solo precisa ser nivelado, umidificado para receber o produto. Após a aplicação, compactado, utilizando-se um rolo compressor, conforme a Figura 3.

Figura 2 – Escarificação da via de acesso



Fonte: Earth Alive (2015).

Figura 3 – Compactação do solo



Fonte: Earth Alive (2015).

A Figura 4 mostra o equipamento após feita a instalação de uma barra adaptada com bicos distribuídos ao longo do comprimento, que possibilita a dissipação do produto proporcionalmente ao longo da via. Tudo é controlado através da velocidade de avanço do caminhão e a pressão nos bicos. Utiliza-se de 1 a 2 litros do produto, a 100% de pureza na primeira aplicação. Depois disso, as manutenções periódicas são feitas com o produto diluído em até 10%. O tempo necessário para o produto agir é cerca de 20 minutos, porém, recomenda-se entre 45 minutos e 1 hora e meia sem tráfego sobre a aplicação. O aspecto da rodovia após a aplicação está exemplificado na figura 4.

Figura 4 – Aplicação com barra adaptada



Fonte: Earth Alive (2015).

Figura 5 – Aspecto após aplicação



Fonte: Earth Alive (2015).

4.3 Eficiência

O supressor natural demonstrou 80% de eficiência, podendo chegar a 100%, comprovada em testes práticos. O custo é baixo comparado a outros polímeros existentes no mercado, sendo necessários 2 litros para cobrir uma área de 1m² tanto em sua aplicação quanto nas manutenções. Após o programa de controle de poeira ser instalado em uma empresa contratante, um técnico mantém o monitoramento periódico, através de um medidor, sempre atento ao tempo de reaplicação. O maior diferencial de seu supressor natural, segundo a Empresa X, é a capacidade de seu produto permitir um intervalo entre 7 e 20 dias até a reaplicação, que

varia dependendo do tráfego de equipamentos e do clima local. Comparado aos polímeros existentes de mesma finalidade e estrutura, o produto é 30 vezes superior, considerando que seu efeito dura, em média, de 5 a 6 horas. Já em relação ao método por caminhões pipa somente com água, a superioridade é ainda maior, tendo em vista a curta duração do efeito do primeiro.

4.4 Mercado

Na sociedade contemporânea, os polímeros vêm substituindo gradualmente os materiais convencionais em quase todos os setores da economia, não só por seu baixo custo, mas também em consequência do desenvolvimento contínuo de sua funcionalidade. Apesar do apelo visual comercialmente interessante, são suas propriedades físicas e químicas que os fazem tecnologicamente atraentes (FECHINE, 2017).

O supressor natural já é uma realidade no mercado da mineração canadense, assim como de alguns países da América do Sul, e está em fase de iniciação no mercado brasileiro, com contratos em fase final de negociação com grandes empresas. O custo do produto varia entre US\$0,50 e US\$2 por litro, o que acarretaria num considerável investimento inicial para utilização da técnica. Porém, a Empresa X afirma que ganhos técnicos e ambientais superam de diversas formas os custos de investimento inicial e manutenção do produto.

5. PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

5.1 Metodologia de aplicação Biopolímero - Preparação de estrada

As estradas foram escarificadas até uma profundidade de aproximadamente 15 cm e niveladas em seguida. Não foi possível compactar a superfície com rolo após a aplicação do supressor natural, devido à indisponibilidade de rolos no local da mina, conforme foi comunicado desde o início pelo cliente. Uma compactação superficial do solo foi realizada após a aplicação.

5.1.1 A aplicação inicial

O produto foi aplicado com pressão, através de um sistema de barra de pulverização instalado em um caminhão de água. A dosagem realizada foi de 2L/m² de supressor de poeira (produto concentrado 100%). O produto foi aplicado na estrada de acesso da portaria. Essa estrada também funciona como uma área de circulação de funcionários e recebimento de material de outras minas, e o tráfego através dela continuou funcionando normalmente.

Para a característica do solo, especialmente para o alto teor de material fino, a penetração do produto foi quase instantânea.

5.1.2 Manutenção de Biopolímero diluído em água

O programa de manutenção periódica do produto é importante para manter a curva de desempenho das fibras. Assim, elas podem continuar a atingir os seus objetivos de compactação do solo, reduzindo o partícula fugitivo. A manutenção não exige uma preparação especial de superfície, ela consiste apenas em uma aplicação do produto diluído em água, em diferentes concentrações e menos frequentes em áreas regulares.

5.1.3 Primeira manutenção

O produto foi aplicado por meio de gravidade, com uma dosagem realizada através do produto diluído a 50% de Biopolímero e 50% de água, com um fluxo de 2L/m² e consumo de Biopolímero de 4.000 litros.

5.1.4 Segunda manutenção

O produto foi aplicado por meio de gravidade, com uma dosagem realizada através do produto diluído a 23% de Biopolímero e 77% de água, com um de fluxo de 2L/m² e consumo de Biopolímero de 2.800 litros.

5.2 Consumo de água na área tratada

O consumo de água durante os 30 dias do teste foi reduzido para um total de 36.000 litros (36 m³). A água foi usada somente três vezes, sendo 20.000 litros (20m³) para umidificar a área de aplicação inicial, 4.000 litros (4m³) para diluir o produto para a primeira manutenção e 12.000 litros (12m³) para diluir o produto para a segunda manutenção. A empresa mineradora consumia anteriormente cerca de 960.000 litros (960 m³) de água em 30 dias, nessa mesma área. Com o uso de Biopolímero, foram consumidos apenas 36.000 litros (36 m³) durante o mesmo período de tempo. Com base nessas informações, é possível confirmar uma redução de 96.25% no consumo de água, um número muito superior para o KPI de 80%, determinado anteriormente.

5.3 Testes de campo

Foram realizados testes em uma mina de ferro do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, que não é uma exceção à necessidade de constante otimização para o mundo da mineração, especificamente no que diz respeito aos desafios da emissão de material particulado e à economia dos recursos hídricos nas operações, bem como segurança e salubridade dos funcionários. Assim, conforme solicitado pela mina, a equipe técnica da Empresa X realizou um teste para avaliar o desempenho do supressor de poeira de Biopolímero em suas estradas. A presente avaliação e a execução de atividades no campo determinaram o desempenho, o comportamento, a segurança e a viabilidade econômica da implementação de um programa de controle de poeira *ecofriendly* sustentável nas operações. A palavra *ecofriendly* é um termo conhecido como amigável ao meio ambiente e se refere a produtos, serviços, diretrizes políticas e atitudes que têm o objetivo de causar o menor dano possível à natureza, segundo a revista PENSAMENTO VERDE (2013).

5.4 Objetivos do teste de campo

O objetivo da realização do teste foi validar o desempenho do Biopolímero como um supressor de poeira com KPI.

5.5 Ganhos adicionais

Como ganho adicional no uso do produto, destaca-se 99% do controle de poeira nas áreas tratadas, nas quais uma superfície mais firme é formada, tornando a circulação mais segura na estrada ocupada. Além disso, ocorre uma redução nas horas de operações perdidas com caminhão de água enviado ao encontro de outros tipos de veículos produtivos nas operações da mina. Também foi constatado um índice de 100% de visibilidade na zona durante o período de teste. Essas informações demonstram os benefícios, a longo prazo, do uso do Biopolímero nas estradas pertencentes à mina em questão, para controlar emissões de poeiras, proteger a saúde dos trabalhadores, melhorar a eficiência operacional (*Opex*) e acima de tudo, reduzir o consumo de água.

5.6 Detalhes de execução de teste

Para complementar a metodologia do trabalho, serão detalhados aspectos da preparação e execução dos testes, do local, do tipo de solo e outros.

5.6.1 Descrição de zona geográfica

O ensaio foi realizado em uma mina localizada em uma região entre as cidades mineiras de Ouro Preto e Congonhas, no sudeste do Brasil no estado de Minas Gerais (Figura 6), onde prevalecem condições climáticas com duas estações bem definidas: o período de chuva e a estação seca. A umidade relativa do ar é alta e a temperatura é sempre agradável, não apresentando excesso de calor ou frio em nenhuma das estações.

Figura 6: Mapa da Região da Pesquisa



5.6.2 Descrição da estrada

A localização do ponto em que foi realizado o teste na estrada corresponde à parte de acesso à mina, junto ao acesso da portaria a estradas de recebimento de minérios. O tráfego nesse local não se caracteriza por uma alta tonelage de caminhões circulantes. No entanto, ali trafegam caminhões pesados, máquinas de mineração, caminhões de serviço, caminhões leves e veículos convencionais, visto que a estrada é compartilhada com alguns acessos às demais áreas da mineradora.

O teste foi realizado em uma área de 5000 m² (200 m de comprimento x 25 m de largura). Esta área possui características pertencentes à estrada de zona de teste base. A aplicação do produto foi realizada em uma estrada de argila (terra vermelha), com grande quantidade de pedras soltas e material fino, numa concentração média de 70% de material fino e 30% de cascalho.

5.7 Tratamento convencional da estrada

A mina mantém essas estradas e todos os demais caminhos, usando caminhões pipa que executam uma irrigação permanente com água para minimizar a poeira gerada pelo trânsito dos veículos. A manutenção, para obter condições operacionais ideais, é uma preocupação contínua da direção de operação de mineração, sendo que uma média de 7,6 litros de água por m² são utilizados diariamente.

5.8 Parâmetros de aplicação

Para avaliar uma possível melhoria no tratamento da estrada, a mina de minério de ferro, localizada no quadrilátero ferrífero, realizou o teste de campo atual com supressor de poeira.

5.9 Cronograma de testes

O cronograma do Quadro 1 mostra as datas e o acompanhamento dos testes com o uso do supressor de poeira do Biopolímero na mina de minério de ferro.

Quadro 1: Cronograma de testes

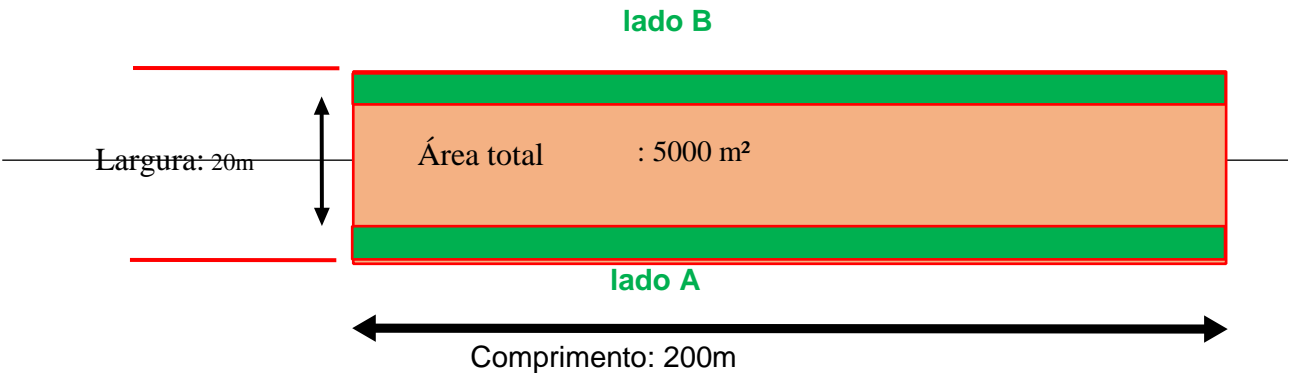
DATA DOS TESTES	
07 de agosto de 2017	
Primeira aplicação	Com produto concentrado: 2L/m² Consumo de supressor: 8.000L
17 de agosto de 2017	
Primeira manutenção	Produto diluído: 50% de supressor e 50% de água com fluxo de 2L/m² Consumo de supressor: 4.000L
5 de setembro 2017	
Segunda/última manutenção	Produto diluído: 23% de supressor e 77% de água com fluxo de 2L/m² Consumo de supressor: 2.800L

Fonte: Empresa X (2017).

5.10 Eventualidades do teste

Foram obtidas duas eventuais situações durante a realização dos testes, onde um menor volume de supressor foi utilizado em comparação ao que foi estipulado na proposta original. Esse fato ocorreu devido à mudança da zona de ensaio da proposta inicial, passando a área de aplicação para um trecho de 250 m de comprimento. Acidentalmente, os operadores do caminhão pipa realizaram uma molhagem dessa mesma área no dia 17 de agosto e tal situação foi aproveitada para fazer a primeira manutenção, tendo em vista que ainda não era necessária a intervenção. A Figura 7 representa a área total do teste.

Figura 7: área total abrangida pelo teste



Fonte: os autores (2018).

5.11 Resumo do KPI – Monitoramento de poeira

Serão apresentados os dados e resultados do monitoramento, da medição e redução de poeira na área de teste da mina.

5.11.1 Medição das emissões de poeira

Quanto à quantidade de emissão de poeira, medida com *DustTrak*, equipamento instalado no formato estático e móvel, foi verificada uma diminuição significativa na área tratada, em comparação com a zona não tratada. A emissão de partículas de poeira diminuiu em 98%.

5.11.2 Redução de poeira – resultados do KPI

Os resultados do monitoramento demonstraram que o uso do supressor de poeira, combinado à manutenção em intervalos de 7 a 12 dias, com o produto diluído em água, permitiu uma redução importante na emissão de poeira. Um índice de diminuição de 98% foi verificado, utilizando-se a metodologia de medição móvel. Esses resultados mostram que os KPI desejados com o Biopolímero foram cumpridos de forma eficiente.

5.12 Resumo do KPI – Consumo de água

Serão apresentadas as informações sobre o consumo de água na área de teste da mina.

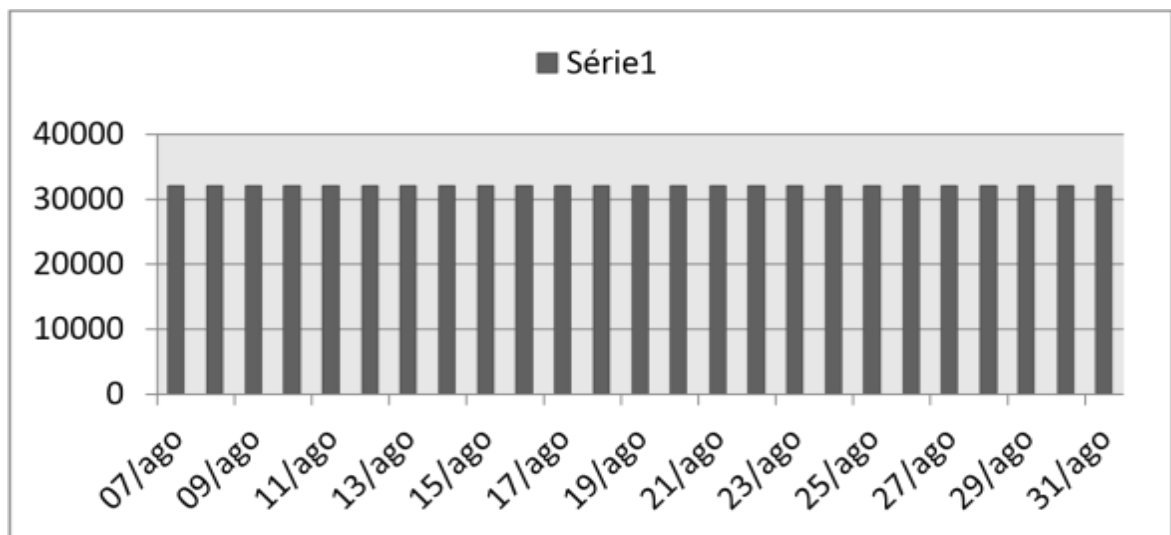
5.13 Redução no consumo de água

A economia de água foi calculada com base nas médias históricas da mina de minério de ferro, de acordo com o seu consumo atual.

A média diária de consumo de água base sem aplicação do supressor é de aproximadamente 8 litros / m², para atenuar a poeira na zona testada, que abrange uma área total de 4.000 m². A Tabela 1 mostra o consumo de água que seria necessário para a irrigação da estrada durante 30 dias antes do teste, um total de 960.000 litros (960 m³) de água.

Já o consumo de água em área tratada com Biopolímero, apresentou uma diminuição para um total de 36.000 litros (36 m³), pois foi utilizada água apenas três vezes durante os 30 dias de teste, sendo 20.000 litros para umidificar a área de aplicação inicial, 4.000 litros para diluir o Biopolímero na primeira manutenção e 12.000 litros para diluir na segunda manutenção, como indicado na Tabela 1.

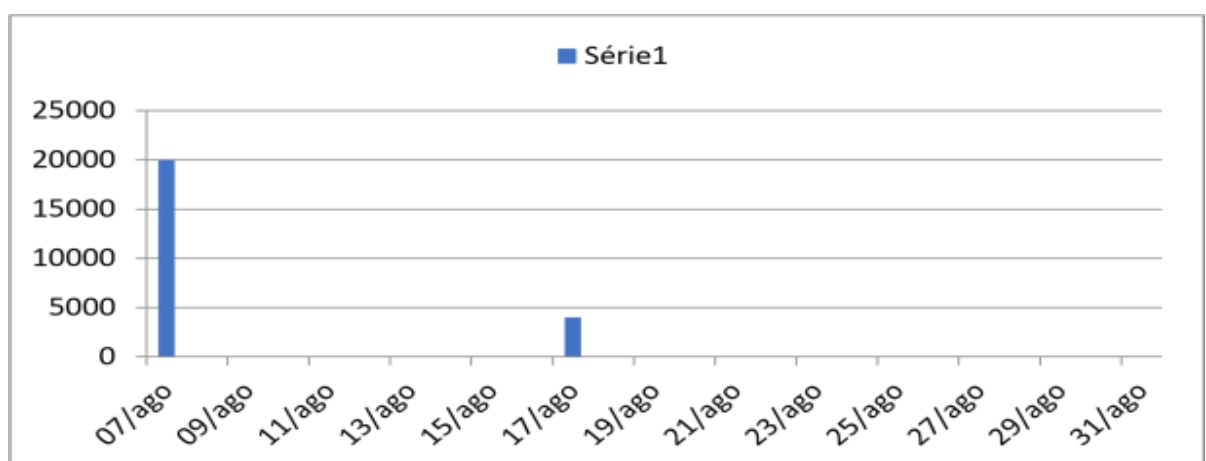
Tabela 1: Consumo de água, sem supressor



Fonte: os autores (2018).

Usando apenas água para mitigação de pó na zona de teste, a empresa de mineração consome 960.000 litros (960 m³) em 30 dias, como mostrado na Tabela 2. Com o uso do inibidor de poeira, somente 36.000 litros (36 m³) foram consumidos durante o mesmo período de tempo. Esses dados representam uma diminuição no consumo de água de 96.25%, em comparação com o caso base, cumprindo o KPI.

Tabela 2: Consumo de água (l) durante os testes



Fonte: Os autores (2018).

6. SEGUNDO ESTUDO DE CASO

Será realizada outra análise de comparação, essa sobre os gastos com funcionários e equipamentos entre o método de aspersão por água, utilizando um caminhão pipa, e o método de aspersão através do Biopolímero. A análise será feita em uma via de acesso à mina de 7 (sete) quilômetros de extensão, no período de 30 (trinta) dias de contenção de poeira.

6.1 Dados

- Preço médio do diesel em fevereiro de 2018, segundo Trevizan (2018): R\$ 3,40/L;
- Distância média que o caminhão pipa percorre por litro de Diesel (dependendo inteiramente de qual tipo de caminhão utilizado): 3 km/L;
- Custo homem x hora (valor com base em média salarial de motorista de caminhão pipa de uma empresa do ramo da mineração): R\$ 8,00;
- Tempo total de análise: 30 dias;
- Distância percorrida 7 km;
- Velocidade média: 30 km/hora;
- Tempo para percorrer o percurso: 14 minutos;
- Funcionamento da mina: 24 h/dia;
- Serão consideradas 14 horas de utilização diária do caminhão pipa, devido a fatores como: horário de almoço, trocas de turno, paradas de abastecimento, tráfego, detonações e imprevistos.

6.2 Cálculo de gastos com equipamentos

a) Aspersão por água

Foi utilizada uma média alta, pela qual, a cada 1 hora, seria necessária uma nova manutenção. Portanto em 14 horas seriam realizadas 14 manutenções, percorrendo o total de 98km diários.

- Custo de combustível: $98 \text{ km} / 3 \text{ km/L} = 32,6 \text{ Litros}$;
 $32,6 \text{ Litros} \times \text{R\$ } 3,40 \text{ (1L)} = \text{R\$ } 110,84/\text{dia} = \text{R\$ } 2.438,48 \text{ (22 dias de trabalho)}$.

b) Aspersão pelo Biopolímero

Entre 7-8 dias, faz-se necessária uma nova manutenção, portanto, em 30 dias seriam realizadas 4 manutenções, percorrendo o total de 7 km cada.

- Custo de combustível: $7 \text{ km} / 3 \text{ km/L} = 2,3 \text{ Litros}$;
 $2,3 \text{ Litros} \times \text{R\$ } 3,40 \text{ (1L)} = \text{R\$ } 7,82/\text{dia} = \text{R\$ } 31,28 \text{ (4 manutenções)}$.

6.3 Cálculo de gastos com funcionários

a) Aspersão por água

- Quantidade de horas trabalhadas no mês (motoristas em turnos): $(14 \text{ horas diárias} \times 22 \text{ dias}) = 308 \text{ horas/mês}$.
- Custo: $308 \text{ horas} \times \text{R\$ } 8,00 = \text{R\$ } 2.464,00$ —

b) Aspersão pelo Biopolímero

- Quantidade de horas trabalhadas no mês (motorista): (4 vezes ao mês x 14 minutos) = 56 minutos/mês. Porém, será considerada cada manutenção como 1 hora trabalhada.
- Custo: 4 horas x R\$ 8,00 = R\$ 32,00.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o primeiro estudo de caso, pode-se concluir a eficiência do supressor de poeira com Biopolímero, validado positivamente na mina de minério de ferro. A conclusão mais relevante do teste de campo é que foi possível o cumprimento de 100% da tarefa da avaliação dos KPIs, obtendo uma redução do consumo da água na zona de teste em 96% e uma redução de poeira em 98%. Foi possível alcançar 100% do controle de poeira nas áreas tratadas, aumentando a estabilidade da estrada com a aplicação de supressor na superfície. Não foi constatada nenhuma perda de aderência dos pneus após a aplicação. Também se pode concluir que o supressor de poeira em estudo apresentou resultados positivos na redução do consumo de água utilizada para a manutenção das estradas. Além disso, o uso do Biopolímero proporcionou uma maior estabilidade e uma aparência mais compacta para a estrada, reduzindo rachaduras, ondulações, buracos e imperfeições decorrentes do tráfego intenso. Isso representa uma conquista importante, relacionada aos objetivos estratégicos da gestão da mina de minério de ferro, comprovando que o Biopolímero pode ser um aliado estratégico no cumprimento dos mesmos.

Após análise dos dados propostos pelo segundo estudo, conclui-se que após a utilização do Biopolímero, os gastos com combustível foram reduzidos em 92,8% ao dia, e 98,6% ao mês, se comparados ao método por aspersão com água. Já em relação aos funcionários, a diminuição de gastos foi ainda mais relevante. Em 30 dias, o gasto foi 98,7% menor e os funcionários envolvidos no processo poderiam ser melhor aproveitados em outras áreas, uma vez que a manutenção só se faz necessária quatro vezes ao mês. Porém, o produto mostra grande investimento na primeira aplicação e diferentes variáveis para comprovação da viabilidade econômica de sua utilização, dependendo inteiramente das operações individuais de cada mina.

Portanto, fazem-se necessários novos estudos com um maior detalhamento de todas as atividades envolvidas na aspersão, incluindo cálculos que envolvem desde os gastos com a obtenção de água, até desgastes dos equipamentos envolvidos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No atual mercado mineral, as atenções vêm se voltando cada vez mais para soluções alternativas que mitigam os impactos ambientais consequentes de suas operações, principalmente para aquelas diretamente prejudiciais ao ecossistema e à saúde ocupacional de seus funcionários e colaboradores. A poeira dificulta operações dentro do ambiente minerador, e questões como falta de visibilidade prejudicam a segurança, geram atrasos no fluxo de máquinas e equipamentos. A geração de poeira em excesso tem também relevante impacto na saúde dos trabalhadores e da população próxima às atividades da mina, provocando diferentes doenças respiratórias ou agravando-as.

O supressor natural mostrou ser eficiente no controle de emissão dos particulados, o que reduz esses impactos negativos e possibilita melhores condições de trabalho a todos os envolvidos nas atividades das mineradoras.

Os estudos também mostraram que o Biopolímero pode ser uma alternativa a ser considerada em relação aos expressivos desperdícios de água nas atividades da mineração. Segundo o Jornal da Globo (2015), em reportagem publicada no G1, portal de notícias da Globo, a falta de água já afeta mais de 40% da população do planeta Terra, e o setor mineral tem sua parcela de contribuição nesse índice, já que grande parte da água consumida em suas atividades não pode ser reaproveitada. O supressor age auxiliando na diminuição desse desperdício, pois cria uma espécie de barreira natural de proteção ao solo, impedindo o material de se fragmentar e ser emitido na atmosfera durante seu tempo de atuação. Ao utilizar este método de supressão, evita-se a aspersão de poeira através de caminhões pipa, reduzindo consideravelmente o uso da água doce no processo, um recurso natural precioso e tendente à escassez.

Entretanto, os resultados do trabalho apontam para a necessidade de mais testes e estudos em relação à utilização do Biopolímero, principalmente no quesito relativo à viabilidade econômica, pois envolve cálculos pertinentes a cada empreendimento minerador.

9. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. T. de. **Poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação (mestrado). Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas, 1999, 194p.
- ASPERMINAS. **Polímeros** 2008. Disponível em: <http://www.asperminas.com.br/polimeros.html#>. Acesso em: 11/06/2018
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Disponível em: Acesso em: 27 mar. 2015.
- CHENG L., ZUKOVICH P. P. **Respirable dust adhering to run-of-face bituminous coals**. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 7765. NTIS No. 1973, PB 221- 883.
- CICHOSKI; SOUZA; BIESDORF. **Determinação da concentração de material particulado no ambiente da pedreira Municipal de Santa Helena**. Paraná, 2009. Disponível em: <http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/ptr/article/view/970> Acesso em: 11 abr. 2015.
- COPELAND, C. R, KAWATRA S. K. **Design of a dust tower for suppression of airborne particulates for iron making**. Minerals Engineering 2011; vol. 24, 1459-1466.
- CRISTOVIC, M. A. Investigation to control mine dust using surfactants and a new approach for eliminating their negative effect on flotation. **Minerals & metallurgical processing**, 1991, vol. 8, 38-42.
- DECICINO. R. **Água potável: Apenas 3% das águas são doces**. 2007. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/agua-potavel-apenas-3-das-aguas-sao-doces.htm> Acesso em: 25/04/2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Pernambuco. **Normas Reguladoras de Mineração (NRM)**. Disponível em: http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_00.php. Acesso em: 11/12/2017.
- EARTH ALIVE. **Dust Supression** <http://earthalivect.com/business-units/dust-suppression/>. Acesso em: 11/12/2017.
- FECHINE, G. J. J. F. **A era dos polímeros biodegradáveis**. Disponível em: https://www.crq4.org.br/sms/files/file/eventos/forum_ensino_superior_2017/palestra_guilhermino_fechine_mac_kenzie.pdf
- FEDERAÇÃO INTERSINDICAL DAS INDÚSTRIAS METALÚRGICAS, QUÍMICAS, ELÉTRICAS, FARMACÊUTICA, CELULOSE, PAPEL, GRÁFICA, IMPRENSA, ENERGIA E MINAS. (FIEQUIMETAL). **Risco de exposição às poeiras**. Disponível em: http://www.fiequimetal.pt/imagens/livros/Poeiras_2010.Pdf. Acesso em 11/12/2017.
- FOGAÇA, J. **O que são os polímeros**. Manual da Química. 2016. Disponível em: <https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm> Acesso em 05/04/2018.
- FRAZÃO, A. [201-?] **Pneumoconiose**. (201-?) Disponível em: <https://www.tuasaude.com/pneumoconiose>.
-

Acesso em 05/04/2018.

FROES, M. F. M.; CESAR, J. C. P.; ALLAN, P. A. S. S.; ROCHA, L. R. S. **A importância da água e suas diversas aplicações na mineração.** 2011. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV064_MD4_SA5_ID1824_10102016094525.pdf> Acesso em: 11/06/2018

HORTA, S. L. L. [2016]. Aspersão Fixa: tecnologia eficiente gera redução de custos no controle de poeira. **Revista Minérios e Minerales.** Disponível em: <<http://revistaminerios.com.br/aspersao-fixa-tecnologia-eficiente-gera-reducao-de-custos-no-controle-de-poeira/>> Acesso em 05/04/2018.

JANKWOSKI, R. A.; ORGANISCAK, J. A. **Dust sources and controls on the six U.S. longwall faces having the most difficulty complying with dust standards.** Pittsburgh, P.A.: U.S. Department of the Interior, IC 8957. NTIS No. PB84-142058, 1983.

JORNAL DA GLOBO. **Escassez de água já afeta mais de 40% da população do planeta Terra.** 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2015/08/escassez-da-agua-ja-afeta-mais-de-40-da-populacao-do-planeta-terra.html>> Acesso em: 14/05/2018

JÚNIOR, T. A. F. J.; ARAÚJO, V. A. A.; DODE, A. C. D. Redução na emissão de material particulado na mineração gerado pela movimentação de caminhões na Mina de Capão Xavier, Nova Lima, Minas Gerais. **Revista Petra.** ISSN: 2359-5302, 2016. Disponível em: <<http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/ptr/article/view/970/800>> Acesso em: 25/04/2018.

NEVES, Lucas Dal-Rios, **Minimização de custos de um sistema aspersor de polímeros em vagões, Belo Horizonte, MG.** 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9CAFGH/minimiza_o_de_custos_de_um_sistema_aspersor_de_pol_meros_em_vag_es.pdf?sequence=1> Acesso em: 09/05/2018.

PENSAMENTO VERDE. 2013 **Conheça o termo e alguns produtos eco-friendly.** Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/produtos/conheca-o-termo-e-alguns-produtos-eco-friendly/>> Acesso em 22/05/2018.

ROSBURY, K. D.; ZIMMER, R. A. **Cost-effectiveness of dust controls used on unpaved haul roads.** Volume 1: Results, analysis, and conclusions. PEDCo Environmental, Inc. U.S. Bureau of Mines contract, N° J0218021. NTIS N° PB 86-115201, 1983.

RUGGIERI S.K.; JANKWOSKI, R. A. **Fundamental approaches to longwall dust control.** In: Proceedings of the Symposium on Control of Respirable Dust. Beckley, WV, Oct. 4-8, 1983.

SANTOS JR, R. M.; RAMALHO, R. V. C.; CUNHA, A. J. L.; AMARANTE, A. L.; GONTIJO, C. F.; LEAL FILHO, L. S. **Bancada para caracterização de emissão de poeira de minérios e técnicas de supressão de poeira.** 2017. Disponível: <https://www.researchgate.net/profile/ronaldo_menezes2/publication/320765001_bancada_para_caracterizacao_de_emissao_de_poeira_de_minerios_e_tecnicas_de_supressao_de_peira/links/59f9e15ea6fdccac74277a54/bancada-para-caracterizacao-de-emissao-de-poeira-de-minerios-e-tecnicas-de-supressao-de-poeira.pdf>. Acesso em: 09/05/2018.

TREVIZAN, K. **Preço da gasolina nas bombas sobe pela 14ª semana seguida, segundo AN.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/preco-da-gasolina-nas-bombas-sobe-pela-14-semana-seguida-segundo-anp.ghtml>> Acesso em: 25/04/2018.
