Artigo

Supressão de Material Particulado de Minério de Ferro Utilizando Mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L.)**Gama, L.A.*; Spadetto, C.; Francisco, C.S.; da Silva Filho, E.A.***Rev. Virtual Quim.*, 2021, 13 (2), 383-394. Data de publicação na Web: 22 de Janeiro de 2021<http://rvq.sbg.org.br>**Suppression of Iron Ore Particulate Matter Using Chia Mucilage**

Abstract: In this work, it was studied chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) for the suppression of iron ore particulate matter transported by railways. Tests were carried out in a transport simulator by a railroad gondola at 60 km/h speed. Chia mucilage was removed from the seeds by using a hand blender with propellers coated with silicone and then sprinkled on iron ore in a 1:20 (43.0 x 11.5 x 10.0 cm) scale wagon prototype in relation to the real one. The concentration of 2% (w/w) of seeds in the water proved to be efficient for the control of particulate matters on days with low humidity, concentration of 1% (w/w) gave good results for days with high humidity, whereas pure water was not efficient in dust suppression. Chia mucilage has the capacity of retaining particulate matters, presenting promising use in the mining sector, thus helping to prevent diseases caused by these particles. Further studies are needed to improve the simulation of iron ore rail transportation.

Keywords: Chia mucilage; dust suppression; iron ore particulate; wind tunnel.

Resumo

Abstract: Nesse trabalho, foi estudada a utilização da mucilagem de chia (*Salvia hispanica* L.) para a supressão de material particulado de minério de ferro transportado por ferrovias. Os testes foram realizados em simulador de transporte por vagões do tipo gondola a uma velocidade de 60km/h. A mucilagem de chia foi removida das sementes pela utilização de liquidificador de mão com hélices revestidas com silicone e em seguida aspergida sobre minério de ferro, em um protótipo de vagão na escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm) em relação ao real. Concentração de 2% (m/m) de semente em água se mostrou eficiente para o controle de material particulado em dias com baixa umidade e a concentração de 1% (m/m) para dias com umidade mais elevada, enquanto que água pura não demonstrou eficiência na supressão de poeira. A mucilagem da chia demonstrou capacidade para retenção do material particulado sendo promissora sua utilização no setor de mineração, contribuindo assim a prevenção de doenças causadas por essas partículas. Estudos posteriores serão necessários para melhorar a simulação do transporte ferroviário de minério de ferro.

Palavras-chave: Mucilagem de chia; supressão de poeira; partículas de minério de ferro; túnel de vento.

* Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química. Av. Fernando Ferrari 514, CEP 29075-010, Goiabeiras, Vitória-ES, Brasil.

lucasalmeidagama@gmail.com
DOI: [10.21577/1984-6835.20200154](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200154)

Supressão de Material Particulado de Minério de Ferro Utilizando Mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L.)

Lucas de Almeida Gama* , Carolini Spadetto , Carla Santana Francisco , Eloi Alves da Silva Filho

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química. Av. Fernando Ferrari 514, CEP 29075-010, Goiabeiras, Vitória-ES, Brasil.

*lucasalmeidagama@gmail.com

Recebido em 11 de Agosto de 2020. Aceito para publicação em 30 de Novembro de 2020.

1. Introdução

2. Parte Experimental

2.1 Sementes de chia

2.2 Determinação de composição centesimal

2.3 Obtenção da mucilagem de chia

2.4 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

2.5 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

2.6 Análise de supressão de poeira

3. Resultados e Discussão

4. Conclusões

1. Introdução

Materiais particulados são líquidos ou sólidos suspensos no ar.^{1,2} Sabe-se que mesmo em baixas concentrações, dependendo do diâmetro, são responsáveis por danos significativos a saúde, sendo considerados os maiores causadores de doenças respiratórias e cardiovasculares. Visando padronizar e regular a emissão dessas partículas, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA - Environmental Protection Agency) classificou, em 1987, as partículas menores ou iguais a 2,5 µm de diâmetro (MP 2,5) e entre 2,5 a 10 µm de diâmetro (MP10) como as mais danosas.^{1,3-5}

O setor de mineração é responsável pela emissão de materiais particulados menores que 100 µm, sendo que as maiores partículas (acima de 30µm)

permanecem nas regiões próximas às emissões e, as menores tendem a serem carregadas pelo vento.⁶ Os materiais particulados podem percorrer longas distâncias devido à ação do vento e, dependendo da composição química, afetam bacias hidrográficas, solo, florestas e à diversidade de ecossistemas.^{7,8}

Para o controle das emissões de materiais particulados se pode empregar a técnica de supressão de pó utilizando sprays de água ou soluções poliméricas para umidificar os particulados, evitando sua dispersão. A supressão de pó é utilizada principalmente, no controle das fontes móveis (vagões) e fixas difusas (aleatórias, como um pátio de minério).^{3,6,9-11}

De acordo com Sartim *et al.*,⁹ a ação dos supressores se dá em duas etapas: a supressão primária, quando evita a emissão do particulado e a supressão secundária, quando age sobre a poeira emitida.

O uso de água para supressão do pó é amplamente difundido.^{3,12} Essa metodologia é eficaz, porém ela possui limitações como baixa viscosidade e a presença de partículas hidrofóbicas que não permitem uma captura adequada.^{4,5,13}

Atualmente, não se tem certeza de quais parâmetros são os mais relevantes para a supressão. Entretanto, é consenso que a forma mais eficaz é o aumento do peso das partículas, seja pelo umedecimento ou pela aglomeração.^{3-5,12}

Segundo Liu *et al.*,¹³ fatores como alta absorção de umidade, coagulação e solidificação prolongam a eficiência de um supressor de poeira. Conforme Copeland e Kawatra e Copeland *et al.*,^{4,5} soluções de compostos higroscópicos são mais efetivas que água pura.

Após a aplicação de soluções poliméricas de supressores de poeira em minério, forma-se um filme de proteção na superfície. Esse filme é responsável por minimizar a ação dos ventos sobre o minério e não necessita ser removido antes dos processos metalúrgicos, pois os polímeros estão presentes em pouca quantidade, são geralmente orgânicos e sofrem combustão em temperaturas consideradas baixas na metalurgia.⁷ Essas soluções também promovem a aglomeração de partículas e retenção de umidade.

Devido a efetividade de soluções poliméricas no controle de poeira e sabendo-se que compostos higroscópicos são efetivos como supressores, a busca por novos materiais como a mucilagem de sementes de chia é válida, pois essa mucilagem é altamente absorvedora de água, além de ser biodegradável.

A chia (*Salvia hispanica* L.) é um alimento consumido pelos povos mesoamericanos desde 3.500 a.C.^{14,15} A comumente denominada semente de chia é o seu fruto. A semente da chia, na verdade, está dentro desse fruto que possui ainda um pericarpo, células ósseas e o endocarpo em volta da semente. Mas a designação semente de chia deve ser utilizada para o fruto para uma melhor compreensão e adequação à nomenclatura comercial.^{16,17}

A semente de chia foi, inicialmente, estudada por Frei Bernardino de Sahagun durante a colonização espanhola, entre os anos de 1548 e 1580 e teve um hiato até a década de 90 quando pesquisadores argentinos, em conjunto com a Universidade do Arizona retomaram as pesquisas. A popularização dos seus benefícios à saúde vem tornando a chia um alimento funcional popular nos mercados da América Latina, EUA, Ásia e Oceania. As sementes, a farinha, a mucilagem e o óleo da chia são importantes devido suas propriedades físico-químicas.¹⁷⁻¹⁹

As sementes são grande fonte de nutrientes como proteínas, lipídeos (principalmente os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6), fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes.^{17,18,20,21} As fibras presentes na chia possuem propriedades físico-químicas interessantes. Na presença de água, por exemplo, as sementes liberam uma parte dessas fibras na forma de um gel claro denominado mucilagem, que permanece firmemente ligado à semente e vem sendo aplicado na formação de emulsões e no espessamento devido à grande retenção de água e óleos.^{16,22}

Amucilagem da chia é um gel heteropolissacarídeo aniônico pseudoplástico que resulta da liberação de filamentos que se linearizam totalmente na presença de água e distribuem-se ao redor da semente. Na semente a mucilagem representa 5-6% (m/m) da massa, possui alto peso molecular (800 – 2000 kDa) e sua produção ocorre pelas células presentes no epicarpo da semente que o fazem inchar na presença de água e, com o fim da elasticidade, liberam a mucilagem por toda a superfície dela.^{17-19,23,24}

A estrutura química da mucilagem foi proposta a partir de estudos de hidrólise parcial e total que resultaram em um tetrassacarídeo composto na proporção 2:1:1 de monômeros β -D-xilose, α -D-glicose e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico, respectivamente. A Figura 1 representa a estrutura do tetrassacarídeo evidenciando os monômeros, propostos para a mucilagem.^{18,25,26}

Figura 1. Estrutura do gel heteropolissacarídeo evidenciando as estruturas dos monômeros β -D-xilose (preto), α -D-glicose (vermelho) e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico (azul). Fonte: Adaptado de Lopes²⁷

A mucilagem é atóxica e biodegradável, mas sua aderência à semente requer etapas de extração para que possa ser utilizada industrialmente.²⁴

Dentre as aplicações da chia destacam-se os produtos alimentícios, farmacêuticos, condicionantes de solo e repelentes de insetos. Essas aplicações se dão devido aos poderes de formação de espuma, espessante, gelificante, quelante, além da presença de óleos essenciais repelentes.^{15,19,24,26,28,29}

Esse artigo propõe a utilização da mucilagem da chia para a supressão de material particulado de minério de ferro em vagões, sendo esse transporte simulado em túnel de vento com vagão em escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm) em relação as dimensões reais. Nessa proposta de utilização da mucilagem não produz danos à semente para que futuramente se possa aproveitar, por exemplo, seu óleo, aumentando assim seu valor agregado. Dessa forma, nosso trabalho contribui para o estado da arte de aplicações desse alimento, introduzindo-o na indústria de mineração e possibilitando o aproveitamento da mucilagem pelas indústrias de beneficiamento de chia.

2. Parte Experimental

2.1 Sementes de chia

As sementes de chia foram adquiridas no comércio local do município de Serra, Espírito Santo, Brasil. Elas são uma mistura de sementes pretas e brancas e passaram pelo processo de catação onde materiais indesejáveis (pedras e sementes quebradas) foram retirados.

2.2 Determinação de composição centesimal

A determinação da proteína bruta, fibra bruta, gordura total (lipídeos), cinzas (resíduo mineral fixo) e umidade foram realizadas no Laboratório Agrolab em Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Os procedimentos foram realizados conforme IAL.³⁰

A estimativa do conteúdo de carboidratos foi calculada conforme Tavares e Capitani *et al.*,^{14,16} segundo a Eq. 1:

$$\text{Carboidratos\%, (m/m)} = 100 - (\text{proteínas} + \text{fibras} + \text{lipídios} + \text{cinzas} + \text{umidade}) \quad \text{Eq. 1}$$

2.3 Obtenção da mucilagem de chia

A forma de obtenção foi adaptada de Lopes.²⁷

A mucilagem utilizada na caracterização foi obtida a partir de um sistema semente/água com concentração de semente de 5,0% (massa/massa). Já para o teste de supressão de poeira, foram estudadas as concentrações de semente de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,0% (massa/massa).

Para ambos o sistema foi agitado por 3 horas com agitador mecânico (Modelo 175, 70W, FISATOM BRASIL) à temperatura ambiente (24°C). A mucilagem foi removida da semente com a utilização de um liquidificador de mão (Modelo FPSTHB2801-017, 550W, OSTER®), por 30 segundos. As hélices foram revestidas com fita de silicone (NEXCARE®, 3M®). O sistema foi filtrado em tecido 100% poliéster com abertura de, aproximadamente, 0,8 mm (20 mesh). Para a caracterização, a filtração foi sobre um tabuleiro de secagem antiaderente. Esse foi colocado em estufa a temperatura de 50°C durante 24 horas para secagem. Para o teste de supressão de poeira, a filtração foi em um balde de PEAD, com tampa, e o filtrado foi armazenado sob refrigeração até a utilização.

Para a caracterização da mucilagem foram empregadas análises de calorimetria de varredura diferencial (DSC) e espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

2.4 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

Para a análise de DSC foi utilizado o equipamento da empresa TA Instruments, modelo Q200, sob atmosfera inerte (N₂), no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Brasil). Os ensaios foram realizados em cadinho e haste de alumina, taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹ de 20 a 400°C, com fluxo de N₂ de 50 mL min⁻¹, com amostras de 1,415 mg.

2.5 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR foram obtidos em um espectrofotômetro Perkin Elmer Spectrum 400 utilizando como parâmetros 32 *scans* (varreduras) e resolução de comprimento de 2 cm⁻¹ e janela espectral de 4000-650 cm⁻¹. Utilizou-se o modo de Reflectância Total Atenuada (ATR) com cristal horizontal de seleneto de zinco (ZnSe). As análises de FTIR foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Brasil).

2.6 Análise de supressão de poeira

Baseados em Borba,¹⁰ os experimentos foram conduzidos em um túnel de vento, Figura 2, onde se simulou o transporte ferroviário de minério de ferro.

Para os testes foram pesados cerca de 4 kg de minério de ferro, previamente secos em estufa à 50°C por 24 horas, sobre uma forma e adicionou-se 6% (240 g), em base seca, de água até completa homogeneização. Em seguida, pesou-se e registrou-se a massa do protótipo de vagão (Figura 3A). Por fim, foi adicionado o minério de ferro úmido ao vagão sem que houvesse compactação e usado um molde com abertura triangular para o formato

da pilha sobre o vagão. A massa do sistema vagão e minério de ferro (Figura 3B) foi anotada para determinação da massa de minério seco e quantidade de água inicial.

Então, se aspergiu 100 g de solução de teste (2,0; 1,0; 0,5 e 0,0%) do supressor de poeira, sobre a superfície do minério de ferro de forma homogênea. O sistema foi levado ao túnel de vento onde permaneceu sob ação de duas lâmpadas por 30 minutos. Posteriormente, o sistema foi pesado e inserido, novamente, no túnel de vento e foram ligados o motor em velocidade compatível a 60 km/h (velocidade do vento aferida pelo Tubo de Pitot) e o sistema de vibração, com acionamento

Figura 2. Equipamento de túnel de vento. 1. Controlador do motor de ventilador industrial (Modelo AVR-F 500/20, rotação máxima 3540 rpm, 7 hélices arredondadas de 15x6 cm, OTAM®); 2. Retificador de fluxo de ventos; 3. Tubo de Pitot; 4. Manômetro; 5. Sistema de aspersão de água; 6. Lâmpadas incandescentes; 7. Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola, em escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm); 8. Módulo de vibração

Figura 3. A - Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola (3,6 cm para preenchimento de minério, 3,8 cm preenchido com poliestireno expandido e 2,6 cm de base). **B** – Protótipo preenchido com minério de ferro

por temporizador a cada 15 minutos. A cada uma hora de teste, o túnel de vento era desligado e a massa do sistema era registrada, descontando-se a massa do protótipo.

Os procedimentos descritos para análise de supressão de poeira foram, também, utilizados para testar três produtos comerciais denominados Comercial 1, Comercial 2 e Comercial 3. Eles foram testados na concentração de 1% indicada pelos fornecedores.

3. Resultados e Discussão

A composição centesimal das sementes de chia está apresentada na Tabela 1. Elas possuem grande porção de proteínas sendo maior do que de outros cereais como arroz, cevada, aveia, trigo e milho (6,50; 12,48; 16,89; 13,68 e 9,42%, respectivamente).¹⁵ Segundo Tavares,¹⁴ chias de origem no México, Chile e Argentina apresentaram quantidade de lipídeos de 30-33% e as brasileiras apresentaram de 27,8%, sendo semelhante ao encontrado nesse estudo (27,50%). Variações nas concentrações de lipídios são comuns devido à dependência de fatores climáticos e variedade dos grãos. Os valores de umidade e cinzas estão de acordo com os valores encontrados para chias brasileiras e de outras regiões, conforme Tavares e Capitani *et al.*^{14,16}

O rendimento de obtenção de mucilagem foi de 5,92%. Goh *et al.*¹⁷ relatam que os rendimentos de obtenção de mucilagem variam de 5 – 12,56%. Ressalta-se que a forma de obtenção proposta nesse trabalho facilita o *scale-up* do procedimento e não é uma proposta destrutiva para remoção da mucilagem, permitindo o aproveitamento dos demais constituintes das sementes de chia.

No termograma de DSC da mucilagem (Figura 4) nota-se a presença de uma transição endotérmica e duas exotérmicas. A endotérmica possui um pico

em 54,56°C correspondente à perda de umidade. Devido ao armazenamento em frasco fechado, após a obtenção, a mucilagem não possuía grandes quantidades de água, diferenciando assim dos valores obtidos por Hernández, Timilsena *et al.* e Punia e Dhull que foram de 86,2; 97,5 e 107,9°C, respectivamente.^{15,31,32} Zohuriaan e Shokrolahi encontraram o valor próximo de 62,7°C, para hidroxietil celulose com umidade de 5,8% e afirmaram que essa transição é devido à natureza hidrofílica dos grupos funcionais de polissacarídeos naturais e modificados.³³ Ainda se tem uma transição exotérmica com um pico intenso (304,89°C) e um suave (362,54°C), conforme descrito por Zohuriaan e Shokrolahi.³³ Esses picos são devidos, geralmente, a processos de decomposição e despolimerização. De acordo com Hernández e Timilsena *et al.*,^{15,31} o pico intenso é resultante da degradação oxidativa do polissacarídeo. Segundo Zohuriaan e Shokrolahi e Punia e Dhull,^{32,33} a formação de H₂O, CO, CH₄ e CO₂ são prováveis nas transições térmicas à essas temperaturas.

Na Figura 5, observa-se o espectro de infravermelho no qual destacam-se os sinais em, aproximadamente, 3259 cm⁻¹, 2916 cm⁻¹ e na região entre 990-1200 cm⁻¹ que são provenientes do estiramento O-H, C-H de grupos -CH₂ de sacarídeos, simultaneamente, e estão presentes em todos os polissacarídeos.^{15,31,34,35} Com base em Lopes e Fascio³⁶ o formato do sinal entre 1026 cm⁻¹ e 1147 cm⁻¹ se deve aos álcoois primários, secundários e alquil-éter predominantes na estrutura da mucilagem. Conforme García-Salcedo *et al.*,³⁵ o sinal de 883 cm⁻¹ corresponde à gorduras insaturadas. De acordo com Goh *et al.* e Timilsena *et al.*,^{17,31} o sinal em 1410 cm⁻¹ é devido à presença de ácido urônico que possui estiramento simétrico de grupos carboxílicos nessa região. Timilsena *et al.* atribui a região entre 3000 e 2800 cm⁻¹ à sinais de estiramento de grupos metílicos (-CH₃) e o sinais entre 1800 e 1500 cm⁻¹, à presença de ácidos carboxílicos.³¹

Tabela 1. Composição centesimal das sementes de chia

Parâmetros	Resultados (%)
Proteína bruta	19,10
Gordura total (lipídeos)	27,50
Fibra bruta	22,20
Cinzas (resíduo mineral fixo)	4,70
Umidade	7,44
Carboidratos	19,06

Figura 4. Termograma DSC da mucilagem de chia

Figura 5. Espectro de FTIR da mucilagem de chia

Os testes de supressão de poeira foram realizados em vagão de acrílico na proporção 1:20 em relação ao tamanho real. O vagão foi confeccionado em acrílico devido ao peso total do protótipo e a facilidade de visualizar as camadas de minério. Já o tamanho é bastante representativo e possui uma área superficial de minério, exposta às ações do vento, de aproximadamente 661 cm².

O minério de ferro foi previamente seco e adicionado água para garantir a umidade, em base seca, de aproximadamente 6%, conforme proposto por Borba.¹⁰ Essa é uma umidade comum para minérios de ferro transportados nas ferrovias brasileiras.

A adição de supressor de poeira foi de 100 g o que representa uma quantidade de 0,15 g/cm²

(1,5 L/m²). Ao avaliarmos esse resultado com a área superficial na escala de 1:20 verificamos que em escala real seriam utilizados cerca de 40 L de supressor por vagão.

A velocidade dos ventos utilizada foi de cerca 60 Km/h, pois corresponde à velocidade dos trens que percorrem uma das principais estradas de ferro do Brasil, a Estrada de Ferro Vitória-Minas.¹⁰

O módulo de vibração foi instalado em uma das extremidades do protótipo para simular a vibração inerente do transporte ferroviário. Porém, estudos futuros devem ser realizados para determinar a posição, magnitude e tempo de funcionamento do módulo de vibração para uma representação mais realista de um transporte em vagões.

A supressão de poeira foi estudada em 4 concentrações diferentes de sementes de chia (Tabela 2), sendo que na concentração de 0,0% foi utilizada apenas água como supressor de poeira. A concentração de 2,0% foi testada em dias quentes e umidade relativa baixa, pois são condições extremas para um supressor de poeira e assim exigiram mais do filme formado pela mucilagem da chia. Os testes das concentrações 1,0 e 0,5% foram realizados em condições ambientais comuns para o estado do Espírito Santo. A Figura 6 apresenta a perda de massa percentual da massa total (minério + água + supressor) ao longo dos testes.

Nota-se que, apesar das condições adversas o supressor na concentração de 2,0% resistiu aos testes. Após 8 horas de testes o minério de ferro, inicialmente a 6% de umidade, ainda continha de 1,5-2,2% de umidade, demonstrando que o supressor de poeira é capaz de reter água, como já era esperado devido ao fato de a mucilagem

ser higroscópica. Finalizados os testes, o sistema ainda continha de 60 – 100 g de material residual (umidade inicial + massa de supressor) impedindo o desprendimento de minério.

Em seguida, o sistema foi levado a estufa (105°C) por 12 horas para avaliar a quantidade de material seco que ainda restava. Os resultados foram de 28,16 e 9,31 g demonstrando que o filme formado, além de resistir aos testes, continha água incorporada, possibilitando testes superiores a 8 horas. A Figura 7 mostra a espessura de filme formada junto à superfície de minério para teste à 2%, após o tempo em estufa. A espessura variou entre 2 a 4 mm e se apresentou na forma de placas firmes que podiam ser seguradas sem que ocorresse esfarelamento.

Os mesmos procedimentos foram realizados para os testes com supressor na concentração de 1,0%. Essa concentração se mostrou eficaz para as condições estudadas.

Tabela 2. Condições climáticas e resultados dos testes de túnel de vento

Concentrações de sementes de chia	2,0%		1,0%		0,5%		0,0%	
Testes	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
Condições ambientais								
Umidade Relativa Média do Ar (%)	33,0	38,7	72,2	68,8	67,2	47,8	46	45,3
Temperatura Média (°C)	23,9	25,80	20,9	22,4	24,6	22,8	20,7	22,0
Condições do minério e vagão								
Massa do Vagão (g)	1384,96	1384,07	1380,42	1380,21	1381,56	1384,79	1385,12	1384,79
Massa (Vagão + Minério Úmido 6%, em base seca) (g)	4765,76	4828,98	4846,05	4799,20	4565,63	4748,97	4768,34	4711,92
Massa de Minério Seco (g)	3189,43	3249,92	3257,69	3213,85	2993,03	3162,33	3180,23	3127,50
Massa de Água Acrescida (6%) (g)	191,37	194,99	207,94	205,14	191,04	201,85	202,99	199,63
Aplicação de supressor								
Solução de Supressor (g)	100	100	100	100	100	100	100	100
Massa Total (minério + água + supressor) (g)	3480,80	3544,91	3565,63	3518,99	3284,07	3464,18	3483,22	3427,13
Umidade Inicial Total (água + solução de supressor) (% em Base Seca)	9,14	9,08	9,45	9,49	9,72	9,55	9,53	9,58
Resultados dos testes								
(Final) 8ª hora	3289,64	3310,38	3369,17	3311,81	*	*	*	*
Após 8ª hora e Secagem em 12 horas à 105°C	3217,59	3259,23	3273,09	3226,23	*	*	*	*
Umidade Final do Minério (% em Base Seca)	2,24	1,57	2,94	2,65	*	*	*	*
Variação Umidade do Minério (%)	6,90	7,51	6,52	6,84	*	*	*	*
Massa Residual Total (g)	100,21	60,46	111,48	97,96	*	*	*	*
Massa Residual "Seca" (g)	28,16	9,31	15,40	12,38	*	*	*	*

Figura 6. Avaliação da perda percentual de massa durante os testes

Figura 7. Detalhes da espessura do filme formada sobre o minério, após teste e secagem

Figura 8. A – Sistema com mucilagem de concentração de 0,5% (m/m) após a quebra do filme.
B – Sistema aspergido com água após a quebra do filme

O supressor na concentração de 0,5% não suportou os testes e, o filme formado sobre o vagão de minério entre a 4ª e 5ª hora (Teste 5) e 3ª e 4ª hora (Teste 6) quebrou, conforme as Figuras 6 e 8A. Nota-se que a ruptura do filme ocorreu em um dos lados e não por inteiro. A quebra do filme ocorreu em um ponto e se propagou por uma grande área, demonstrando que a forma de aplicação pode ter grande influência na eficácia de um supressor, devendo assim ser mais estudada.

A utilização de água como supressor também não tolerou os testes (Testes 7 e 8). Entre a 2ª e

3ª hora ocorreu a quebra do filme (Figuras 6 e 8B) em ambos os estudos, demonstrando a ineficácia da utilização de apenas água como supressor de poeira para o transporte ferroviário. A propagação da quebra ocorreu de forma tão rápida que não se pode afirmar se o início foi em um determinado ponto ou ocorreu de forma generalizada por toda a superfície.

Ainda pela Figura 6 pode-se notar que as duas primeiras horas de teste são as que apresentaram maior perda de massa para a concentração de 2,0% e, para a concentração de

1,0%, isso acontece nas quatro primeiras horas. Afirma-se que a grande perda de massa foi de água devido a incompleta formação do filme da mucilagem durante os períodos citados, e como a concentração de 1,0% possui menor quantidade de mucilagem, esta demorou mais tempo para formar o filme ideal para supressão. Supõe-se que o efeito predominante na supressão de poeira é inicialmente exercido pela água e em seguida pelo filme da mucilagem formado nas camadas superficiais do minério.

Também foram realizados testes com três produtos comerciais para avaliar a efetividade dos supressores de poeira à base de chia. A Figura 9A apresenta a comparação dos resultados obtidos para o parâmetro umidade, no qual foram avaliadas a umidade inicial e final, além da variação

dessas. A Figura 9B demonstra as temperaturas e umidades ambientais médias, durante os testes.

Percebe-se que os supressores propostos, a 2,0 e 1,0% de sementes são comparáveis aos três produtos comerciais testados. A umidade final dos testes se deve às condições ambientais, mas também à formação de filme sobre o minério durante os testes. Esse filme é responsável por, além de reter a água no minério, também dificultar o arraste mecânico de minério pela ação dos ventos.

Os resultados de umidade para o produto Comercial 1 apresentam maior diferença entre os testes. Isso demonstra a importância da realização de testes, no mínimo em duplicata, para a comprovação da efetividade de um supressor de poeira.

Figura 9. A – Resultados de umidade inicial e final para os testes; **B** – Temperaturas e Umidades ambientais médias durante os testes. (1°) – primeiro teste; (2°) – segundo teste; 2,0 e 1,0% – concentração de sementes de chia

4. Conclusões

Os resultados desse estudo demonstraram uma forma fácil e rápida de se obter a mucilagem de chia para a utilização no transporte ferroviário de minério de ferro. A mucilagem de chia demonstrou excelentes resultados como supressor de poeira na simulação de transporte em vagões do tipo gondola, permitindo a retenção de material particulado que é prejudicial à saúde humana. A utilização de concentração de 2% (m/m) de semente de chia em água se mostrou com alto poder de formação de filme sendo capaz de resistir a simulação de velocidade dos ventos em 60 Km/h e dias com baixa umidade relativa do ar em um transporte ferroviário. Já uma concentração de 1% (m/m) possui um desempenho satisfatório para dias com umidade relativa do ar mais elevada e temperatura média mais amena. A água não mostrou eficiência para a retenção do material particulado. O supressor de poeira à base de chia demonstrou efetividade comparável aos produtos comerciais testados. Estudos posteriores sobre a influência de parâmetros como: posição, tempo, intensidade de vibração e formas de aplicação, devem ser realizados para melhor compreensão e simulação do transporte real de minério de ferro em ferrovias. Também devem ser realizados estudos para avaliar a qualidade do óleo de chia que permanece presente nas sementes após remoção da mucilagem e, sendo de boa qualidade, propor o aproveitamento total do conteúdo da chia (mucilagem, óleo e biomassa).

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao LabPetro (UFES, Brasil) pela realização de FTIR-ATR, medições DSC (Termo de Cooperação n°. 0050.0022844.06.4), ao Laboratório Agrolab pelo auxílio na análise de sementes de chia, a Vale S.A pelas análises em túnel de vento, ao CNPq, a CAPES (Código de Financiamento 001) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro e bolsas.

Referências Bibliográficas

¹EPA - United States Environmental Protection Agency, Particulate Matter (PM) Pollution. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>>. Acesso em: 5 setembro 2019.

²CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução n° 491, de 19 de Novembro de 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 5 setembro 2019.

³Santos, R. M.; Jr.; Ramalho, R. V. C.; Cunha, A. J. L.; Mesquita, A. L. A.; Gontijo, C. F.; Leal, L. S.; Filho.; *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém, Brasil, 2017. [Link]

⁴Copeland, C. R.; Kawatra, S. K. Dust suppression in iron ore processing plants. *Minerals and Metallurgical Processing* **2005**, 22, 177. [CrossRef]

⁵Copeland, C. R.; Eisele, T. C.; Kawatra, S. K. Suppression of airborne particulates in iron ore processing facilities. *International Journal of Mineral Processing* **2009**, 93, 232. [CrossRef]

⁶Enviroflo Engineering Limited; *Dust Control Engineers to the Minerals Extraction and Processing Industry*, Nalco: Wolverhampton, 2010. [Link]

⁷Medeiros, M. A.; Leite, C. M. M.; Lago, R. M. Use of glycerol by-product of biodiesel to produce an efficient dust suppressant. *Chemical Engineering Journal* **2012**, 180, 364. [CrossRef]

⁸Afshar-Mohajer, N.; Torkian, A. Diffuse emissions of particles from iron ore piles by wind erosion. *Environmental Engineering Science* **2011**, 28, 333. [CrossRef]

⁹Sartim, R.; Gomes, T. V. da Silva, B. E. C.; Rosi, T. A.; Bussato, F.; Curvello, C. M. D. J.; Cosmo, P. C. Estudo da Aplicação da Técnica de Supressão de Pó nas Emissões Secundárias de Material Particulado Total da Planta de Sinterização da Arcelormittal Tubarão. *45° Ironmaking / 16° Iron Ore / 3° Agglomeration* **2015**, 45, 882. [Link]

¹⁰Borba, M. V. S.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto Tecnológico Vale, 2017. [Link]

¹¹Tavares, B. G., *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. [Link]

¹²Santos, R. M.; Jr.; Ramalho, R. V. C.; Cunha, A. J. L.; Mesquita, A. L. A.; Gontijo, C. F.; Leal, L. S.; Filho.; *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém, Brasil, 2017. [Link]

¹³Liu, Y.; Nie, W.; Jin, H.; Ma, H.; Hua, Y.; Cai, P.; Wei, W. Solidifying dust suppressant based on modified chitosan and experimental study on its dust suppression performance. *Adsorption Science & Technology* **2018**, 36, 640. [CrossRef]

¹⁴Tavares, L. S., *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Lavras, 2016. [Link]

- ¹⁵ Hernandez, L. M.; *Tese de Doutorado*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012. [[Link](#)]
- ¹⁶ Capitani, M. I.; Ixtaina, V. Y.; Nolasco, S. M.; Tomás, M. C. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **2013**, *93*, 3856. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁷ Goh, K. K. T.; Matia-Merino, L.; Chiang, J. H.; Quek, R.; Soh, S. J. B.; Lentle, R. G. The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology. *Carbohydrate Polymers* **2016**, *149*, 297. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁸ Coelho, M. S.; Salas-Mellado, M. de L. M. Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L.) em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology* **2014**, *17*, 259. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Muñoz, L. A.; Cobos, A.; Diaz, O.; Aguilera, J. M. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering* **2012**, *108*, 216. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ da Silva, B. P.; Anunciação, P. C.; Matyelka, J. C. da S.; Della Lucia, C. M.; Martino, H. S. D.; Pinheiro-Sant'Ana, H. M. Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places. *Food Chemistry* **2017**, *221*, 1709. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²¹ Segura-Campos, M. R.; Ciau-Solís, N.; Rosado-Rubio, G.; Chel-Guerrero, L.; Betancur-Ancona, D. Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México. *Agricultural Sciences* **2014**, *5*, 220. [[CrossRef](#)]
- ²² Capitani, M. I.; Spotorno, V.; Nolasco, S. M.; Tomás, M. C. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT - Food Science and Technology* **2012**, *45*, 94. [[CrossRef](#)]
- ²³ Timilsena, Y. P.; Adhikari, R.; Kasapis, S.; Adhikari, B. Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *81*, 991. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁴ Brüttsch, L.; Stringer, F. J.; Kuster, S.; Windhab, E. J.; Fischer, P. Chia seed mucilage - a vegan thickener: isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration. *Food & Function* **2019**, *10*, 4854. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁵ Salgado-Cruz, M. de la P.; Calderón-Domínguez, G.; Chanona-Pérez, J.; Farrera-Rebollo, R. R.; Méndez-Méndez, J. V.; Díaz-Ramírez, M. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products* **2013**, *51*, 453. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Di Marsico, A.; Scrano, L.; Amato, M.; Gàrniz, B.; Real, M.; Cox, L. Mucilage from seeds of chia (*Salvia hispanica* L.) used as soil conditioner; effects on the sorption-desorption of four herbicides in three different soils. *Science of the Total Environment* **2018**, *625*, 531. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁷ Lopes, A. C.; Lucchetta, L. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. [[Link](#)]
- ²⁸ Zettel, V.; Hitzmann, B. Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science and Technology* **2018**, *80*, 43. [[CrossRef](#)]
- ²⁹ López, D. N.; Ingrassia, R.; Busti, P.; Wagner, J.; Boeris, V.; Spelzini, D. Effects of extraction pH of chia protein isolates on functional properties. *Lwt* **2018**, *97*, 523. [[CrossRef](#)]
- ³⁰ IAL - Instituto Adolfo Lutz; *Métodos físicos-químicos para análise de alimentos*, 1a ed. digital, Instituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008. [[Link](#)]
- ³¹ Timilsena, Y. P.; Adhikari, R.; Kasapis, S.; Adhikari, B. Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrate Polymers* **2016**, *136*, 128. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³² Punia, S.; Dhull, S. B. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization. *International Journal of Biological Macromolecules* **2019**, *140*, 1084. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³³ Zohuriaan, M. J.; Shokrolahi, F. Thermal studies on natural and modified gums. *Polymer Testing* **2004**, *23*, 575. [[CrossRef](#)]
- ³⁴ Freitas, F.; Alves, V. D.; Pais, J.; Costa, N.; Oliveira, C.; Mafra, L.; Hilliou, L.; Oliveira, R.; Reis, M. A. M. Characterization of an extracellular polysaccharide produced by a *Pseudomonas* strain grown on glycerol. *Bioresource Technology* **2009**, *100*, 859. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³⁵ García-Salcedo, Á. J.; Torres-Vargas, O. L.; del Real, A.; Contreras-Jiménez, B.; Rodríguez-García, M. E. Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage. *Food Structure* **2018**, *16*, 59. [[CrossRef](#)]
- ³⁶ Lopes, W. A.; Fascio, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova* **2004**, *27*, 670. [[CrossRef](#)]