

Avaliação da Mucilagem de Chia em Pó como Supressora de Poeira de Minério de Ferro e Aproveitamento do Óleo de Chia, Impróprio para o Consumo, na Produção de Biodiesel

Evaluation of Powdered Chia Mucilage as an Iron Ore Dust Suppressor and Use of Chia Oil, Unfit for Consumption, in the Production of Biodiesel

Lucas de Almeida Gama,^{a,*} Carolini Spadetto,^a Carla Santana Francisco,^a Sergio Henriques Saraiva,^b Eloi Alves da Silva Filho^a

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

^b Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário S/N, CEP 29500-000, Centro, Alegre-ES, Brasil.

*E-mail: lucasalmeidagama@gmail.com

Recebido em: 21 de Dezembro de 2021

Aceito em: 13 de Abril de 2022

Publicado online: 2 de Maio de 2022

Chia (*Salvia Hispanica L.*) is a plant that allows the use of co-products and by-products. For mucilage, the influence of conventional and spray drying on the effectiveness of iron ore dust suppression was studied, and for the oil, unfit for consumption, the production of biodiesel was evaluated. Dust suppression was verified in a rail transport simulator with powdered mucilages solubilized in water and there was no difference in effectiveness, demonstrating that powder trading is possible, which can reduce the costs of trading the dust suppressor. It is noteworthy that the spray-dried mucilage solubilizes more quickly. Expired chia oil and oil outside the standards of ANVISA IN 87/2021 produce biodiesel in accordance with ANP standards, but with water above the recommended level, requiring improvements in its removal. Biomass studies without mucilage and oil will be important to evaluate this co-product / by-product.

Keywords: Chia; co-product; powdered mucilage; dust suppression; oil unfit for consumption; biodiesel.

1. Introdução

Na agroindústria é comum a obtenção de mais de um produto a partir de uma mesma matéria prima como a obtenção do óleo e farelo de soja ou das diferentes peças de carne de um mesmo animal. A esse fenômeno de obtenção é dado o nome de Produção Conjunta e seus produtos são classificados como coprodutos, subprodutos e sucatas.^{1,2}

Os produtos principais são chamados coprodutos e são responsáveis por um faturamento significativo da empresa. Os subprodutos são aqueles materiais que não possuem representatividade no faturamento em comparação com os coprodutos, porém são obtidos no processo produtivo normal da empresa. Já as sucatas são produtos com valor de venda baixo ou condições ruins de comercialização sejam por serem consideradas descartes ou imperfeitas aos clientes. Esses produtos são diferenciados basicamente pelo valor comercial que possuem para a empresa.^{1,2} Na indústria de transformação da chia temos como coprodutos e subprodutos as sementes, o óleo, a farinha/biomassa e a mucilagem, sendo essa ainda não comercializada diretamente para o mercado.

A chia (*Salvia hispânica L.*) é uma planta herbácea anual que varia de 1 a 2 metros de altura, não suporta o frio e a falta de sol, necessita de baixa quantidade de água para cultivo e é comum em regiões montanhosas do México e Guatemala.³⁻⁵ A semente é o produto comercial e possui um rendimento de 500 – 600 kg por hectare e plantios em países da América Central e do Sul, além do México, Austrália e Europa, localidade onde é cultivada em estufas. Na Argentina já obtiveram 2500 kg de semente por hectare em cultivo controlado. O plantio não necessita de pesticidas e produtos químicos para pragas devido as folhas conterem óleos essenciais repelentes.^{3,4,6}

A composição e o desempenho das sementes de chia são dependentes de vários fatores entre eles o ambiente de cultivo.^{4,5,7} As sementes possuem entre 15,0-34,1% de proteínas, 27,0-40,0% de lipídeos, 19,0-42,1% de carboidratos e 18,0-34,4% de fibras entre outros componentes.^{3,6,8-11}

Parte dessas fibras é composta pela mucilagem, um tetrassacarídeo formado por monômeros β-D-xilose, α-D-glicose e ácido 4-O-metil-α-D-glicurônico na proporção 2:1:1, respectivamente.^{12,13} Ela é liberada no contato da semente com água e permanece aderida a

superfície necessitando força mecânica para sua separação.¹⁴ Polissacarídeos como esse têm a capacidade de formar ligações de hidrogênio com a água através dos grupos hidroxila, os átomos de oxigênio dos anéis e os que ligam um anel a outro. A grande quantidade de ligações de hidrogênio possíveis faz com que essas substâncias tenham ampla afinidade pela água facilitando a hidratação.¹³

Segundo Salgado-Cruz *et al.* (2013),¹⁵ a mucilagem da chia retém água ao mesmo tempo que impede que ela penetre na semente. Os autores indicam que isso pode ser devido à alta absorção de água pela mucilagem. Di Marsico *et al.* (2018),¹⁶ relatam que ela se comporta de forma hidrofóbica após a perda de água e formação de filme. Gama *et al.* (2021),¹¹ utilizou-se dessas características para o aproveitamento da mucilagem como supressora de poeira de minério de ferro, porém o estudo foi realizado sem avaliar os processos de secagem da mucilagem. Isso é importante para determinar a melhor forma de comercialização dela, seja na forma de pó ou em solução, sendo a solução mais cara para as indústrias de mineração devido aos custos com transporte.

Os pós obtidos pela desidratação da mucilagem têm sua capacidade de reidratação afetada pelos métodos de secagem sendo mais aconselhável processos de liofilização para a preservação da estrutura biopolimérica, porém ainda há uma perda na força do gel.¹⁴ Isso demonstra a importância do estudo da influência dos métodos de secagem da mucilagem para as aplicações pretendidas.

As sementes possuem elevado teor de óleo, de alto valor nutricional, devido à grande parcela de ácidos graxos como linolênico (ômega-3) e linoleico (ômega-6), essa característica levou ao aumento do seu consumo como alimento funcional, trazendo benefícios à saúde humana, com indicativos de redução do risco de doenças cardiovasculares e cânceres, além de não apresentar efeitos adversos ou alérgico.^{9,17-19}

Em março de 2021 a ANVISA publicou a INSTRUÇÃO NORMATIVA (IN) 87/2021 na qual se encontra as espécies vegetais, designações, composição de ácidos graxos e índices de acidez e peróxidos máximos para os óleos e gorduras vegetais voltados para o consumo humano. Óleos e gorduras que não se enquadrem nos índices estabelecidos devem passar por tratamentos que os adequem podendo torná-los mais caros. Ressalta-se que um óleo comestível comercializado fora dos padrões seja por causa de alterações dos seus parâmetros ou por atingir a data de vencimento deve ser recolhido e ter destinação ambiental correta pelo seu fabricante.^{20,21}

Com intuito de fornecer novos coprodutos e subprodutos para a agroindústria da chia, esse artigo tem por objetivo o estudo da influência dos processos de secagem convencional e por aspersão (*spray drying*) da mucilagem na aplicação dela como supressora de poeira de minério de ferro e destinação de óleos de chia, em desacordo com as exigências da IN 87/2021 e/ou vencidos, como mais uma matéria-prima para a indústria do biodiesel.

2. Experimental

2.1. Sementes de chia

As sementes de chia, utilizadas nesse trabalho, foram compradas em comércio de produtos naturais no município da Serra (ES-Brasil). Houve a necessidade de retirada de materiais como sementes quebradas e outros materiais como gravetos e pedras. As sementes continham como composição centesimal (massa/massa): 19,10% de proteína bruta, 27,50% de lipídeos, 22,20% de fibra bruta, 4,70% de cinzas, 7,44% de umidade e 19,06% de carboidratos.

2.2. Mucilagem de chia

A mucilagem foi extraída das sementes em sistema semente/água a 5,0% (massa/massa) conforme Gama *et al.* (2021),¹¹ com adaptações no processo de secagem.

O sistema após desprendimento da mucilagem da semente foi filtrado em bandeja de silicone para desidratar a mucilagem em estufa (50 °C por 24 horas) e em balde de PEAD para secagem por aspersão em equipamento *Spray Dryer* (Modelo ADL311S, Yamato Scientific America (Waltham, EUA)). As mucilagens foram reservadas em pó para avaliação da eficiência como supressores de poeira de minério. As mucilagens obtidas foram analisadas por calorimetria de varredura diferencial (DSC) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

As sementes foram secas em desidratador (Modelo PD-15, Polidryer (Viçosa, Brasil)) e separadas para posterior análise de composição centesimal e comparação com as sementes in natura. As secagens das sementes e a da mucilagem por aspersão foram realizadas pelo Laboratório de Operações Unitárias – UFES/ALEGRE.

2.3. Análise de Supressão de Poeira

Os testes de supressão de poeira foram realizados em simulador de transporte ferroviário de minério, conforme Gama *et al.* (2021).¹¹

Para cada teste de supressão de poeira foram necessários 4 kg de minério de ferro (secos por 24 horas à 50 °C, em estufa) homogeneizados com 240 g de água (umidade de 6%, em base seca). Sem compactação, esse minério umedecido foi adicionado ao protótipo de vagão ferroviário, previamente pesado. Utilizou-se molde triangular para formatação da pilha sobre o vagão. Logo após, pesou-se todo o conjunto (protótipo + vagão). Através da massa de minério úmido adicionada foi possível determinar a quantidade de minério seco e de água dentro do vagão.

Em seguida, pulverizou-se a solução supressora de poeira contendo 120 mg de mucilagem em pó dissolvidas em 100 g de água. O protótipo foi colocado no simulador sob duas lâmpadas por 30 minutos. Os sistemas de ventilação e

vibração foram ligados em condições de fornecerem ventos de 60 km/h e vibração a cada 15 minutos, respectivamente. Em intervalos de 1 hora, os sistemas foram desligados e o conjunto (protótipo com minério) foi pesado para verificação de perda de massa. Após 8 horas, o teste foi considerado concluído e o conjunto pesado e levado a estufa por 12 horas a 105 °C. Com o fim desse período, o conjunto foi pesado novamente e determinadas a umidade final e massas residuais.

2.4. Determinação de composição centesimal

As sementes separadas da mucilagem foram secas a 50 °C por 16 horas em estufa e submetidas a análise de composição centesimal de acordo com IAL (2008).²² Foram empregadas as metodologias 036/IV Proteína Bruta – Método Kjeldahl clássico, 044/IV Fibra bruta, 032/IV Lipídios ou extrato etéreo – Extração direta em Soxhlet, 018/IV Resíduo por incineração – Cinzas, 012/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105 °C. Como em Capitani *et al.* (2013) e Tavares (2016),^{18,23} a determinação dos carboidratos foi realizada por meio indireto através da Equação 1:

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

2.5. Obtenção de óleo de chia e produção de Biodiesel

A sementes secas foram prensadas, sem aquecimento prévio, utilizando um extrator de óleo de rosca sem fim (Modelo X3T, YTK (Shenzhen, China)). O óleo obtido foi comparado com óleo comercial quanto aos índices de acidez (325/IV – Determinação de acidez), peróxido (326/IV – Determinação do índice de peróxido), saponificação (327/IV – Determinação do índice de saponificação), iodo (329/IV – Determinação do índice de iodo pelo método Wijs), conforme IAL (2008),²² além de massa específica e data de fabricação.

A produção de biodiesel foi realizada através da reação de transesterificação do óleo de chia utilizando razão molar 1:6 (óleo/metanol) com catalisador hidróxido de potássio (1% m/m óleo). A reação ocorreu a 60 °C com aquecimento em banho de glicerina e refluxo. Após separação das fases (aquosa/orgânica), o biodiesel foi seco com sulfato de sódio anidro e seco em estufa a 50 °C por 1 hora.

A caracterização do biodiesel foi feita a partir dos parâmetros viscosidade cinemática a 40 °C (ASTM D-445), massa específica a 20 °C (ASTM D-1298), teor de água (ASTM D-6304), ponto de fulgor (ASTM D-93), número de acidez (ASTM D-664) e corrosão a lâmina de cobre (ASTM D-130).

Foram utilizados espectros de infravermelho para avaliar as mudanças oriundas da transesterificação do óleo de chia.

2.6. Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

A análise de DSC foi realizada em atmosfera inerte (N₂), fluxo de 50 mL min⁻¹, com cadinho e haste de alumina, aquecimento a 10 °C min⁻¹ com temperaturas de 20 a 400 °C. Equipamento: TA Instruments (Newcastle, EUA), modelo Q200.

2.7. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Foram obtidos espectros de 4000-650 cm⁻¹, resolução de 2 cm⁻¹ com 32 varreduras. Modo ATR (Reflectância Total Atenuada) com cristal horizontal de ZnSe (seleneto de zinco). Equipamento: Espectrofotômetro Perkin Elmer (Waltham, EUA), modelo Spectrum 400.

Os ensaios de DSC e FTIR foram realizados no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Vitória, Brasil).

3. Resultados e Discussão

Nesse trabalho avaliamos possíveis diferenças nas mucilagens de chia secas em estufa e por aspersão. A secagem em estufa resultou em um rendimento de extração de 6,13% enquanto por aspersão foi obtido apenas 1,26%. O rendimento em estufa é condizente com Goh *et al.* (2016).²⁴ A secagem por aspersão (*spray drying*) foi uma metodologia mais rápida, porém obteve-se um baixo rendimento, que se deve à necessidade de otimização dos parâmetros inerentes ao processo, como: vazões de entrada da solução e de ar comprimido, diâmetro do bico de aspersão, temperatura do ar de secagem, entre outros. Estudos posteriores da otimização dos parâmetros devem ser realizados para melhor emprego da técnica.

Através dos termogramas, Figura 1, para as diferentes formas de secagem, é possível verificar que possuem transições endotérmicas e exotérmicas na mesma região de temperatura. A transição endotérmica (~50 °C) correspondendo à perda de água livre (umidade) e às transições exotérmicas (~300 e 365 °C) evidenciando a decomposição e despolimerização com formação de H₂O, CO, CH₄ e CO₂.^{11,25,26} Verifica-se que em temperatura próxima a 272 °C ocorreu um processo exotérmico com a mucilagem seca em estufa. Isso é, possivelmente, devido à processos de degradação da mucilagem. A secagem em estufa não é homogênea e demanda longos períodos de residência o que pode acarretar pequenas degradações da mucilagem. O processo de secagem em aspersão não possui essas desvantagens por conseguir eliminar a água da mucilagem em poucos segundos, devido à aspersão de inúmeras gotículas de pequeno diâmetro em uma região com corrente de ar quente.²⁷

A Figura 2 apresenta os espectros de infravermelho para os diferentes processos de secagem. Não são perceptíveis

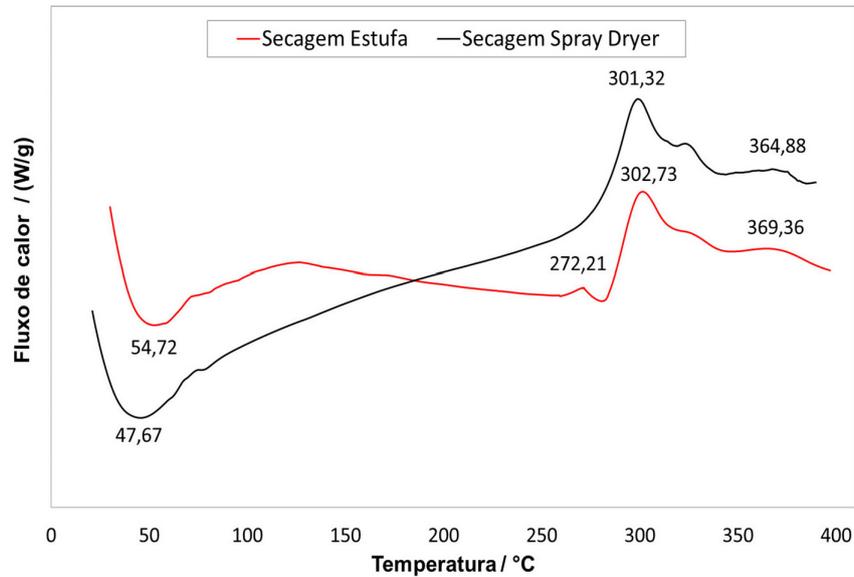


Figura 1. Curvas de DSC das mucilagens secas em estufa e no *spray dryer*

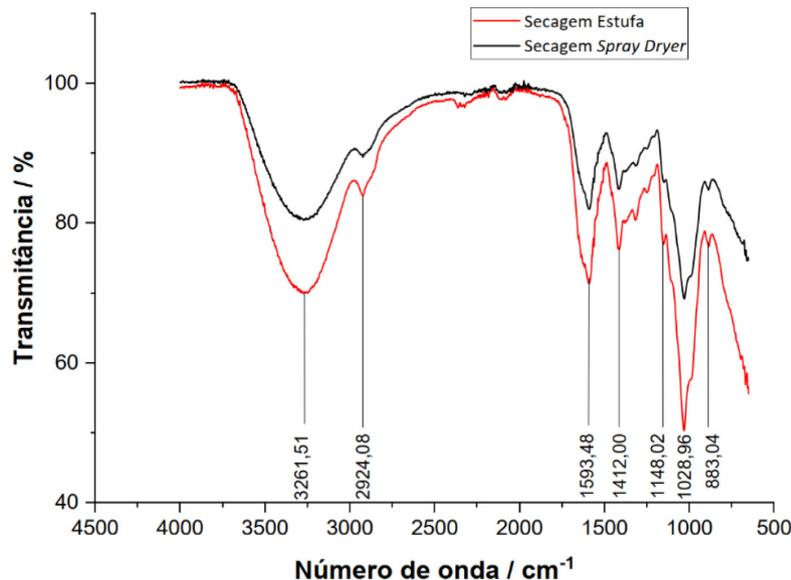


Figura 2. Espectros de infravermelho das mucilagens secas em estufa e no *spray dryer*

alterações entre os espectros. Nota-se os estiramentos característicos de sacarídeos (próximos a 3200, 2900 e região de 990-1200 cm^{-1}),^{3,28-30} de álcoois primários (~ 1020 e 1140 cm^{-1}),³¹ do ácido urônico ($\sim 1400 \text{ cm}^{-1}$),^{24,28} grupos metílicos (2800-3000 cm^{-1}) e ácidos carboxílicos (1500-1800 cm^{-1}).²⁸ Sendo esses resultados condizentes com a estrutura do tetrassacarídeo correspondente à mucilagem da chia.^{12,13,15,16}

As mucilagens foram testadas como supressores de poeira no simulador de transporte ferroviário. Testes anteriores verificaram que sistemas 2,0 e 1,0% (m/m) semente de chia/água apresentam eficácia contra emissão de particulados e que a mucilagem corresponde a 5-6% m/m da semente.¹¹ Dessa forma utilizou-se 120 mg de mucilagem em pó para 100 g de água como solução supressora, que corresponde a 6,0% de um sistema 2,0% (m/m) semente/

água. Vale salientar que a mucilagem seca por aspersão apresentou dissolução mais rápida. A Tabela 1 representa os resultados obtidos.

A massa residual seca é o parâmetro utilizado para comprovar a eficácia do supressor de poeira, por representar a massa de água e de supressor de poeira que ainda reside no sistema com o minério de ferro após a simulação do transporte ferroviário e secagem do conjunto. Nota-se que ela apresenta valores bem acima das 120 mg de mucilagem em pó utilizada, logo constata-se a grande capacidade de retenção de água da mucilagem no minério mesmo após secagem a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 horas. Percebe-se que no teste, para a mucilagem seca em estufa, em condições ambientais de maior temperatura e menor umidade a massa residual foi bem menor, o que é condizente com o aumento da taxa de evaporação de água. Contudo, para a mucilagem

Tabela 1. Condições climáticas e resultados dos testes de túnel de vento

Concentrações de Sementes de Chia Testes	Secagem Estufa		Secagem <i>Spray Dryer</i>	
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
<i>Condições Ambientais</i>				
Umidade Relativa Média do Ar (%)	53,1	62,2	65,1	64,0
Temperatura Média (°C)	29,8	28,7	27,0	27,7
<i>Condições do Minério e Vagão</i>				
Massa do Vagão (g)	1384,79	1377,76	1373,42	1387,55
Massa (Vagão + Minério Úmido 6%, em base seca) (g)	4861,45	4847,51	4765,06	4813,53
Massa de Minério Seco (g)	3268,06	3261,57	3188,14	3220,42
Massa de Água Acrescida (6%) (g)	208,60	208,19	203,50	205,56
<i>Aplicação de Supressor</i>				
Solução de Supressor (g)	100	100	100	100
Massa Total (minério + água + supressor) (g)	3576,66	3569,75	3491,64	3525,98
Umidade Inicial Total (água + solução de supressor) (% em Base Seca)	9,44	9,45	9,52	9,49
<i>Resultados dos Testes</i>				
(Final) 8ª hora	3349,25	3362,59	3275,17	3310,91
Após 8ª hora e Secagem em 12 horas à 105 °C	3275,30	3284,65	3205,42	3247,38
Umidade Final do Minério (% em Base Seca)	2,26	2,37	2,18	1,96
Variação Umidade do Minério (%)	7,19	7,08	7,34	7,53
Massa Residual Total (g)	81,19	101,03	87,03	90,49
Massa Residual "Seca" (g)	7,24	23,09	17,28	26,96

seca no *spray dryer* os resultados demonstram o contrário, assim sendo necessários mais ensaios para concluir a real influência da temperatura e umidade nos testes realizados no simulador de transporte ferroviário.

Os resultados obtidos comprovam que a solubilização da mucilagem em pó, mesmo obtida em diferentes processos de secagem, não interfere na eficácia como supressora de poeira de minério em transporte ferroviário, visto que a massa residual positiva indica que não houve desprendimento de minério de ferro durante a simulação. As mucilagens suportaram ventos a 60 km/h em condições climáticas de temperaturas elevadas e umidade normal para o clima do estado do Espírito Santo. Isso demonstra que é possível futuras comercializações de mucilagem de chia em pó não sendo necessário o transporte de grandes volumes de água em solução para os locais de aplicação do supressor de poeira, o que reduz significativamente o custo com transporte.

As sementes, após a retirada da mucilagem, foram secas e determinou-se a composição centesimal. A Tabela 2 apresenta comparação entre as composições centesimais das sementes *in natura* e sem mucilagem.

Pode-se verificar uma diminuição da umidade entre as sementes após a retirada da mucilagem, o que é plausível, visto que a mucilagem é a porção mais higroscópica da semente de chia e sua retirada tende a uma menor retenção de umidade pela semente. Contudo, devido ao processo de secagem das sementes após a retirada da mucilagem não se pode afirmar que a diminuição do índice de umidade se dá exclusivamente pela remoção dela. Tavares (2016) obteve semente sem mucilagem com maior índice de umidade que a semente *in natura* (17,2 e 5%, respectivamente) porém em sua metodologia de extração regulou-se o meio a pH 8 e utilizou-se liofilização para secagem. Quanto ao teor de cinzas, que indica o conteúdo mineral presente nas sementes, percebe-se pouca variação.²³

Tabela 2. Composição centesimal das sementes de chia *in natura* e sem mucilagem

Parâmetros	" <i>in natura</i> " Resultados (%)	"sem mucilagem" Resultados (%)
Umidade	7,44	5,12
Cinzas (resíduo mineral fixo)	4,70	4,83
Proteína bruta	19,10	21,11
Gordura total (lipídeos)	27,50	32,83
Fibra bruta	22,20	13,57
Carboidratos	19,06	22,54

Tabela 3. Parâmetros da caracterização do óleo extraído (OA) e do óleo comercial (OB)

Parâmetros	Unidade	Resultado OA	Resultado OB
Acidez	mgKOH/g	5,85	9,23
Índice de Peróxido	mEq/Kg	5,84	10,40
Índice de Saponificação	mgKOH/g	192,99	191,87
Índice de Iodo	-	181,72	184,99
Massa Específica	g/cm ³	0,92899	0,92968
Data fabricação	-	02/10/2021	10/2018
Validade	-	-	10/2020

O índice de fibra bruta é menor na semente sem mucilagem porém não se pode relacionar diretamente a mucilagem. A fibra bruta é uma medida de uma fração das fibras a qual não inclui gomas, mucilagens e pectina. Assim podemos inferir que sua diminuição está provavelmente vinculada ao processo de liberação da mucilagem, na qual as células do epicarpo incham e, ao perder a elasticidade, a liberam, juntamente com componentes da parede celular solubilizados, o que induz a diminuição do teor de fibra bruta.³²

Os teores de proteína bruta, carboidratos e lipídeos tiveram aumento com a remoção de mucilagem. O aumento do teor de lipídeos foi importante para esse trabalho devido ao objetivo de aproveitamento do óleo de chia para a produção de biodiesel. Esse aumento facilita a remoção do óleo através da extração por prensagem.

A extração de óleo foi realizada por prensagem a frio das sementes sem mucilagem com rendimento de 23,85% em base seca, sendo um valor condizente ao obtido por Ixtaina *et al.* (2011) (24,8% para sementes argentinas e 20,33% para guatemaltecas).⁴ O óleo extraído (OA) foi comparado com óleo de chia comercial (OB) conforme a Tabela 3.

A chia é uma das espécies vegetais autorizadas para se extrair o óleo vegetal para consumo humano desde que possua composição de ácidos graxos, acidez e índice de peróxidos de acordo com a IN 87/2021 emitida pela ANVISA. Ela exige que o índice de acidez e de peróxidos sejam, para óleos prensados a frio e não refinados, de 4,0 mgKOH/g e 15 meq/kg, respectivamente.²⁰ O índice de acidez representa um controle de qualidade do óleo porque processos de decomposição geralmente elevam a concentração de ácidos no meio. Aquecimento e luz aceleram a formação de ácidos graxos livres através da decomposição de glicerídeos.²² Pode-se notar que OA e OB não possuem índice de acidez adequados, logo são impróprios ao consumo necessitando processos de refino para a comercialização. Além do mais, OB é um óleo fora do prazo de validade de forma que mesmo refinado não poderia ser vendido ao consumidor. Ao identificar produtos fora das condições de consumo, os mesmos devem ser recolhidos e terem destinação ambientalmente apropriada, com isso esse trabalho propõe a fabricação de biodiesel a partir do óleo de chia fora dos padrões de consumo e/ou vencido.²¹

Foram produzidos os biodieseis A e B a partir de OA

e de OB, respectivamente. A reação de transesterificação catalisada por base ocorreu na razão molar 1:6 (óleo/metanol), a 60 °C sob refluxo, com catalisador (KOH) a 1% (m/m óleo) e em seguida deixada em repouso para separação da fase aquosa e do biodiesel, Figura 3.

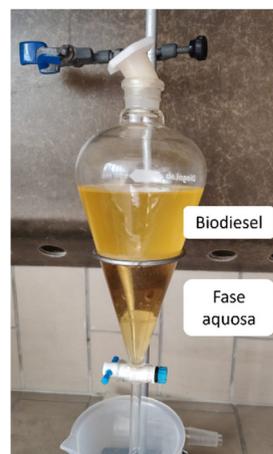


Figura 3. Separação do sistema biodiesel/fase aquosa

A fase aquosa, mais densa, se dirige a parte inferior e o biodiesel com impurezas para a parte superior do funil de separação. Porém é um processo longo quando se utiliza excesso de metanol. O sistema foi, então, deixado em repouso por 24 horas.³³ Após o repouso a fase aquosa foi removida e o biodiesel foi lavado com água quente de forma a retirar impurezas, como resíduos de catalisador, de saponificação, sais, metanol e glicerol livre. O biodiesel ficou com aspecto turvo que desapareceu após a utilização de sulfato de sódio anidro, como agente secante, e a remoção deste por filtração. Em seguida o biodiesel foi colocado em estufa a 50 °C por uma hora para remoção de resíduo de água e metanol que pudessem existir.

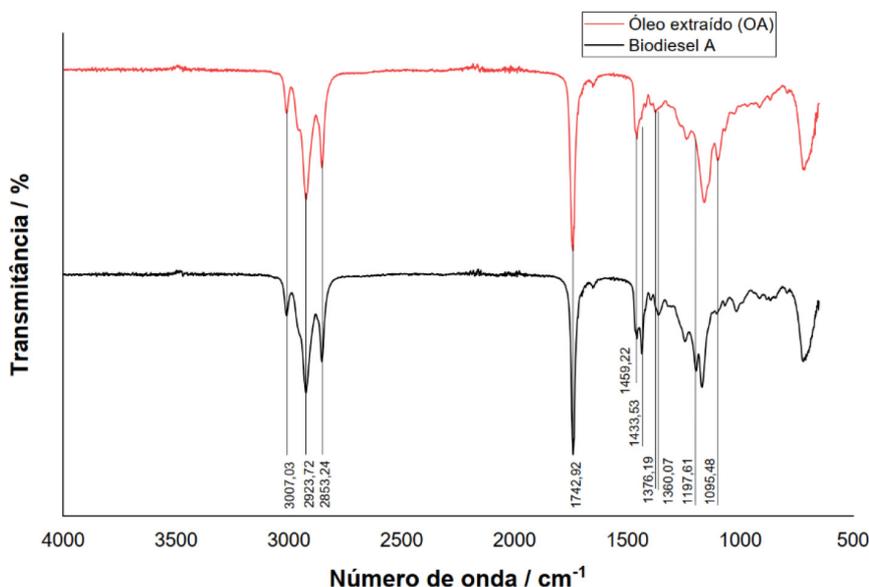
Houve formação nítida de sabão que se deve a grande acidez dos óleos utilizados, sendo necessário, para um possível escalonamento da produção, a avaliação de custo e efetividade da remoção da acidez através de processos de esterificação em meio ácido.³³

A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização dos biodieseis obtidos.

Segundo Zhang *et al.* (2003) o rendimento da transesterificação para o biodiesel A é considerado alto.³³ O

Tabela 4. Parâmetros da caracterização dos biodieseis A e B

Parâmetros	Unidade	biodiesel A	biodiesel B
Rendimento	%	86,12	80,35
Teor de água	mg/kg	1.096	1.108
Viscosidade Cinemática a 40 °C	cSt	3,60	3,80
Massa específica 20 °C	g/cm ³	0,8900	0,8900
Ponto de Fulgor Vaso Fechado	°C	155	108
Número de Acidez	mgKOH/g	0,50	0,24
Corrosão Lâmina de Cobre	-	1	1

**Figura 4.** Espectros de infravermelho do óleo extraído (OA) e o biodiesel A

teor de água dos biodieseis é muito maior do que determina a legislação, máximo de 200 mg/kg. Isso demonstra que a metodologia empregada deve ser melhorada quanto aos procedimentos de secagem do biodiesel. A eliminação de água é essencial para o funcionamento adequado dos motores e minimizar a elevação da acidez do biodiesel.³⁴ Os demais parâmetros estão dentro dos limites recomendados pela Resolução ANP 45/2014.³⁵ Percebe-se que o número de acidez para o biodiesel A é maior em relação ao biodiesel B, mesmo sendo produzido a partir de um óleo (OA) de número de acidez menor.

Como não houve diferenças significativas entre os espectros de OA e OB e entre os dos biodieseis A e B, apresentamos na Figura 4 apenas os espectros de infravermelho para OA e o biodiesel A.

Os sinais na região de 3000-2800 cm⁻¹ são correspondentes à vibrações C-H, sendo os alongamentos CH, CH₃ e CH₂ os sinais 3007,03; 2923,72 e 2853,24 cm⁻¹, respectivamente.³⁶⁻³⁸ O sinal em 1742,92 cm⁻¹ se refere à carbonila (C=O) presente tanto nos triglicerídeos quanto nos ésteres metílicos, diferentemente dos trabalhos de Nisar *et al.* (2017) e Kollar *et al.* (2012) que verificaram distinção visível entre o sinal da carbonila do biodiesel e dos óleos (pinhão manso e soja, respectivamente) com que trabalharam.^{37,39} Segundo

Rabelo *et al.* (2015),⁴⁰ a região entre 1500 e 900 cm⁻¹, chamada de impressão digital, é a de maior diferenciação entre o biodiesel e seu óleo precursor. Pode-se notar que essa região é nitidamente diferente entre esses compostos havendo desaparecimento e surgimento de sinais quando comparamos o biodiesel e o óleo de chia. Em 1433,53 cm⁻¹ tem-se o sinal que representa a formação do grupo alquil éter da transesterificação do óleo, sendo correspondente à vibrações assimétricas do grupamento metil (advindo do metanol).^{37,38} Rabelo *et al.* (2015) atribui os sinais em 1376,19 cm⁻¹ ao grupo glicerol (O-CH₂), 1095,48 cm⁻¹ ao estiramento axial assimétrico devido ao glicerol e em 1197,61 cm⁻¹ ao grupo O-CH₃, sendo esse último presente em grandes concentrações no biodiesel.⁴⁰ Dessa forma nota-se que a reação de transesterificação do óleo de chia foi realizada com sucesso.

4. Conclusões

Conclui-se com este trabalho que a secagem de mucilagem de chia por aquecimento convencional em estufa ou por aspersão não interferem negativamente na utilização dela como supressora de poeira de minério,

podendo desta forma contribuir com a comercialização, diminuindo custos inerentes ao transporte. A remoção da mucilagem de chia aumenta a concentração de óleo na semente, facilitando a remoção dele por prensagem, e não prejudica a produção de biodiesel. Óleos de chia que se encontram fora das especificações de índices de acidez e de peróxido, segundo a ANVISA pela IN 87/2021, e vencidos podem ser utilizados na produção de biodiesel dentro dos padrões da Res. ANP 45/2014, permitindo assim a utilização do óleo não comestível como alternativas na produção de biodiesel. Esse trabalho contribui para a produção conjunta da chia, possibilitando a utilização da mucilagem e aproveitamento de óleo industrialmente, sendo necessários estudos posteriores quanto a biomassa resultante da extração desses materiais para avaliação desse coproduto/subproduto.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Vale S.A pelo apoio e fomento dos testes no simulador de transporte ferroviário, ao LabPetro (UFES, Brasil) pela realização das curvas de DSC (termo de Cooperação nos. 5900.0112399.19.9) e pelas análises de espectroscopia FTIR-ATR (Termo de Cooperação nos. 0050.0022844.06.4), ao CNPq, a CAPES, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro, bolsas e a CAPES pelo acesso ao Portal Periódicos (Código de Financiamento 001).

Referências Bibliográficas

- Martins, E.; *Contabilidade de Custos*, 9a ed., Atlas: São Paulo, 2003.
- Horngren, C. T.; Foster, G.; Datar, S. M.; *Contabilidade de Custos*, 9a ed., LTC: Rio de Janeiro, 2000.
- Hernandez, L. M.; *Tese de Doutorado*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012. [Link]
- Ixtaina, V. Y.; Martínez, M. L.; Spotorno, V.; Mateo, C. M.; Maestri, D. M.; Diehl, B. W. K.; Nolasco, S. M.; Tomás, M. C.; Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis* **2011**, *24*, 166. [Crossref]
- Zettel, V.; Hitzmann, B.; Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science and Technology* **2018**, *80*, 43. [Crossref]
- Rocha, Y. M. A.; da Silva, L. P. E.; Régis, W. C. B.; Chia (*Salvia hispanica*) benefícios para a saúde humana: uma revisão sobre ensaios clínicos em humanos. *Percorso Acadêmico* **2017**, *7*, 483. [Link]
- da Silva, B. P.; Anunciação, P. C.; Matyelka, J. C. 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]
- 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]
- 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]
- Fernandes, S. S.; Tonato, D.; Mazutti, M. A.; de Abreu, B. R.; Cabrera, D. C.; D'Oca, C. R. M.; Prentice-Hernández, C.; Salas-Mellado, M. M.; Yield and quality of chia oil extracted via different methods. *Journal of Food Engineering* **2019**, *262*, 200. [Crossref]
- Gama, L. A.; Spadetto, C.; Francisco, C. S.; da Silva Filho, E. A.; Supressão de material particulado de minério de ferro utilizando mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L.). *Revista Virtual de Química* **2021**, *13*. [Crossref]
- Coelho, M. S.; Salas-Mellado, M. 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]
- Lopes, A. C.; Lucchetta, L.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. [Link]
- Brütsch, 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]
- 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 characterization. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products* **2013**, *51*, 453. [Crossref]
- 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]
- Coelho, M. S.; Salas-Mellado, M. M.; Chemical Characterization of CHIA (*Salvia hispanica* L.) for Use in Food Products. *Journal of Food Nutrition Research* **2014**, *2*, 263.
- 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]
- 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]
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). Instrução Normativa (IN) N°87, de 15 de março de 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco%20-de-2021-309008143>>. Acesso em: 02 agosto 2021.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) N°24, de 08 de junho de 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/>>

- [assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-24-de-8-de-junho-de-2015.pdf/view](#)>. Acesso em: 02 agosto 2021.
22. IAL - Instituto Adolfo Lutz; *Métodos físicos-químicos para análise de alimentos*, 1a ed. digital, Instituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008. [Link]
 23. Tavares, L. S.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Lavras, 2016. [Link]
 24. 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]
 25. 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]
 26. Zohuriaan, M. J.; Shokrolahi, F.; Thermal studies on natural and modified gums. *Polymer Testing* **2004**, *23*, 575. [Crossref]
 27. Oliveira, O. W.; Petrovick, P. R.; Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. *Revista Brasileira de Farmacognosia* **2010**, *20*, 641. [Crossref]
 28. 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]
 29. 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]
 30. 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]
 31. Lopes, W. A.; Fascio, M.; Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova* **2004**, *27*, 670. [Crossref]
 32. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte); *Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações*, 1a. ed., EMBRAPA: Brasília, 2015. [Link]
 33. Zhang, Y.; Dubé, M. A.; McLean, D. D.; Kates, M.; Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology* **2003**, *89*, 1. [Crossref] [PubMed]
 34. Oliveira, D. S.; Fonseca, X. D. S.; Farias, P. N.; Bezerra, V. S.; Pinto, C. H. C.; Souza, L. D.; Santos, A. G. D.; Matias, L. G. O.; Obtenção Do Biodiesel Através Da Transesterificação Do Óleo De *Moringa Oleifera* Lam. *HOLOS* **2012**, *28*, 49. [Crossref]
 35. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Resolução N°45, de 25 de agosto de 2014. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ramp-45-2014>>. Acesso em: 14 setembro 2021.
 36. Wembabazi, E.; Mugisha, P. J.; Ratibu, A.; Wendi, D.; Kyambadde, J.; Vuzi, P. C.; Spectroscopic Analysis of Heterogeneous Biocatalysts for Biodiesel Production from Expired Sunflower Cooking Oil. *Journal of Spectroscopy* **2015**, *714396*. [Crossref]
 37. Nisar, J.; Razaq, R.; Farooq, M.; Iqbal, M.; Khan, R. A.; Sayed, M.; Shah, A.; Rahman, I.; Enhanced biodiesel production from *Jatropha* oil using calcined waste animal bones as catalyst. *Renewable Energy* **2017**, *101*, 111. [Crossref]
 38. Marwan; Suhendrayatna; Indarti, E.; Preparation of Biodiesel from Microalgae and Palm Oil by Direct Transesterification in a Batch Microwave Reactor. *Journal of Physics: Conference Series* **2015**, *622*. [Crossref]
 39. Kollar, S. R. M., *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, 2012. [Link]
 40. Rabelo, S. N.; Ferraz, V. P.; Oliveira, L. S.; Franca, A. S.; FTIR Analysis for Quantification of Fatty Acid Methyl Esters in Biodiesel Produced by Microwave-Assisted Transesterification. *International Journal of Environmental Science and Development* **2015**, *6*, 964. [Crossref]