

Extração com CO₂ supercrítico (avaliação dos efeitos da temperatura e pressão sobre o rendimento) do óleo de Sansão do Campo (*Mimosa caesalpiniifolia*)

Extraction using supercritical CO₂ (evaluation of the effects of temperature and pressure on yield)

Sansão do Campo (*Mimosa Caesalpiniifolia*) oil

Extracción con CO₂ supercrítico (evaluación de los efectos de la temperatura y la presión sobre el rendimiento) del aceite de Sansão do Campo (*Mimosa caesalpiniifolia*)

Recebido: 16/06/2025 | Revisado: 27/06/2025 | Aceitado: 28/06/2025 | Publicado: 30/06/2025

Kevin Azevedo Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1933-9900>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: kevin.azevedo@unesp.br

Marcos Antônio Avibar Ruzza

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7224-8095>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: marcos.ruzza@unesp.br

Guilherme de Souza Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7331-8173>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: guilherme.s.lopes@unesp.br

Renivaldo Jose dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0079-6876>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: renivaldo.santos@unesp.br

Leandro Ferreira-Pinto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0656-9471>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: leandro.f.pinto@unesp.br

Resumo

A presente pesquisa buscou-se investigar, quantificar o rendimento obtido do conteúdo lipídico obtidos a partir do sansão do campo utilizando CO₂ pressurizado em condição supercrítica gerando uma curva cinética de extração, para avaliar os efeitos das variáveis do processo (variáveis termodinâmicas), e comparar com a proporção de extração obtida utilizando o procedimento tradicional (procedimento com solventes orgânicos tradicionais). O sansão do campo é conhecido por seu potencial terapêutico multifuncional, atuando em processos anti-inflamatórios e antimicrobianos, bem como seu uso no tratamento de condições como bronquite e câncer de mama. Foram utilizados dois métodos de extração de óleo para se obter o conteúdo lipídico presente na amostra. Foi utilizado solvente orgânico (álcool etílico) e dióxido de carbono na condição supercrítica para realizar a extração de óleo do sansão do campo. O álcool etílico gerou um aproveitamento de 2% após 8 horas de extração, enquanto o dióxido de carbono na condição supercrítica obteve um rendimento de 4% em apenas 80 minutos. O processo de extração empregando fluido supercrítico de CO₂ se destacou devido à sua eficiência acentuada em relação a duração do processo. A análise quantitativa baseada em estatística experimental demonstrou que a variação de variáveis termodinâmicas (pressão e temperatura) não demonstrou significância estatística considerável o rendimento da extração com dióxido de carbono na condição supercrítica. Estudos prévios demonstram que a extração com líquidos pressurizados também pode ser eficaz para diferentes matrizes oleaginosas, a utilização de métodos estatísticos é essencial para validar experimentalmente os rendimentos em processos de extração.

Palavras-chave: Extração supercrítica; CO₂ pressurizado; Rendimento lipídico; Solvente orgânico; Cinética de extração; *Mimosa caesalpiniifolia* (*sansão docampo*).

Abstract

The present research aimed to investigate and quantify the lipid yield obtained from *sansão-do-campo* using pressurized CO₂ under supercritical conditions, generating an extraction kinetic curve to evaluate the effects of process variables (thermodynamic parameters) and compare them with the extraction yield obtained using the traditional method (based on conventional organic solvents). *Sansão-do-campo* is known for its multifunctional therapeutic potential, acting in anti-inflammatory and antimicrobial processes, as well as its use in the treatment of conditions such as bronchitis and

breast cancer. Two oil extraction methods were employed to obtain the lipid content from the sample: an organic solvent (ethanol) and carbon dioxide in a supercritical state. Ethanol achieved a 2% yield after 8 hours of extraction, while supercritical CO₂ achieved a 4% yield in only 80 minutes. The extraction process using supercritical CO₂ fluid stood out due to its significantly higher efficiency in terms of process duration. Quantitative analysis based on experimental statistics demonstrated that variations in thermodynamic variables (pressure and temperature) did not show statistically significant effects on the yield of the extraction using supercritical carbon dioxide. Previous studies have shown that pressurized liquid extraction can also be effective for different oilseed matrices, and the use of statistical methods is essential to experimentally validate yields in extraction processes.

Keywords: Supercritical extraction; Pressurized CO₂; Lipid yield; Organic solvent; Extraction kinetics; *Mimosa caesalpiniifolia* (sansão-do-campo).

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo investigar y cuantificar el rendimiento lipídico obtenido del *sansão-do-campo* utilizando CO₂ presurizado en condiciones supercríticas, generando una curva cinética de extracción para evaluar los efectos de las variables del proceso (parámetros termodinámicos) y compararlos con el rendimiento de extracción obtenido mediante el método tradicional (basado en solventes orgánicos convencionales). El *sansão-do-campo* es conocido por su potencial terapéutico multifuncional, actuando en procesos antiinflamatorios y antimicrobianos, así como por su uso en el tratamiento de afecciones como la bronquitis y el cáncer de mama. Se emplearon dos métodos de extracción de aceite para obtener el contenido lipídico de la muestra: un solvente orgánico (etanol) y dióxido de carbono en estado supercrítico. El etanol logró un rendimiento del 2% después de 8 horas de extracción, mientras que el CO₂ en condición supercrítica alcanzó un rendimiento del 4% en solo 80 minutos. El proceso de extracción con fluido supercrítico de CO₂ se destacó por su notable eficiencia en relación con la duración del proceso. El análisis cuantitativo basado en estadística experimental demostró que las variaciones en las variables termodinámicas (presión y temperatura) no mostraron efectos estadísticamente significativos sobre el rendimiento de la extracción con dióxido de carbono en condición supercrítica. Estudios previos han demostrado que la extracción con líquidos presurizados también puede ser eficaz para diferentes matrices oleaginosas, y el uso de métodos estadísticos es esencial para validar experimentalmente los rendimientos en los procesos de extracción.

Palabras clave: Extracción supercrítica; CO₂ presurizado; Rendimiento lipídico; Solvente orgánico; Cinética e extracción; *Mimosa caesalpiniifolia* (sansão-do-campo).

1. Introdução

Mimosa caesalpiniifolia Benth., popularmente denominada sansão-do-campo, é uma leguminosa arbórea nativa do bioma brasileiro, pertencente à família Fabaceae, destacando-se pelo seu uso predominante em cercas vivas, recuperação de áreas degradadas e sistemas agroflorestais devido à sua rusticidade e rápido crescimento. A espécie apresenta frutos do tipo legume, que podem ocorrer na forma de vagens articuladas ou planas, cujas dimensões variam de 5 a 8 mm de diâmetro e de 10 a 13 mm de espessura. Essas características morfológicas, aliadas ao seu potencial adaptativo, conferem à espécie relevância ecológica e econômica em diversas regiões do Brasil (Dias Silva et al., 2019).

A extração de óleo do sansão do campo vem ganhando destaque devido aos compostos bioativos presentes dentro de si, em que possuem propriedades terapêuticas, antibacterianas, antifúngicas, anti-convulsantes, anti-inflamatórios e cicatrizantes. Ademais, os extractos do sansão do campo apresentam efeitos contra a linha celular do câncer de mama, havendo dessa forma uma diminuição no dano oxidativo do DNA causado pelo cádmio sendo amplamente utilizado no tratamento de bronquite (Martins et al., 2023; Oliveira et al., 2020).

Existem diversas técnicas de executar a extração de óleo utilizando sansão do campo. Dentre esses métodos os mais tradicionais é utilizando solventes orgânicos, em que o solvente entra em contato com a amostra dissolvendo os lipídios ali presentes e ao penetrar a parede celular da matéria, o solvente utilizado irá apresentar características de insolubilidade em água, baixo ponto de ebulição e ter densidade diferente da água. Para que o processo de separação do óleo com o solvente seja mais simples (Ameer et al., 2017; Menezes Rodrigues, 2017).

Uma outra alternativa para extração do conteúdo lipídico da amostra vegetal seria com a utilização de fluidos supercríticos. Onde, um fluido supercrítico é uma substância que está acima de seus parâmetros críticos (temperatura e pressão) e apresenta as propriedades de um gás e um líquido. Desta forma os fluidos supercríticos apresentam uma menor viscosidade e

uma maior difusividade em comparação com alguns solventes orgânicos (Brunner, 2005; Gallego et al., 2019).

Para escolher uma substância na qual sera utilizada como fluido supercrítico afim de se obter os extratos de óleo a partir de uma matriz vegetal deve-se ser levado em conta seus parâmetros críticos . O CO₂ é um exemplo clássico sendo muito comum a sua aplicação como fluido supercrítico em indústrias alimentícias, pois o CO₂ apresenta algumas vantagens em relação a outros fluídos, como por exemplo seus baixos parâmetros de variáveis termodinâmicas crítica (72,01 bar e 31,1 °C) , não toxicidade, baixo custo e sua fácil separação do óleo extraído (Zhou et al., 2021; Silva et al., 2016b).

A presente pesquisa buscou-se investigar quantificar o rendimento obtido do conteúdo lipídico obtidos a partir do sansão do campo utilizando CO₂ pressurizado em condição supercrítica, gerando uma curva cinética de extração para avaliar os efeitos das variáveis do processo (variáveis termodinâmicas) e realizar uma comparação relacionado ao proporção de extração obtida que fazem o uso do procedimento tradicional (procedimento com solventes orgânicos tradicionais).

Metodologia

2.1 preparação

Realizou-se uma pesquisa mista experimental, com coletando material em campo no Município de Rosana-SP, e com extração e análises num estudo laboratorial e de natureza quantitativa (Gil, 2017; Pereira et al., 2018) com emprego de análise estatística (Bekman & Costa Neto, 2009).

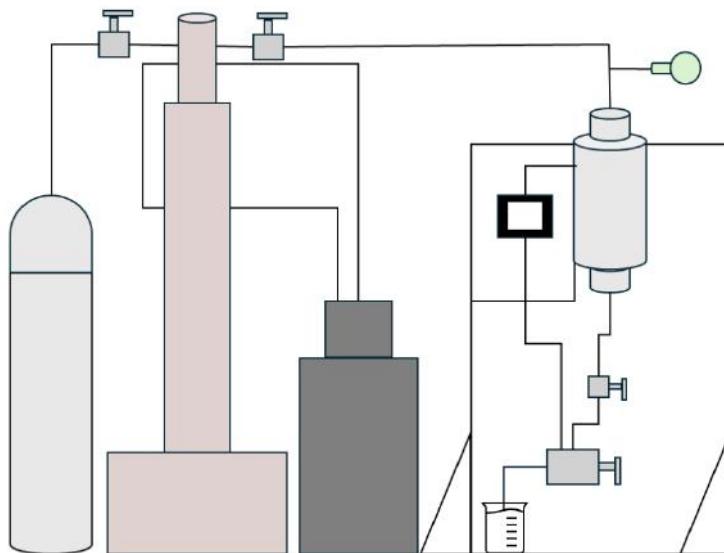
2.2 Extração com soxhlet

A extração utilizando solvente orgânico (álcool etílico) foram executadas em duplicata e foram conduzidas utilizando um extrator Soxhlet. Foi usado um cartucho de papel filtro para adicionar cerca de 0,50 g de semente triturada do sansão do campo, e inserido no extrator. O extrator foi conectado a um frasco Soxhlet contendo 300 mL de álcool etílico. O processo de extração foi realizado ao longo de 8 horas. Posteriormente, o álcool etílico foi eliminado do extrato através de evaporação rotativa em uma estufa operando a 50 °C (Soares et al., 2018).

2.3 Extração com CO₂ supercrítico

As configurações experimentais de pressão, vazão e temperatura foram previamente determinadas com base em experimentos preliminares e em estudos já relatados na literatura. Os testes experimentais foram feitos utilizando uma unidade de extração de bancada, que inclui um cilindro de CO₂, um banho termostatizado, uma bomba seringa (ISCO 260D, EUA), um vaso de extração com camisa térmica feito de aço 304 (com diâmetro de 1,90 cm e altura de 16,8 cm) e um transdutor de pressão absoluta (Smar LD 301, Brasil), conforme é apresentado na Figura 1 (Brunner, 2005; Pereira & Meireles, 2010; Almeida & Barros, 2022).

Figura 1 - Bancada de extração supercrítica.



Fonte: Autoria própria.

No processo de extração do conteúdo lipídico do germe de trigo, o extrator foi alimentado com 0,4 gramas de massa do sansão do campo e o espaço vazio do extrator foi completado com esferas de vidro (leito inerte). Consequentemente, o CO₂ fornecido ao dispositivo passou inicialmente através do leito inerte antes de alcançar a semente moída. Assim que temperatura ideal seja atingida para a extração, a bomba e o extrator foram pressurizados. Uma vez alcançada a pressão operacional, o sistema permaneceu em repouso durante 30 minutos para estabelecer o equilíbrio e assegurar que o solvente estivesse saturado no início do processo de extração (Lopes et al., 2022; Zhou et al., 2021).

As extrações foram conduzidas a pressões de 200, 240 e 280 bar e temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, com uma vazão de CO₂ de 2,0 mL·min⁻¹, utilizando um planejamento fatorial 2², incluindo triplicata no ponto central. A taxa de fluxo de solvente foi controlada utilizando uma válvula micrométrica (Parker Autoclave Engineers, EUA) mantida a 90 °C, pois como o sistema de extração utilizado libera o CO₂ no ambiente poderia ocorrer o congelamento da válvula. O óleo lipídico do sansão do campo foi recolhido em frascos de vidro e pesado em seis ciclos iniciais de 5 minutos, seguidos por cinco ciclos de 10 minutos, totalizando 80 minutos de experimento conforme a Tabela 1 (Ameer et al., 2017; Lopes et al., 2022).

Tabela 1 - Planejamento fatorial 2².

Fatores	Símbolos	Unidades	Níveis		
			-1	0	+1
Temperatura	T	°C	40	50	60
Pressão	P	bar	200	240	280

Fonte: Autoria própria.

2.4 análise estatística

Os resultados passaram por uma análise quantitativa baseada em estatística experimental seguindo um plano fatorial 2², como detalhado na Tabela 1. Utilizou-se o software Design Expert versão 12 para conduzir as análises estatísticas, que permitiram identificar os fatores que impactaram o processo de extração (variáveis termodinâmicas). Através do teste de variância (ANOVA), tornou-se viável determinar a significância dos resultados dos experimentos e estabelecer uma equação para calcular a proporção de extração obtida no intervalo de variáveis termodinâmicas estabelecidos na Tabela 4 (Wrona et al.,

2017; Gil, 2017).

3. Resultados e Discussão

3.1 extração com solvente orgânico (álcool etílico)

Na Tabela 2 é possível verificar o rendimento da extração de óleo do sansão do campo (com álcool etílico) como solvente orgânico e com o auxílio do dispositivo extrator do tipo Soxhlet juntamente com o percentual do rendimento obtido a parir da utilização de dióxido de carbono na condição supercrítica. O emprego de solventes orgânicos na extração do conteúdo lipídico foi realizado com o objetivo de estimar o teor total de óleo na amostra, visto que o equipamento de extração supercrítica não suporta experimentos de longa duração. Ademais, o procedimento com solvente orgânico foi conduzido para comparar o rendimento entre os diferentes métodos de extração, conforme apresentado na Tabela 2. A utilização de álcool etílico como solvente orgânico obteve um rendimento de 2,16 % do conteúdo lipídico obtido a partir do sansão do campo, no período de 420 minutos (Ameer et al., 2017; Costa & Lima, 2024).

Tabela 2 - Comparação experimental do rendimento de extração para a extração de óleo do sansão do campo utilizando solvente orgânico e dióxido de carbono na condição supercrítica.

Solvente	Tempo (min)	Rendimento (%)
Etanol	420	2,16
CO ₂	80	4,15

Fonte: Autoria própria.

A partir da Tabela 2 é possível notar que a variação do rendimento entre o dióxido de carbono na condição supercrítica e o álcool etílico foi apenas de 2 %, contudo, não há uma discrepância estatística relevante no rendimento final entre ambos os métodos de extração. Porém, a extração com dióxido de carbono na condição supercrítica apresentou rendimentos superiores em comparação com a extração utilizando álcool etílico. Além dos rendimentos superiores da extração com dióxido de carbono na condição supercrítica, tornou-se viável realizar a extração por um menor período, pois, foram necessários apenas 80 minutos de extração para se obter 4 % do conteúdo lipídico do sansão do campo.

A diferença de tempo entre os métodos de extração ocorrem devido ao dióxido de carbono na condição supercrítica possuir uma elevada taxa de transferência de massa, maior difusividade, menor viscosidade e menor tensão superficial. Sendo dessa forma, o poder de solvatação do dióxido de carbono na condição supercrítica torna-se mais eficiente do que os solventes orgânicos, tornando o processo de extração mais rápido (Brunner, 2005; Zhou et al., 2021).

3.2 extração supercrítica (CO₂)

Os rendimentos do sansão do campo tiveram uma variação entre 3,97 % e 4,15 % no período de 80 minutos. Os resultados das substâncias extraídas em diferentes parâmetros de variáveis termodinâmicas estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Condições experimentais e resultados de rendimento de extração para a extração de óleo do sansão do campo utilizando CO₂ pressurizado em condição supercrítica.

Experimento	Temperatura	Pressão	Rendimento
	(°C)	(bar)	(%)
1	40	280	3,99
2	60	280	4,15
3	40	200	3,97
4	60	200	3,98
5	50	240	4,01
6	50	240	4,04
7	50	240	3,90

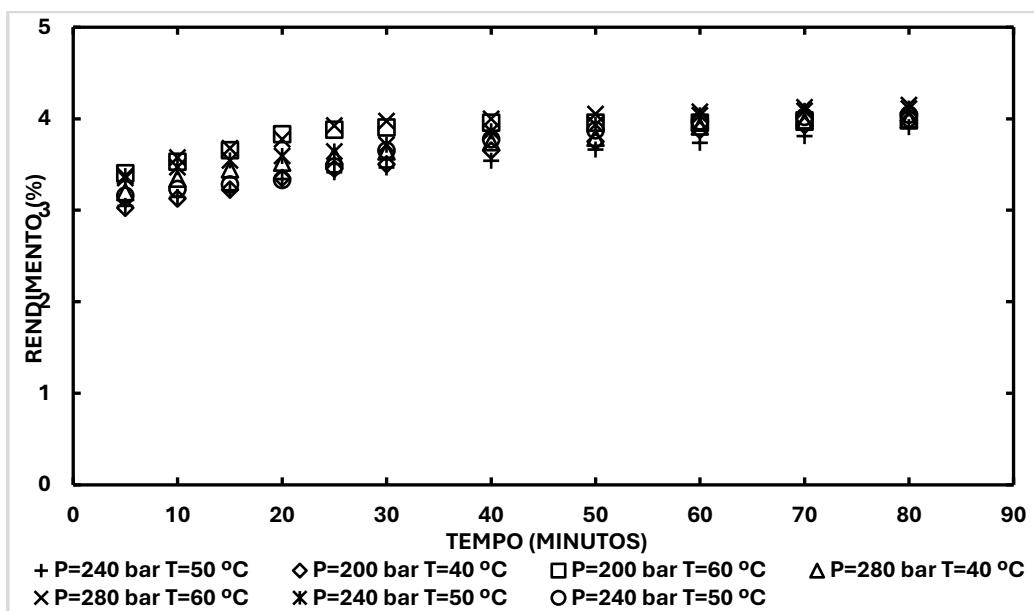
Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados obtidos, o sansão do campo não apontou desigualdades notórias entre os experimentos feitos. A partir da Tabela 3 tornou-se viável notar que em condições de variáveis termodinâmicas não tiveram variações e consequentemente não há uma condição de variáveis termodinâmicas no intervalo de 200 e 280 bar e 40 e 60 °C que faça o rendimento do conteúdo lipídico do sansão do campo ser superior a 4% tendo variação do rendimento entre os experimentos de aproximadamente 0,18%.

A análise da curva cinética gerada a partir dos experimentos realizados (Figura 2) revela que ambos os experimentos exibem um comportamento muito similar. A maior parte dos extratos foi obtida dentro dos primeiros 5 minutos de extração. No entanto, após esse período, observa-se uma mudança na inclinação da curva cinética. A partir de aproximadamente 20 minutos, o processo de extração entra em uma fase secundária, onde, há uma diminuição na quantidade de substâncias extraídas. Nota-se que a partir dos 50 minutos de extração, a variação no rendimento entre os experimentos se torna menos significativa (Lopes et al., 2022; Martins & Ferreira, 2023).

A diminuição do rendimento das extrações ocorre devido ao fato de que as extrações supercríticas, acontecem em dois estágios de transferência de massa e três fases distintas de extração. O primeiro estágio engloba a extração do óleo facilmente acessível, dependente da solubilidade na fase fluida, refletindo-se em uma curva linear com declive próximo à solubilidade do óleo no solvente. Posteriormente, ocorre uma redução na taxa de extração, seguida pela extração do óleo de acesso mais difícil, governada por um mecanismo de difusão interna. No terceiro período como pode ser observado na Figura 2 a curva de extração mantém-se quase linear, com uma taxa substancialmente menor do que no primeiro período.

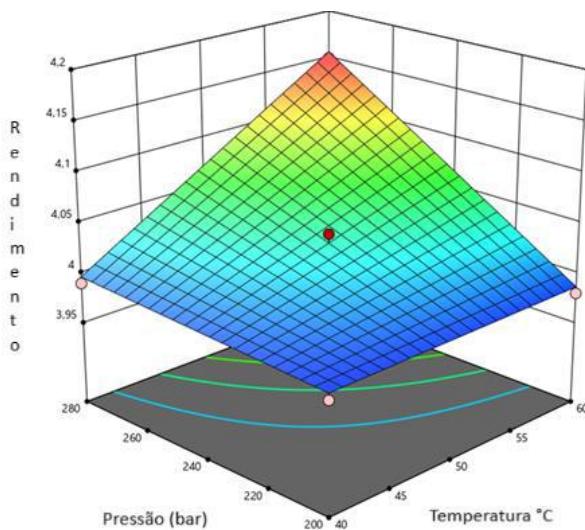
Figura 2 - Curvas cinéticas experimentais e modeladas para as extrações de óleo da semente do sansão do campo por dióxido de carbono na condição supercrítica.



Fonte: Autoria própria.

As extrações do óleo do germe de trigo por CO₂ supercrítico atingiram um platô de rendimento, indicando que se tornou viável extrair completamente o conteúdo lipídico presente na amostra. A influência da pressão e da temperatura sobre o rendimento pode ser visualizada no gráfico de superfície de resposta exibido na Figura 3.

Figura 3 - Gráfico de superfície de resposta referente ao rendimento da extração de óleo do sansão do campo em função dos níveis de temperatura e pressão com vazão constante de 2,0 mL.min⁻¹.



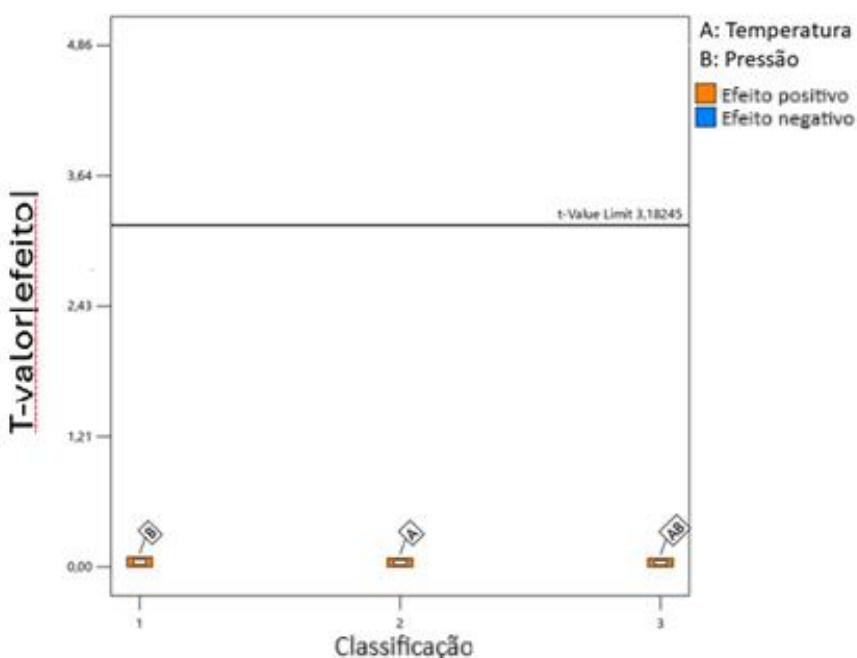
Fonte: Autoria própria.

O gráfico de superfície de resposta (Figura 3) revela que variáveis termodinâmicas são parâmetros determinantes nos rendimentos da extração do óleo de sansão do campo. A partir dele, observa-se que as condições de maior variáveis termodinâmicas resultam em rendimentos elevados, enquanto regiões com valores inferiores desses parâmetros apresentam

rendimentos reduzidos. Isso demonstra que o incremento na pressão e na temperatura favorece o processo extrativo. No entanto, conforme evidenciado na Tabela 3, a variação nos rendimentos finais entre os experimentos foi pequena.

A fim de determinar se houve ou não alguma variável significativa para o processo de extração, se faz necessário a utilização de um gráfico de Pareto Figura 4. Para avaliar se as condições de variáveis termodinâmicas foram significativas ou não para processo de extração, a partir da Figura 4 deve-se observar se as variáveis de temperatura (A) e pressão (B) estão acima da linha de significância (*t*-value), pois se não estiverem acima da linha de significância, as condições não foram significativas para o processo. Nota-se que a pressão e a temperatura não apresentaram efeitos significativos ao processo de extração, ou seja, sua variação não ocasionou a diferença de rendimento entre cada um dos experimentos.

Figura 4 - gráfico de pareto estimativa dos efeitos lineares das variáveis.



Fonte: Autoria própria.

A partir do Gráfico de Pareto (Figura 4), é possível identificar quais variáveis influenciam positivamente ou negativamente o processo de extração. A análise revela que variáveis termodinâmicas exercem efeitos claramente positivos sobre os rendimentos de extração, evidenciando que essas variáveis são responsáveis por parcela significativa do aumento observado no rendimento.

A análise quantitativa baseada em estatística experimental realizada apresentou um modelo linear significativo conforme apresentado na Tabela 4, na qual tornou-se viável gerar uma equação (Equação 1) com o intuito de determinar a predição dos rendimentos de extratos de óleo do sansão do campo dentro do intervalo de variáveis termodinâmicas citados na Tabela 1 (200 a 280 bar e 40 a 60 °C). Utilizando a Equação 1 é possível realizar uma predição dos rendimentos de extrato de óleo substituindo os valores de *T* e *P*, onde *T* representa a temperatura e *P* representa a pressão. Os resultados do rendimento obtido a partir da Equação 1 são dados em porcentagem (Wrona et al., 2017; Gil, 2017).

$$\text{Rendimento} = 4,03 + 0,0407 \cdot T + 0,0458 \cdot P + 0,0393 \cdot T \cdot P \quad (1)$$

O modelo estatístico utilizado Tabela 4 apresentou os valores de P abaixo dos 5% de tolerância, e apresentou um valor de R² de 0,9802, ou seja, os dados obtidos através dos experimentos realizados possuem 98,02 % de precisão.

Tabela 4 - Dados de análise de variância para as substâncias extraídas utilizando planejamento fatorial 2² para extrações com dióxido de carbono do sansão do campo.

Termos	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F-valor	p-valor	R ²
Semente do Sansão do Campo						
Modelo	0,0212	3	0,0071	49,53	0,0047	
T	0,0066	1	0,0066	46,56	0,0064	
P	0,0084	1	0,0084	58,82	0,0046	
T.P	0,0062	1	0,0062	43,20	0,0072	0,9802
Erro Puro	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	0,0216	6				

T = Temperatura; P = Pressão.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 4 mostra os resultados da ANOVA aplicada ao planejamento fatorial 2² para extração com CO₂ das sementes do sansão do campo, com nível de significância de 5%. O modelo foi significativo ($p = 0,0047$), indicando que os fatores estudados influenciam o rendimento. Os efeitos individuais da temperatura ($p = 0,0064$), pressão ($p = 0,0046$) e da interação entre ambos (T.P, $p = 0,0072$) foram todos estatisticamente significativos. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9802$) mostra que 98,02% da variação nos dados é explicada pelo modelo, evidenciando um excelente ajuste e confirmando a relevância dos fatores analisados.

Ao observar a Tabela 4, nota-se que o modelo estatístico utilizado é significativo, devido a seu baixo valor de p, portanto os termos T, P e T.P são significativos para o 75 modelo. O valor de R² também demonstra que os experimentos possuem uma precisão de 98,02%.

4. Conclusão

Os experimentos utilizando álcool etílico como solvente orgânico apresentaram rendimentos de 2 %, em que foi realizado por um período de 420 minutos (8 horas). A extração utilizando CO₂ pressurizado em condição supercrítica obteve um rendimento de 4% em um período de 80 minutos. Houve uma variação de 2 % entre os sete experimentos realizados. A maior parte das substâncias extraídas foram coletados nos primeiros 5 minutos de extração. (Ameer et al., 2017; Costa & Lima, 2024). (Brunner, 2005; Zhou et al., 2021).

A variação da pressão e da temperatura não apresentou influência estatisticamente significativa no processo de extração com CO₂ supercrítico, uma vez que os resultados experimentais foram muito semelhantes. O aumento da temperatura e da pressão se faz benéfico para a obtenção do conteúdo lipídico do sansão do campo.

Os 80 min de extração foram suficientes para atingir o platô máximo da extração da amostra. Os resultados indicam que a extração supercrítica com CO₂ proporcionou rendimentos superiores à extração com álcool etílico, além de exigir menor tempo de processamento. (Lopes et al., 2022; Martins & Ferreira, 2023).

Referências

- Almeida, C. J., & Barros, D. L. (2022). Supercritical CO₂ in natural product recovery: Review of advances. *Chemical Engineering and Processing*, 180, 109003. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109003>
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. H. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(2), 295–315. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>

Bekman, O. R., & Costa Neto, P. L. O. (2009). Análise estatística da decisão (2^a ed.). Editora Edgar Blucher.

Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: Technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060>

Costa, R. S., & Lima, H. F. (2024). Solvent selection and its effect on botanical extract efficiency. *Journal of Applied Research on Medicinal Plants*, 36, 102579. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2024.102579>

Dias Silva, M. J., Simonet, A. M., Silva, N. C., Dias, A. L. T., Vilegas, W., & Macías, F. A. (2019). Bioassay-Guided Isolation of Fungistatic Compounds from Mimosa caesalpiniifolia Leaves. *Journal of Natural Products*, 82(6), 1496–1502. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.8b01025>

Gallego, R., Bueno, M., & Herrero, M. (2019). Sub- and supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plants, food-by-products, seaweeds and microalgae – An update. *Trends in Analytical Chemistry*, 116, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.041>

Gil, A. C. (2017). Como elaborar projetos de pesquisa (6^a ed.). Editora Atlas.

Lemos, C. O. T., Garcia, V. A. dos S., Gonçalves, R. M., Leal, I. C. R., Siqueira, V. L. D., Filho, L. C., & Cabral, V. F. (2012). Supercritical extraction of neolignans from Piper regnelli var. pallescens. *The Journal of Supercritical Fluids*, 71, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.07.003>

Lopes, G. de S., Araujo, P. C. C. de, Silva, M. J. da, Paim, L. L., Oliveira, K. R. de, Valarini Junior, O., Favareto, R., Parizi, M. P. S., & Ferreira-Pinto, L. (2022). Kinetic study of peanut seed oil extraction with supercritical CO₂. *Research, Society and Development*, 11(4), e15511427098. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27098>

Martins, G. R., & Ferreira, A. L. (2023). Innovations in phytochemical extraction using supercritical fluids. *Biochemical Engineering Journal*, 196, 108927. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.108927>

Menezes Rodrigues, G., Cardozo-Filho, L., & Silva, C. (2017). Pressurized liquid extraction of oil from soybean seeds. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95(12), 2383–2389. <https://doi.org/10.1002/cjce.22922>

Oliveira, J. C. G. de, Linhares, M. G., Linhares, L. G., Câmara, L. M. A., Bertini, L. M., & Alves, L. A. (2020). Capacidade antioxidante e caracterização fitoquímica de Mimosa caesalpiniifolia. *Research, Society and Development*, 9(8), e915986555. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6555>

Pareyn Corneel Germain, F., Araújo Lima, E., & Drummond Antônio, M. (2018). Mimosa caesalpiniifolia: Sabiá. In L. Coradin, J. Camillo & F. G. C. Pareyn (Eds.), Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste (Cap. 5). Brasília, DF: MMA.

Pereira, A. S., et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica [e-book gratuito]. Editora da UAB/NTE/UFSM.

Pereira, C. G., & Meireles, M. A. A. (2010). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: Fundamentals, applications and economic perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 340–372. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>

Silva, R. P. F. F., Rocha-Santos, T. A. P., & Duarte, A. C. (2016b). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *Trends in Analytical Chemistry*, 76, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.11.013>

Wrona, O., Rafińska, K., Możeński, C., & Buszewski, B. (2017). Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds from Plant Materials. *Journal of AOAC International*, 100(6), 1624–1635. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0232>

Zhou, J., Gullón, B., Wang, M., Gullón, P., Lorenzo, J. M., & Barba, F. J. (2021). The application of supercritical fluids technology to recover healthy valuable compounds from marine and agricultural food processing by-products: A review. *Processes*, 9(2), 357. <https://doi.org/10.3390/pr9020357>