

Artigo Científico

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ÓLEO DE AMENDOIM ATRAVÉS DO PLANEJAMENTO FATORIAL

Extraction and characterization of physical and chemical properties of peanut oil through factorial planning

***Gustavo Campos Soares, Flávia Guilhermina Aguiar Vieira, Raquel Moreira Maduro de Carvalho**

Departamento de Engenharia Química, Centro Universitário de Viçosa (UNIVIÇOSA),
36576-340, Viçosa, MG, Brasil

***Autor para correspondência:** raquelmaduro@gmail.com

Submetido em: 18-08-2020. Aceito em: 21-05-2021. Publicado em: 17-07-2021.

Resumo^a: O amendoim é uma planta cuja semente é rica em óleo e com excelentes propriedades nutricionais, os grãos contêm 26 % de proteínas, 46 % de óleo, além de sais minerais e um leque de vitaminas e compostos antioxidantes. Existem diversas formas de fazer a retirada do óleo, dentre elas está a extração por solvente orgânico (Soxhlet). Sendo o extrator Soxhlet um dos mais utilizados devido à facilidade do processo e reciclo constante do solvente. Embora a técnica da extração deste óleo através do Soxhlet com o solvente etanol ser bastante estudado, não há dados na literatura para a extração do óleo de amendoim bruto pelo extrator Soxhlet com otimização do volume do solvente e o tempo de extração. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho realizar um planejamento fatorial 2^2 para volume de solvente e tempo de extração a fim de verificar a significância dessas variáveis no rendimento da extração e também realizar a caracterização físico química do óleo. Foi possível observar que o etanol se mostrou como um bom solvente para extração do óleo de amendoim. No que se refere ao planejamento fatorial o tempo de extração foi significativo para o rendimento, entretanto o volume de solvente não se mostrou significativo.

Palavras-chave: extração, óleo de amendoim, rendimento, soxhlet.

Abstract: Peanuts are a plant whose seeds are rich in oil and with excellent nutritional properties, grains 26% protein, 46% oil, in addition to minerals and a set of vitamins and antioxidant compounds. There are several ways to remove the oil, including extraction by organic solvent (soxhlet). The soxhlet extractor is one of the most used due to the ease of process and the constant recycling of solvents. Although a technique to extract this oil through Soxhlet with ethanol oil has been extensively studied, there is no data in the literature for the extraction of crude peanut oil by the Soxhlet extractor with optimization of the solvent volume and the extraction time. In this sense, the objective of this work is to carry out a 2^2 factorial planning for the solvent volume and the extraction time after verifying the significance of these variables in the extraction yield and also

carry out a chemical characterization of the oil. It was possible to observe that ethanol proved to be a good solvent for the extraction of peanut oil. It does not refer to factorial planning or extraction time that was significant for yield, but the volume of oil was not shown significantly.

Keywords: extraction, peanut oil, soxhlet, yield.

INTRODUÇÃO

O amendoim é uma planta cultivada cujas sementes, ricas em óleo e proteína, são produzidas abaixo da superfície do solo e podem ser consumidas cruas. Essa leguminosa é um alimento popular em todas as regiões do Brasil, pode ser consumido doce ou salgado. O amendoim é um alimento de excelentes propriedades nutricionais, os grãos contêm 26% de proteínas, 46% de óleo, além de sais minerais e um leque de vitaminas e compostos antioxidantes (ABICAB, s.d.).

De maneira semelhante aos demais óleos vegetais, o óleo de amendoim não contém colesterol e apresenta um alto teor de gorduras mono e poli-insaturadas. Tem ação antioxidante, melhora as taxas de colesterol, controla o apetite, protege o coração, entre outras vantagens (CECCBI, 2003).

O óleo de amendoim enquadra-se dentro da classe dos lipídeos, sendo definidos como componentes dos alimentos que são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, tais como éter etílico, éter de petróleo, acetona, clorofórmio, benzeno e álcoois. Esses solventes apolares extraem a fração lipídica neutra que incluem ácidos graxos livres, mono, di e triacilgliceróis, e algumas mais polares como fosfolipídios (FREIRE, 2010).

A diversidade de fontes de óleos vegetais leva a uma grande variedade dos percentuais de extração dos óleos dessas fontes através de uma vasta quantidade de métodos de extração. Dentre elas estão a prensagem, extração por solvente orgânico (Soxhlet), extração com fluido supercrítico e por enzimas. No entanto, o extrator Soxhlet é um dos mais utilizados devido à facilidade do processo e reciclo constante do solvente (ROSSETO *et al.*, 2012). Ademais, esta extração pode proporcionar uma maior porcentagem de óleo em comparação com outros métodos, pois a amostra permanece em contato com o solvente por evaporação e condensação (RAI *et al.*, 2015).

De acordo com BRUM *et al.*, 2009, o solvente para uma extração de óleo vegetal ou animal deve ser escolhido de acordo com as características intrínsecas (químicas e física) da matriz. Antes disso, as oleaginosas podem diferir devido ao solvente utilizado, como observado por SANTOS *et al.* 2013 e ROSSETO *et al.*, 2012 com os solventes hexano e etanol. MANIRAKIZA *et al.*, 2001, observaram a extração conveniente da fração lipídica de amostras sólidas que continham alto teor de lipídeos usando os seguintes solventes: éter de petróleo, metanol, n-hexano, diclorometano: hexano (1: 4) e acetona: hexano (1:4).

O teor de umidade nos grãos é outro fator que pode influenciar na eficiência da extração do solvente, uma vez que o teor de umidade é o fator que mais afeta o rendimento do óleo na matéria-prima oleaginosa (SINGH *et al.*, 2002; SINGH & BARGALE, 2000). De acordo com TANGO *et al.*, 2004 a secagem facilita o processo referente ao contato entre o solvente e o soluto a ser extraído, resultando em maiores rendimentos. No entanto, há autores que demonstram que o ressecamento afeta a qualidade do grão, mas não a qualidade do óleo (ROSSETO *et al.*, 2012; FERANDES *et al.*, 2014).

Porém a extração é dependente de vários fatores, tais como, a natureza do vegetal, o solvente utilizado, o tamanho das partículas, o tempo, o volume e a temperatura de extração. Uma das metodologias para estudar a influência destes fatores é o planejamento experimental. Este método, de acordo com Barros Neto et al. (2003), tem a finalidade de ajudar na preparação e execução de experimentos e na análise dos resultados, seja na escala laboratorial ou industrial. Ela permite obter muitas informações com um número reduzido de experimentos, minimizando tempo e custos operacionais. Os fatores são considerados as variáveis de entrada que podem ser controladas no processo e as respostas são as variáveis de saída do sistema nas quais se tem interesse, que podem ou não ser afetadas por alterações provocadas nas variáveis de entrada.

Vale ressaltar que neste trabalho a variável de saída será o rendimento do óleo de amendoim bruto. E este dado é imprescindível para o projeto e para a simulação de processos de extração. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo estudar o processo de extração do óleo de amendoim bruto utilizando Soxhlet, sendo avaliado o efeito das variáveis controladas que é o volume do solvente etanol e tempo necessário de extração; além de sua caracterização química.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada em Viçosa, cidade da Zona da Mata mineira; que possui área de 299,397 Km², com uma população de aproximadamente 80 mil habitantes.

O grão de amendoim foi adquirido no próprio comércio de Viçosa – Minas Gerais.

Todas as análises foram realizadas, no laboratório de química da Univiçosa, em duplicata. A água utilizada nos experimentos foi destilada e deionizada com resina de troca iônica. Os demais reagentes são apresentados na Tabela 1 com características físico-químicas, e foram usados sem nenhuma purificação adicional.

Tabela 1. Características físico-químicas dos reagentes.

Composto químico	Etanol (C₂H₆O)
Fabricante	Cinética-Reagentes e soluções
Massa Molar (g/mol)	46,0700
Densidade (g/ml a 25 °C)	0,7850- 0,7950
Ponto de Ebulição (°C)	78,3700
Pureza (% em massa)	99,5000

Planejamento fatorial

Para otimizar as análises de extração do óleo de amendoim bruto foi realizado um planejamento experimental 2^2 , de acordo com a tabela 02, tendo como objetivo verificar a influência do volume do solvente e do tempo de extração.

Tabela 2. Planejamento fatorial.

Ensaio	Variável 1	Variável 2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0

Para a análise de todos os dados do planejamento fatorial foi utilizado o programa computacional Microsoft Office Excel® para resolução das planilhas e gráficos.

Extração e caracterização do óleo bruto de amendoim

Os cartuchos que foram utilizados no Extrator Soxhlet (Marconi, modelo MA- 487), foram feitos com papel de filtro com gramatura de 110 g/m² e 0,4 mm de espessura, de tal modo que nenhuma amostra saísse do cartucho durante a extração do óleo bruto. A manufatura dos cartuchos foi de forma geométrica cilíndrica e enumerado para se ter o controle no experimento.

Antes de inserir a amostra do grão de amendoim no cartucho foi realizado o teste de umidade e a trituração dos grãos seguindo os procedimentos do Instituto Adolfo Lutz, 2008.

Após a trituração, a massa da amostra foi determinada utilizando uma balança analítica (Bioprecisa, Eletronic Balance FA -2104 N, precisão de +/- 0,0001g) de modo a verificar a influência da quantidade de amostra nos resultados, utilizando uma mesma quantidade de solvente. Os cartuchos com amostras foram devidamente inseridos no Extrator Soxhlet.

Após a inserção dos cartuchos, foi adicionado um determinado volume de solvente no frasco de destilação do extrator Soxhlet. Tais recipientes foram devidamente pesados antes da inserção do solvente, para que após a extração fosse possível calcular a massa final extraída, por diferença entre o frasco cheio e vazio. Com a inserção do solvente e dos cartuchos, ligou-se o fluxo de água de resfriamento que passou pelo condensador, localizado na parte superior do equipamento e posteriormente ligou o extrator. Após, aproximadamente, 10 minutos iniciou-se a evaporação do solvente e, portanto, o processo de extração.

A fim de quantificar a influência do volume e do tempo de extração na porcentagem de óleo bruto extraído, foi realizado o estudo do processo de extração através do planejamento fatorial 2². Após o tempo de extração, foi separado o solvente do óleo. Para isso fechou-se a válvula de retorno de solvente, no qual ele não retorna ao recipiente inferior.

Após o resfriamento o frasco foi pesado com os lipídios. Pela diferença da massa do frasco com os lipídeos e do frasco vazio, determinou-se a quantidade de óleo bruto que foi extraída do grão de amendoim. Com o valor do percentual de óleo bruto foi possível determinar o rendimento da extração conforme o item 4.4.

Teor de umidade do óleo e do grão de amendoim

Para determinação do teor de umidade do óleo e do grão de amendoim (Equação 1) foi pesado 10 g da matéria-prima. A amostra foi inserida na estufa (Tecnal- TE-394/1-MP) com circulação e renovação do ar, com temperatura de 105 °C por um período de 24 horas. Seguindo os procedimentos, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

$$U = \frac{(P_f - P_i) \times 1}{M_a} \quad (1)$$

Fonte: ZENEBON (2008).

Ao qual: U = teor de umidade, P_f = massa final, M_a = massa de amendoim e P_i = massa inicial.

Secagem dos grãos

A amostra foi submetida ao calor em estufa (Tecnal- TE-394/1-MP) com circulação e renovação do ar a 60 °C até obtenção de massa constante. Seguindo os procedimentos, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz – 2008.

Índice de acidez

O índice de acidez do óleo foi realizado pela titulação, o qual 2 g da amostra foram diluídas em 25 mL de álcool etílico (1:2). O titulante utilizado foi hidróxido de sódio 0,02 mol/L (NaOH – Dinâmica Química-PA), sendo a fenolftaleína utilizada como indicador.

Índice de saponificação

Foram utilizados 1,5 g da amostra junto com 50 mL de solução alcoólica de hidróxido de potássio 4% m/v (KOH– Dinâmica Química-PA). Foi conectado o condensador e deixado entrar em ebulição de forma lenta até a completa saponificação da amostra. Após a completa saponificação foi adicionado 1 mL do indicador e titulado com a solução de ácido clorídrico (HCl – Dinâmica Química-PA) 0,5 mol/L até o desaparecimento da cor rósea, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz – 2008. Foi utilizado a equação 2 para o cálculo do índice de saponificação.

$$\boxed{\text{Índice de saponificação} = \frac{28,06 \times f \times (B - A)}{P}} \quad (2)$$

Fonte: ZENECON (2008)

Na qual: A = volume gasto na titulação da amostra, B = volume gasto na titulação do branco, f = fator da solução de HCl 0,5 mol/L e P = massa em g da amostra utilizada.

Densidade

A densidade foi determinada (Equação 3) utilizando o picnômetro, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz – 2008.

$$\boxed{\rho_{am} = \frac{M_{p+am} - M_p}{M_{p+ag} - M_p} \times \rho_{ag}} \quad (3)$$

Fonte: ZENECON (2008)

Na qual: ρ_{am} = densidade da amostra, M_{p+am} = massa do picnômetro + a massa da amostra, M_{p+ag} = massa do picnômetro + a massa da água, M_p = massa do picnômetro vazio e ρ_{ag} = densidade da água na temperatura que o experimento foi realizado.

Rendimento

O rendimento de cada extração foi calculado pela Equação 4.

$$\boxed{\text{Rendimento} = \frac{M_O}{M_G} \times 100} \quad (4)$$

Fonte: ZENECON (2008)

Na qual: M_O = massa de óleo extraída e M_G = massa de óleo no grão de amendoim.

A massa de óleo presente no grão de amendoim foi baseada na informação do rotulo do fornecedor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A secagem e a trituração dos grãos apresentaram-se como boas técnicas para otimizar os resultados em relação a extração do óleo bruto do amendoim, visto que em todas as combinações do planejamento fatorial de tempo de extração e volume de solvente, o rendimento foi superior a 60%.

A Tabela 3 apresenta os resultados do planejamento fatorial 2². Observa-se como as variáveis de entrada e suas combinações afetam o rendimento da extração do óleo bruto de amendoim.

Tabela 3. Rendimento da extração do óleo bruto de amendoim.

Ensaio	Tempo (min)	Volume (mL)	Rendimento (%)
Pontos Fatoriais	1	60	66,2271
	2	120	100,9490
	3	60	60,9042
	4	120	80,3744
Pontos Centrais	5	90	82,8026
	6	90	89,0517
	7	90	80,7389

Foi realizado uma análise estatística (Microsoft Excel, 2010®) e pôde-se verificar o nível de significância para cada variável do processo.

Tabela 4. Resultado do teste estatístico para rendimento com solvente etanol.

	Efeitos	Erro	t (2)	p
SG	Média 80,29 ±	1,64	49,08	4x10 ⁻⁴
	1 -13,45 ±	4,33	3,11	0,09
SG	2 27,60 ±	4,33	6,38	0,024

Nível de significância (α) 0,05

Legenda: 1 - Volume de solvente; 2 - Tempo de extração.

Quando verificado o resultado estatístico do Planejamento Fatorial 2² (Tabela 4) tem-se que para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$) para o método da extração com etanol, apenas a variável tempo é significativa, ou seja, a variação do volume do solvente, não foi determinante para o rendimento da extração. Como o valor para essa variável foi positivo, dentro dos níveis estudados, um aumento no tempo de permanência eleva significativamente o rendimento da extração do óleo de amendoim.

É importante ressaltar que os extratantes mais utilizados são o hexano e o éter de petróleo por serem apolares e conseqüentemente apresentarem maior interação com a amostra, entretanto estes apresentam grande volatilidade e são tóxicos para os manipuladores. Por isso a utilização do etanol que não apresenta toxicidade para o manuseador e apresenta uma parte polar e outra apolar, mostrou resultados satisfatórios quanto a extração (ZENEON, 2008).

Um estudo realizado por FERREIRA-DIAS *et al.*, (2003) mostrou que o etanol quando utilizado para extrair óleo de *Quercus souber L.* obteve uma quantidade de extrato de 4 a 12 vezes maior que o hexano, no entanto, apesar da variação observada, pode ser também atribuída a uma menor seletividade do etanol para o óleo com uma conseqüente extração de outros compostos como fosfatos, polifenóis, pigmentos e açúcares solúveis. Uma caracterização mais profunda do óleo extraído se torna necessário a fim de verificar a sua constituição.

Outro estudo realizado por POTRICH *et al.*, (2020) mostrou que o etanol quando utilizado para extração do óleo de soja apresenta expressiva viabilidade, no entanto a extração com o hexano apresenta um melhor rendimento.

Na tabela 5, estão descritos os resultados e seus respectivos desvio padrão, das análises físico química do óleo bruto extraído.

Tabela 5. Caracterização do óleo bruto de amendoim.

Análises	Resultados
Teor de umidade (%)	0,4960 ± 0,0310
Densidade (g. mL ⁻¹)	0,9060 ± 0,0080
Índice de acidez (% em ácido oleico)	23,7880 ± 1,9670
Índice de Saponificação (g KOH.g ⁻¹)	205,0630 ± 1,3570

O teor de umidade se deve a porcentagem de água restante após perda de parte desse componente, em peso, após aquecimento (ODAIR ZENEON, 2008). A umidade é um parâmetro que pode interferir em algumas análises que caracterizam a qualidade do óleo, quando está acima de 2 % na amostra (ZENEON *et al.*, 2008). Para o óleo obtido, a umidade não influenciou nas análises seguintes, pois se manteve em torno de 0,4500% (abaixo de 2% que é recomendado). Para o óleo de amendoim os teores de umidade variaram entre 0,0560 a 0,2500%.

Os valores de densidade encontrados estão próximos a legislação vigente para óleo de amendoim, que indica valores regulares de 0,9100 g/mL à 0,9140 g/mL (ANVISA, 1999).

O índice de saponificação é a quantidade de álcali necessário para saponificar uma quantidade definida de amostra (ZENEBO, 2008). Para o óleo de amendoim refinado, a faixa de variação do índice de saponificação é de 188 a 195 mg KOH/g (FREIRE *et al.*, 2010). Para gorduras vegetais, quanto mais alto o índice de saponificação, melhor é a gordura para fins alimentícios (MORETTO & FETT, 1998). Portanto o óleo bruto extraído do amendoim apresenta grande potencial para usos na preparação de alimentos.

O teor de ácidos graxos livres (Índice de Acidez) é um dos parâmetros verificados ao estimar a estabilidade, qualidade e funcionalidade de óleos, este índice decorre da hidrólise parcial dos glicerídeos estimulando a deterioração oxidativa por oxidação enzimática e química para formar os componentes off-flavor (MORETTO & FETT, 1998). Para o óleo de amendoim os índices de acidez foram entre 0,2070% a 0,4890% em ácido oléico.

CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que o rendimento da extração do óleo de amendoim se mostrou satisfatória quando utilizado o etanol como solvente extrator, além de observar que o tempo foi uma variável significativa. Isso implica que aumentando o tempo do processo o rendimento apresenta elevada melhora, por outro lado conclui-se que o volume de solvente não apresenta significativa alteração no rendimento do processo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a Univiçosa, pelo financiamento da pesquisa e a professora-orientadora Raquel Moreira Maduro de Carvalho por todo apoio e incentivo durante a execução do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, A.O.C.S.,1990. [A.O.C.S. Official method Cc 7-25].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE CHOCOLATES, CACAU, AMENDOIM, BALAS E DERIVADOS – ABICAB. **História**. Disponível em <<http://www.abicab.org.br/historia-3/>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE CHOCOLATES, CACAU, AMENDOIM, BALAS E DERIVADOS – ABICAB. **Propriedade funcionais e Nutricionais**. Disponível em: <<http://www.abicab.org.br/dicas-3/>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Avaliação da Safra Agrícola 2017/2018 – **Terceiro Levantamento**. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em 17 setembro de 2018.

ISSN 1984-5693

Vol.13, 2021

<http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2021.v13.p.103-113>



BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº482, de 23 de setembro de 1999. **Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de óleos e gorduras vegetais**. Brasília, DF: ANVISA, 1999. Disponível em: http://www.anvisa.com.gov.br/legis/resol/482_99.htm. Acesso em 28 jan 2020.

BRUM AAS, ARRUDA LF, REGITANO-D'ARCE MAB. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova** **32**, 849–54, 2009.

CECCBI, H. M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos**. 2 ed. São Paulo: Editora Unicamp, 2003. 208 p.

FERANDES CHP, CORADI CP, HELMICH JC. Efeitos da secagem no rendimento do óleo de grãos de soja. XLII **Congr. Bras. de Eng. Agríc.** 2014.

FREIRE, R. M. M.; ROSEANE, C. S.; LIMA, L. M.; COSTA, B. J.; ZAGONEL, G. F. **Amendoim: da mesa ao biodiesel**. 1 ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. 2 p.

FREITAS, FO; PEÑALOZA, APS; VALLS, JFM. **O Amendoim Contador de História**. 1ed. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 12 p.

FREITAS, SM, MARTINS, SS, NOMI, AK, CAMPOS, AF. Evolução do Mercado brasileiro de amendoim. In: SANTOS, R. C. (Ed). **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p. 17 - 44.

IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4ª Edição. **Ministério da Saúde**. São Paulo; 2008.

KOWALKI, B. Determination of oxidative stability of edible vegetable oil by pressure differential, scanning colorimetry. **Thermochemica Acta**, Amsterdam **250**(1), 197-205, 1995.

MACÊDO, M. H. G. **Amendoim**. Conab. 15 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/83e31b69fc4c1f45a1cee5eb53797f41.pdf>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.

MANIRAKIZA P, COVACI A, SCHEPENS P. Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, Rose-Gottlieb, Bligh & Dyer, and modified Bligh & Dyer extraction methods. **J. Food Compos. Anal.** **14**, 93–100, 2001.

MORETTO, E; FEIT, R. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Varela, 1998.150 p.

NOGUEIRA, RJMC, TÁVORA, FJAF. Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: SANTOS, RC. (Ed). **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p. 73 – 99.

ZENEBON O. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 14 mar. 2017.

POTRICH, E, MIYOSHI, SC, MACHADO, PFS, FURLAN, FF, RIBEIRO, MPA, TARDIOLI, PW, GIORDANO, R L C, CRUZ, AJG, GIORDANO, RC. **Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis**. **Journal of Cleaner Production** **244**, 2020.

RAI, A, MOHANTY, B; BHARGAVA, R. Modeling and response surface analysis of supercritical extraction of watermelon seed oil using carbon dioxide. **Separation and Purification Technology** **141**, 354–365, 2005.

ROSSETO RE, SANTOS RF, BASSEGIO D, SECCO D, SOUZA SNM, CHAVES LI. Efeito da secagem na extração de óleos em plantas com potencial energético (drying effect on oil extraction of in plants with potential energy). **Acta Iguazu** **1**,72–80, 2012.

SANTOS RF, FORNASARI CH, BASSEGIO D, SOUZA SNM, SECCO D. Optimization of oil extraction from high energetic potential plants performed through drying and solvent extraction methods. **Afr J Biotechnol.** **12**, 6761–5, 2013.

SILVEIRA, AC; OLIVEIRA, JL; CARPIO, RC; JUNIOR, CBR. **Estudo da extração por solventes do óleo de sementes de mamoneira.** 2º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Páginas. 2005.414 – 417.

SINGH KK, WIESENBORN DP, TOSTENSON K, KANGAS N. Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed. **J. Amer. Oil Chem. Soc.** **79**, 165–70, 2002.

SINGH J, BARGALE PC. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **J Food Eng.** **43**, 75–82, 2000.

TANGO JS, CARVALHO CRL, SOARES NB. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo (Physical and chemical characterization of avocado fruit aiming to their potential for oil extraction). **Revista Brasileira de Fruticultura** **26**, 17–23, 2004.

WEISS, EA. **Oilseed processing and products.** In: Oilseed crops. 1 ed. London: Longman, 1983. p. 52

ZENEBO O; PASCUET, NS.; TIGELA, P. (Coordenadores). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** São Paulo: Intiuto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

