

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE ÓLEO DE PINHÃO MANSO COM SOLVENTE AQUECIDO POR RADIAÇÃO SOLAR

Fernanda Peres Tavares – fertavares540@gmail.com

Kássia Graciele dos Santos – kassiagsantos@gmail.com

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Química

Resumo. *O uso intensivo das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os problemas ambientais ocasionados por esse uso, tem desencadeado na sociedade a procura por alternativas menos agressivas ao meio ambiente. Deste modo, a energia solar se destaca por ser uma fonte abundante, não poluente, renovável e disponível em qualquer localidade da Terra. Constitui-se portanto numa forma ideal de proteção ao meio ambiente. Com base nesse contexto, o presente trabalho consiste na construção de um protótipo de leito fixo para a extração de óleos vegetais por solvente aquecido por um concentrador solar. O trabalho constituiu-se basicamente de duas etapas. A primeira, relacionou-se a construção do concentrador biangular de doze lados, cujo objetivo foi aquecer de forma direta o solvente (álcool hidratado) utilizado na obtenção de óleo pelo processo de lixiviação de sementes. É importante ressaltar que o concentrador solar biangular de doze lados projetado, comparado aos outros tipos de concentradores, apresentou-se como a configuração mais econômica e de fácil construção. A segunda etapa, de extração, se baseou no estudo da influência de diferentes vazões de solvente (15, 25 e 35 mL/min) sobre a eficiência de extração de óleo da semente de pinhão manso. Deste modo, foi possível verificar que a vazão de alimentação de 25 mL/min garantiu ao processo um maior teor de óleo extraído, pois esta, ao mesmo tempo que proporcionou um bom coeficiente convectivo de transferência de massa, alcançou uma temperatura próxima a temperatura de ebulição do solvente. Nesta etapa também foi possível o cálculo da eficiência média de extração, igual a 88,4 %, sendo que para isso foi necessário realizar a extração convencional pelo método Soxhlet. Por fim, o óleo obtido no processo de extração destaca-se como uma alternativa de fonte de renda, uma vez que este pode ser empregado para diversos fins.*

Palavras-chave: Energia Solar, Extração de óleo; Concentrador solar.

1. INTRODUÇÃO

O sol é uma fonte de energia inesgotável, silenciosa e não poluente, e este é o responsável por todas as formas de vida existentes no Planeta. Este, diariamente, libera uma grande quantidade de energia através de ondas eletromagnéticas, sendo que uma parcela dessa energia incide sobre a Terra, a qual recebe o nome de radiação solar incidente ou insolação (Souza Filho, 2008). Essa radiação constitui a principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos em nosso planeta. (Martins *et al.*, 2004).

Atualmente, buscando um melhor aproveitamento da energia solar, já existem tecnologias e projetos que captam a radiação solar e a transformam em outro tipo de energia, conforme a aplicação que se deseja, como os coletores solares. Coletores solares são os sistemas da energia solar que mais rapidamente se difundiram. Tal êxito se deve ao fato de que esses equipamentos são relativamente de baixo custo e fácil construção, não requerendo materiais sofisticados e alta tecnologia. Além disso, encontram-se com uma variedade de aplicações na agricultura, nas residências e na indústria (Santos e Nascimento Filho, 2002).

Coletores solares são equipamentos utilizados para captar a energia solar e transforma-la em energia térmica. Devido a possuírem fácil construção e baixo custo, não requerendo matérias sofisticados e alta tecnologia, são os sistemas da energia solar que mais rapidamente expandiram. Estes podem ser utilizados em uma variedade de aplicações na indústria, nas residências e na agricultura (Santos e Nascimento Filho, 2002).

Os concentradores solares são constituídos essencialmente de uma superfície refletora-concentradora da radiação solar direta, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor, a qual está localizada o corpo absorvedor, aumentando sua temperatura substancialmente (ANEEL, 2015).

Existem diversas abordagens possíveis para o formato dos concentradores, as quais são condicionadas pelo tipo de aplicação desejada. De acordo com Souza Filho (2008), os sistemas a concentração são normalmente constituídos de forma parabólica, semiesférica, cilindro-parabólico, cônica e tronco-cônica. Entretanto, para que estes sistemas apresentem um desempenho satisfatório, é necessário a exposição à radiação direta, céu claro e sem nebulosidades.

De acordo com Pighinelli (2007) o processo de produção do óleo bruto envolve três etapas: armazenamento das sementes, preparação da matéria-prima e a extração. A condição de armazenagem é uma etapa importante, uma vez que, quando não adequada, pode ocasionar o aumento na temperatura dos grãos, aumentando a acidez do óleo, escurecimento, alterações no sabor e odor (Moretto e Fett, 1998). A preparação da semente também se destaca pois, através do aumento da superfície de contato sólido-líquido, tem-se uma melhor eficiência de extração, logo, uma maior lucratividade do processo.

Devido a existência de uma grande variedade de sementes oleaginosas, não existe um processo único de extração de óleos, sendo que a escolha do processo depende das características do grão em questão (Ramalho e Suarez, 2012). No entanto, comercialmente são utilizados três métodos básicos de extração de óleo, podendo sofrer algumas modificações ou mesmo serem utilizados combinados entre si: prensa hidráulica por batelada; prensa mecânica contínua, também chamadas de *expeller*; e extração por solventes (Weiss, 1983 *apud* Pighinelli, 2007).

A extração de óleo por solvente é um processo de transferência de constituintes solúveis (o óleo) de um material inerte (a matriz graxa) para um solvente com o qual a matriz se encontra em contato. Segundo Brum *et al.* (2009) os processos que ocorrem são meramente físicos, pois o óleo transferido para o solvente é recuperado sem nenhuma reação química. De acordo com Tomazin Junior (2008) o processamento para obtenção do óleo por solvente se inicia com o preparo do grão, a fim de facilitar a penetração do líquido, em que este é submetido a redução de tamanho, de espessura e aquecimento. A retirada das cascas pode aumentar o rendimento em proteína no farelo. A temperatura do processo deve ser próxima ao ponto de ebulição do solvente, o que reduz a viscosidade do óleo e aumenta sua solubilidade no solvente, garantindo assim uma melhor eficiência de extração (Gandhi *et al.*, 2003).

Um dos solventes mais utilizados comercialmente para extração é o etanol. O etanol é um solvente polar, biodegradável, não tóxico e possui grande potencial para extração de óleo (Tomazin Junior, 2008). Este se destaca por ser uma boa alternativa para substituição do hexano, composto derivado do petróleo e tóxico, como solvente de extração sem perdas de rendimento.

Segundo Rodrigues (2011), devido à alta produção nacional, o uso do etanol como solvente para extração de óleo é atraente no Brasil, uma vez que apresenta baixo custo, grande disponibilidade e independe do mercado internacional. Além dessas vantagens, a baixa solubilidade do etanol a temperatura ambiente possibilita a separação das fases óleo e solvente sem a necessidade de evaporação, destilação. Assim, em consequência da não necessidade do processo de destilação do solvente, a energia consumida no processo de extração com etanol pode ser menor que a energia total utilizada no processo de extração com hexano (Cruz, 2012). Apenas por um simples período de resfriamento (até 30°C), obtém-se duas fases distintas, uma micela rica em óleo e outra micela rica em álcool.

Óleos e gorduras vegetais são lipídeos formados por uma complexa mistura de compostos químicos, sendo as suas propriedades físico-químicas resultantes da interação de todos esses componentes.

Lipídeos, de acordo com Pighinelli (2007), pertencem a uma classe de substâncias químicas cuja principal característica se dá ao fato de serem hidrofóbicas, ou seja, são substâncias insolúveis em água. Estes então, são separados em três grandes grupos: lipídios simples (ésteres de ácidos graxos e álcoois); lipídios combinados (lipídios simples conjugados com moléculas não lipídicas); e lipídios derivados (produtos da hidrólise lipídica).

Em óleos vegetais, os lipídeos são constituídos principalmente pelos glicerídeos de ácidos graxos de espécie vegetal, o quais são constituídos por triglicerídeos, fosfolipídios, ceras e álcoois graxos (compostos saponificáveis); e esteróis, tocoferóis e carotenoides (compostos não saponificáveis). Contudo, dentre todos esses componentes, os triglicerídeos representam a classe mais significativa, sendo que em óleos brutos os triglicerídeos constituem aproximadamente 95 a 97% do total e em óleos refinados podem apresentar mais de 99% da composição (Regitano-D'Arce, 2002).

Assim, graças à ampla faixa de aplicações dos coletores solares junto a apresentarem baixo impacto ambiental, uma vez que utilizam uma energia limpa e renovável, o trabalho em questão visa o projeto e construção de um protótipo real de concentrador, o qual será utilizado no processo de extração sólido-líquido empregando solvente. Deste modo, o concentrador solar biangular de doze lados construído será responsável por aquecer de forma direta o solvente, o qual será empregado na obtenção de óleo pelo processo de lixiviação das sementes de amendoim e pinhão manso.

A extração ocorrerá de maneira contínua e a variável do processo estudada será a vazão de entrada de solvente. Com isso, pretende-se determinar a melhor vazão de alimentação do solvente álcool. Além disso, pretende-se calcular a eficiência de extração do equipamento construído através de uma comparação com o rendimento de óleo extraído por este e pelo método convencional (extrator tipo Soxhlet).

É importante destacar que a geometria do concentrador solar foi proposta devido apresentar maior facilidade e baixo custo de construção, pois pode-se utilizar materiais recicláveis. Vale ressaltar também que, na área rural, a energia solar aliada aos coletores solares apresentam-se como um conjunto vantajoso, uma vez que a primeira caracteriza-se por ser uma substituta economizadora das energias convencionais; e a segunda como uma fonte de renda, visto que o óleo obtido no processo pode ser utilizado para diversos fins.

2. METODOLOGIA

2.1 Unidade Experimental

Primeiramente, na etapa de projeto fez-se o cálculo do foco do concentrador solar biangular de doze lados, exposto na Fig. 1(a), em que foi utilizada a metodologia sugerida por Prado *et al.* (2012). Porém é importante destacar que, de acordo com o projetado, o absorvedor se encontra em posição vertical no foco, o que leva este a ser aquecido de forma distribuída ao longo de suas dimensões.

O concentrador solar foi construído com o uso de 12 placas de aço galvanizado nas dimensões de 61 cm x 23 cm cada, papel laminado para o revestimento interno, parafuso e solda de estanho. O leito absorvedor foi constituído de um tubo de metal galvanizado em formato cilíndrico, com as respectivas dimensões de 5 cm de diâmetro 15 cm de

comprimento. Por fim, o suporte destinado ao equipamento foi construído de ferro soldado e rodas, para sua melhor locomoção.

Inicialmente, foi necessário o corte das placas de aço galvanizado, uma vez que possuíam formato retangular. Os painéis foram colocados lado a lado e foram fixados uns aos outros através de suas abas, com o uso de parafusos, aproximando-os ao formato de uma parábola. Logo após, com objetivo de se obter uma boa reflexibilidade, colocou-se uma folha de papel laminado na superfície interna de todos os lados do equipamento. A Fig. 1(b) mostra o concentrador solar biangular construído. O leito absorvedor foi construído de forma a ter sua extremidade inferior soldada e sua extremidade superior com abertura rosqueável. Para fixar o leito absorvedor no ponto de concentração dos raios solares, um suporte de metal foi soldado de forma vertical no suporte feito para o concentrador solar, garantindo assim que o recipiente ficaria fixo no ponto focal. Por fim, o leito foi tingido de preto fosco com o intuito de aumentar sua eficiência. Além da construção do equipamento em si, fez-se também a construção de um suporte para este, para que o coletor pudesse se movimentar no eixo leste-oeste, garantindo assim a permanente exposição em direção ao sol. A Fig. 2 exibe a unidade experimental de lixiviação construída.

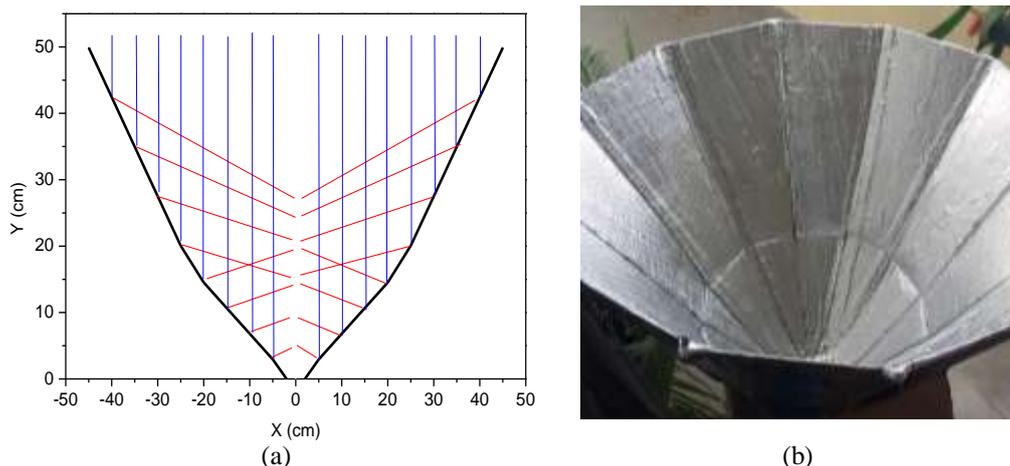


Figura 1 - Concentrador solar biangular de doze lados (a) foco do concentrador solar (b) concentrador solar construído.

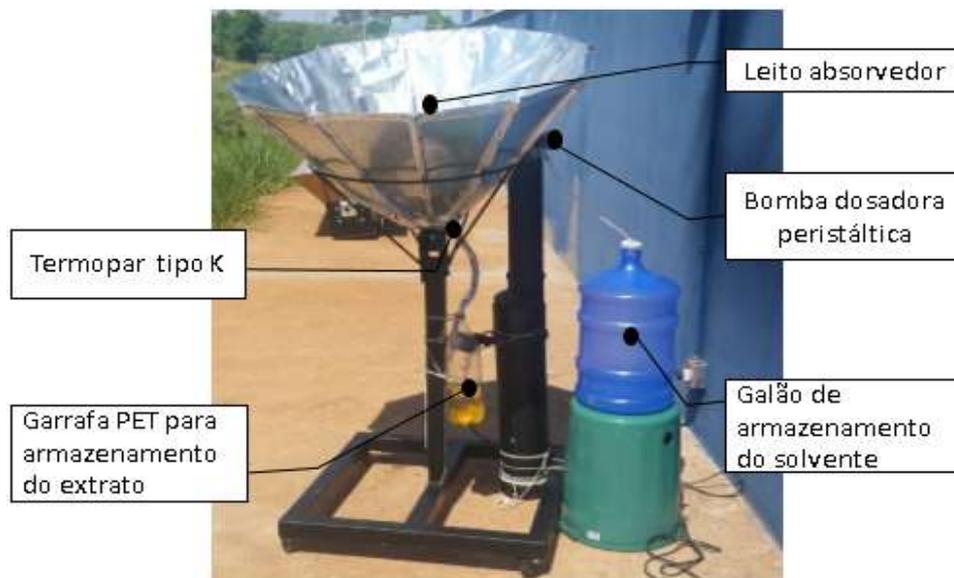


Figura 2- Unidade experimental de lixiviação aquecida por radiação solar: concentrador solar, leito fixo, tanque de alimentação do solvente (galão de 20L), bomba dosadora peristáltica, recipiente coletor do extrato (garrafa PET).

2.2 Caracterização das sementes de pinhão manso

A análise granulométrica consiste na determinação da distribuição de tamanhos de uma amostra de partículas e esta é realizada com o finalidade de verificar a faixa de granulometria utilizada no trabalho, uma vez que essa influência diretamente na eficiência de extração. Para isso, primeiramente a amostra foi limpa em água corrente e em seguida passou pelas etapas de trituração (liquidificador industrial) e peneiração (peneira tipo Tyler de diâmetro 2 mm). Por fim

foi levada em estufa a 100°C por 24 horas. Após esse período, fez-se o quarteamento da amostra, com o intuito de homogeneizá-la.

O peneiramento foi realizado no intervalo de tempo de 10 minutos, o que possibilitou determinar a fração mássica de partículas retida em cada peneira. A Tab. 1 apresenta os modelos que utilizados para o tratamento dos dados.

Tabela 1 - Modelos de distribuição granulométrica

Modelo	Equação
G.G.S	$X = \left(\frac{D}{k}\right)^m$ (1)
R.R.B	$X = 1 - e^{-\left(\frac{D}{D_i}\right)^n}$ (2)
Sigmóide	$X = \left[1 + \left(\frac{D}{D_{50}}\right)^p\right]^{-1}$ (3)

Fonte: Cremasco (2012)

2.3 Processo de extração convencional – Método Soxhlet

Após os grãos de amendoim e pinhão manso passarem pelas etapas de moagem e secagem, procedeu-se para a metodologia de extração convencional. A extração do óleo foi realizada com o solvente álcool anidro (99,3%) em um extrator do tipo Soxhlet, da marca *Marconi* e modelo MA491/6, como mostra a Fig. 3. Nesse equipamento, o sólido, devidamente moído, é colocado em um cartucho poroso na câmara do extrator e o solvente de extração adicionado ao balão. O solvente vaporizado e condensado na câmara do extrator dissolve o óleo da amostra. Ao atingir o nível do sifão, a solução retornará ao balão e o processo repetido um número de vezes (extração contínua). A metodologia empregada foi sugerida por Cavalcante et al. (2011), definida pelas seguintes etapas:

1. As amostras, contendo 15 g e em duplicatas para cada tipo de grão utilizado, foram colocadas no interior de um cartucho, que foi introduzido no extrator Soxhlet de tal forma que o mesmo ficasse totalmente submerso em solvente durante a extração;
2. Adicionou-se 150 mL de álcool anidro, e então, a circulação de água foi ligada para condensar o solvente e evitar perda do mesmo por evaporação;
3. Concluído o período de extração de 4 horas, a fim de separar o solvente do óleo, a mistura continuou sendo aquecida até que cessasse a evaporação do solvente;
4. Após o resfriamento, o balão de fundo chato contendo o óleo (tarado e pesado previamente em balança semianalítica antes da extração), foi levado a estufa a 100°C durante 24 horas. Após as 24 horas, o balão foi transferido para dessecador com sílica gel até alcançar a temperatura ambiente e após, foi pesado em balança para determinar a massa de óleo extraído. Ao subtrair o peso do balão do valor obtido (peso do balão + óleo), chegou-se ao peso do óleo. O material particulado residual da extração também foi introduzido na estufa, a fim de determinar sua massa seca final.



Figura 3 - Extrator tipo Soxhlet.

2.4 Processo de extração no concentrador solar

Os testes foram realizados na cidade de Uberaba, localizada na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais, a qual possui uma radiação solar média de 5.800 Wh/m² e um nível de insolação médio diário de 7 horas (ANEEL, 2015). A variável estudada foi a vazão de alimentação do solvente. A temperatura de operação é definida pela

vazão de alimentação do solvente e pela quantidade de radiação solar durante o experimento. Assim, todos os testes foram realizados durante o período entre 10:00 e 15:00 para dias ensolarados.

Primeiramente, todo o leito absorvedor foi preenchido com as partículas, sendo a massa de amostra constante e igual a 100g para o pinhão manso. Após, o solvente empregado, álcool etílico (96,3%), foi bombeado com o uso de uma bomba dosadora peristáltica à baixas vazões para dentro do tubo absorvedor que continha as partículas. As vazões de solvente estudadas foram 15, 25 e 35 mL/min. Ao final do experimento, a massa de torta era pesada e seca, a fim de determinar a massa de torta seca e assim, calcular a massa removida no processo de lixiviação. O óleo obtido foi separado por separação gravitacional, após manter a mistura óleo/solvente sob refrigeração. Em seguida, foi calculado o rendimento de extração em relação ao método convencional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das sementes de pinhão manso

A Fig. 4 apresenta a adequação dos modelos de distribuição granulométrica aos dados experimentais obtidos para as sementes de pinhão manso. O modelo que melhor representou os dados das sementes de pinhão manso foi o R.R.B., dado pela Eq. (4) ($R^2=0,9914$), de forma que 63,2% das partículas que compuseram a amostra possuíam diâmetro menor que 1,441 mm.

$$X = 1 - e^{-\left(\frac{D}{1,441}\right)^{2,539}} \quad (4)$$

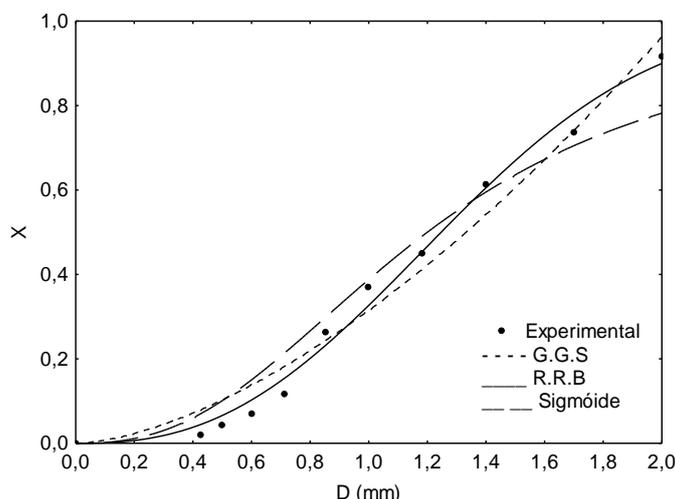


Figura 4 - Análise granulométrica das sementes trituradas de pinhão manso.

3.2 Extração pelo Método Convencional

Os resultados mostraram que o teor de óleo extraído pelo método convencional da amêndoa de pinhão manso condiz com a literatura. De acordo com Tomazin Junior (2008) cada semente possui um teor de óleo de 25 a 40%, sendo que essa variação se dá pelas condições ambientais. O teor médio de óleo obtido experimentalmente foi de $39 \pm 0,905$ %.

3.3 Extração sólido-líquido aquecida pelo concentrador solar biangular de doze lados

Para a extração de óleos vegetais utilizando o concentrador solar, primeiramente preencheu-se por inteiro o leito absorvedor com as partículas, sendo que esse leito possui um volume útil de 295 cm³, de modo a evitar possíveis vazamentos. Desta maneira, foram necessárias 100 gramas de partículas de pinhão manso, sendo essa massa constante para todos os experimentos. Assim, a partir da massa e do volume ocupado pelas amostras, pôde-se calcular a densidade bulk das partículas, a qual representa a quantidade de massa presente por unidade de volume do recipiente por elas ocupado, que foi de 338,98 kg/m³.

No processo de extração por solvente, a vazão é uma das variáveis comumente manipulada para estabelecer as condições de operação desejadas no processo de extração. O aumento da vazão geralmente aumenta a extração até um certo ponto, pois aumenta os coeficientes convectivos de transferência de massa. Por outro lado, este aumento também diminui o tempo de residência do solvente, reduzindo assim o tempo de contato fluido-partícula, essencial à etapa de difusão, tanto do solvente pro interior dos poros, quanto da micela para o seio da solução. Ainda, no caso da extração no

concentrador solar, a variação da vazão também influencia a temperatura do fluido de extração, sendo que maiores tempos de residência conduzem à maiores temperaturas de operação.

Como visto na literatura, é ideal que o processo opere próximo a temperatura de ebulição do solvente, pois nessa temperatura tem-se a diminuição da viscosidade do óleo e um aumento de solubilidade deste, o que permite ao etanol interagir com o óleo e transportá-lo para fora da célula.

Assim, trabalhou-se com as vazões de solvente (Q_s) nos valores de 15, 25 e 35 mL/min, a fim de determinar qual melhor vazão de alimentação para se realizar o processo de extração sólido-líquido utilizando concentrador solar.

Os experimentos foram realizados em diferentes dias, entretanto, buscando garantir uma boa operação, os dias escolhidos apresentavam condições ambientais favoráveis, ou seja, dias com céu aberto e temperatura ambiente acima de 25°C. Além disso, todos os testes foram realizados no período do dia caracterizado pela maior incidência de radiação solar, logo, entre 10:00 e 15:00 horas.

A Fig. 5 mostra a variação de temperatura da mistura solvente e óleo, com a utilização de um termopar tipo K, avaliada na saída do leito fixo absorvedor de acordo com o tempo de extração, durante o processo de extração de pinhão manso. Observa-se que o aumento da vazão de alimentação do solvente ocasionou uma redução da temperatura de operação, sendo obtidas temperaturas de 73, 65 e 45 °C nas vazões de 15, 25 e 35 mL/min, respectivamente.

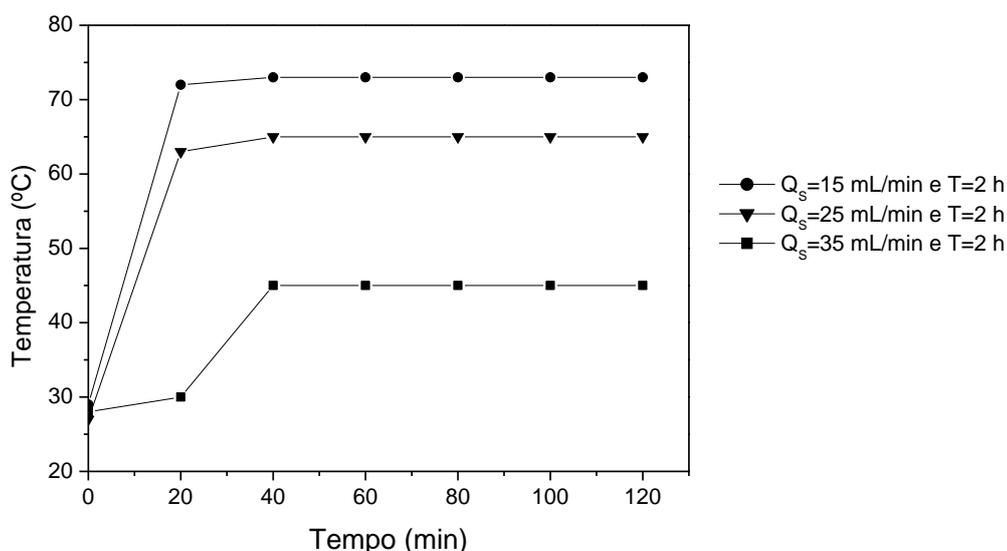


Figura 5 - Temperatura em função do tempo para o processo de extração de óleo de Pinhão manso.

Ao final do tempo de contato entre as partículas e o solvente, na presença de calor gerado pelos raios solares, os recipientes contendo a mistura solvente-óleo foram levados a um refrigerador por um período de 24 horas. Após esse período, o extrato, o qual se encontrava em sua fase sólida, foi separado do solvente restante através de um funil de separação. A torta residual foi levada a estufa por 24 horas a uma temperatura de 100°C e foi pesada ao final. A Tab.2 mostra os teores de óleo obtidos, para cada vazão e cada tipo de partícula estudada.

Tabela 2 - Teor de óleo de pinhão manso obtido para cada experimento no extrator solar.

Q_s (mL/min)	Tempo (h)	$M_{amostra}$ (g)	M_{torta} (g)	$M_{óleo}$ (g)	Teor de óleo (%)	Rendimento*
15	2	100	67,20	32,80	32,80	83,40
25	2	100	65,23	34,77	34,77	88,41
35	2	100	66,86	33,14	33,14	84,26

*Rendimento calculado pela razão entre o teor de óleo no extratos solar e o teor pelo método tradicional.

Em um processo de extração contínuo, como já visto, à medida que a vazão de solvente aumenta, há uma maior transferência de massa de óleo do interior do sólido para o seio do líquido solvente. Entretanto, visto que o solvente em questão é o álcool etílico com ponto de ebulição próximo a 78 °C e este é aquecido na própria coluna, o tempo de residência do fluido influencia na temperatura de operação, que vai diminuindo com o aumento da vazão.

Visto isso, observou-se que para a menor vazão ($Q_s=15$ mL/min), a menor velocidade de contato sólido-líquido levou a um maior tempo de residência do solvente no leito, o que por sua vez, levou o sistema a uma maior temperatura de operação (73 °C). Entretanto, apesar da temperatura atingida, a extração foi prejudicada pelo baixo coeficiente convectivo de transferência de massa. Em contrapartida, a maior vazão de alimentação ($Q_s=35$ mL/min), apesar de apresentar o maior coeficiente convectivo de transferência de massa, simultaneamente, fez com que o tempo residência do solvente dentro do leito absorvedor fosse curto, o que levou a uma temperatura de operação inferior a 50 °C. Logo, a vazão intermediária ($Q_s=25$ mL/min) proporcionou ao processo um maior coeficiente convectivo de transferência de

massa comparada a $Q_S=15$ mL/min, e ao mesmo tempo, garantiu uma temperatura de operação superior à 60 °C, o que não foi possível para vazão de $Q_S=35$ mL/min.

Assim, para o processo contínuo de extração de semente de pinhão manso empregando o concentrador solar biangular de doze lados, a vazão $Q_S=25$ mL/min garantiu uma maior eficiência de extração, uma vez que as condições ideais do processo foram mantidas.

De acordo com a Tab. 2, a eficiência de extração no concentrador solar foi alta, acima de 83%, chegando a 88% para a condição intermediária de vazão, com teores de óleo menores que os obtidos pelo método convencional. Isso pode ser explicado tomando como base problemas de transferência de massa externa, que são minimizados no leito do aparelho Soxhlet devido ao diâmetro reduzido deste leito. Sabe-se que o aumento do diâmetro da coluna de extração pode reduzir a eficiência da transferência de massa devido à problemas de dispersão do fluido na direção radial, ocasionando um gradiente de concentrações de óleo no solvente na direção radial. Além disso, o tempo de extração pelo método convencional foi de 4 horas, enquanto que o do extrator solar foi de apenas 2 horas. Todavia, o resultado alcançado neste trabalho foi muito satisfatório, uma vez que o método de extração é quase que inteiramente sustentável, sendo gastos menos de 10 W a cada hora de operação para funcionamento da bomba peristáltica. Assim, o custo com a energia elétrica utilizada pela bomba é praticamente desprezível, pois esta, para manter uma baixa vazão de solvente, operou a uma baixa tensão.

Urias (2014) realizou este mesmo processo de extração de óleo do pinhão manso, entretanto em batelada, o qual apresentou uma eficiência de extração baixa, de apenas 36%. Essa baixa eficiência se deu ao fato do processo em batelada não ter uma velocidade relativa entre solvente e partícula, o que levou a um baixo coeficiente convectivo de transferência de massa. A grande diferença de eficiência entre o processo com alimentação contínua de solvente e o batelada, é que o primeiro garante a inserção de uma nova fração de solvente, evitando a saturação do solvente com o óleo, além de aumentar a transferência de massa convectiva através do contato do sólido com o líquido a uma dada velocidade.

É importante ressaltar também que o custo de construção desse equipamento é baixo, podendo ser construído de materiais descartáveis, por exemplo papelão, como no trabalho de Urias (2014). Além disso, o custo de operação do processo se concentra apenas no valor comercial do solvente, sendo que este ainda pode ser recuperado por destilação.

4. CONCLUSÃO

O protótipo do concentrador solar apresentou-se como uma boa alternativa para a extração de óleos vegetais empregando a energia solar, uma vez que atingiu eficiência de extração de até 88%. Este em operação alcançou valores de temperatura consideráveis, chegando a 73 °C quando o leito estava preenchido com partículas e o solvente (processo contínuo à menor vazão), o que por sua vez, significa que o objetivo de concentrar os raios solares foi alcançado. Com isso então, a geometria proposta é adequada, pois apresenta fácil construção e operação e também pode ser construída de matérias recicláveis, o que leva a um equipamento de baixo custo de construção.

Em relação a vazão de alimentação do solvente, conclui-se que ao melhor vazão de operação foi de 25 mL/min, pois esta, ao mesmo tempo que garantiu bom coeficiente convectivo de transferência de massa, alcançou uma temperatura próxima a temperatura de ebulição do solvente, o que é de suma importância para obter uma melhor rendimento do processo. Quanto a eficiência de extração do equipamento, observou-se que a obtida pelo concentrador solar foi relativamente menor que a obtida pelo método Soxhlet. Isso, por conseguinte, pode ser justificado devido a problemas de transferência de massa, uma vez que no primeiro a transferência de massa é dificultada devido ao tamanho do leito.

A maior vantagem da utilização do concentrador solar para extração de óleos vegetais frente ao método convencional, é que este último exige uma grande carga de energia elétrica para operar, o que não acontece com o concentrador, pois a única energia elétrica necessária no sistema é destinada a bomba peristáltica, e essa, por sua vez, por operar a uma tensão muito baixa, utiliza pouquíssima energia. Além disso, uma outra desvantagem do método convencional é que, caso este não contenha sistema de circulação, há um grande desperdício de água no processo.

Assim, a única desvantagem da operação de extração no concentrador solar é a necessidade de tempo com alta incidência de raios solares e baixa nebulosidade, assim como qualquer outro processo empregando energia solar. Porém, como o custo energético desse processo é baixo, o equipamento desenvolvido neste trabalho apresenta alto potencial de aplicação, principalmente em pequenas comunidades, uma vez que é de fácil construção e operação, além de ser de baixo custo.

Um destaque importante para a extração de óleos vegetais, é que esses óleos apresentam-se como uma alternativa de renda extra, principalmente em lugares carentes e remotos, devido à alta concentração de óleo encontrada nas sementes de amendoim e pinhão manso e da possibilidade de extração por técnicas sustentáveis, de baixo custo e fácil manuseio.

REFERÊNCIAS

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Energia Solar. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em: 22 set 2015.

- CREMASCO, Marco Aurélio. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos. 2. ed. Campinas: Blucher, 2012.
- CRUZ, Marcelle Rodriguez da. Extração do óleo da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) com etanol para remoção de éster de forbol. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- GANDHI, A. P., et al. Studies on alternative solvents for the extraction of oil-I soybean. International journal of food science & technology, Oxford, v.38, p.369-375, 2003.
- MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; ECHER, Mariza Pereira de Souza. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: O Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física, Brasil, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004.
- MORETTO, Eliane; FETT, Roseane. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo: Varela, 1998.
- PIGHINELLI, Anna Leticia Montenegro Turtelli. Extração mecânica de óleos de amendoim e de girassol para produção de biodiesel via catálise básica. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- RAMALHO, Hugo F.; SUAREZ, Paulo A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. Revista Virtual de Química, Brasília, v. 5, n. 1, p.2-15, nov. 2012.
- REGITANO-D'ARCE, Marisa Aparecida Bismara. Pós colheita e Armazenamento de grãos. São Paulo: Disciplina de Tecnologia de Produtos Agropecuários II, 2002. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Armazenamentodegraos.pdf>. Acesso: 01 out. 2015.
- RODRIGUES, Christianne Elisabete da Costa. Utilização de solvente biorenovável nos processos de extração e desacidificação de óleos vegetais. 2011. 171 f. Tese (Doutorado em equilíbrio de Fases e Processos de Separação na Indústria de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.
- SANTOS, Sebastião Amílcar de Figueiredo; NASCIMENTO FILHO, Jair. Coletores solares: materiais disponíveis no meio rural. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas.
- SOUZA FILHO, José Ribeiro de. Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilíndrico parabólico com mecanismo automático e rastreamento solar. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- SOUZA, Luiz Guilherme Meira de; BEZERRA, João Maria. Sistema Alternativo de Aquecimento Solar (2000). CONEM – Natal-RN. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/conem/2000/DC8528.pdf>. Acesso em: 22 set. 2015
- TOMAZIN JUNIOR, Celso. Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etélica na miscela. 2008. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2008.

SUSTAINABLE JATROPHA SEED OIL EXTRACTION WITH SOLVENT HEATING BY SOLAR RADIATION

Abstract. *The intensive use of finite reserves of fossil fuels and the environmental problems caused by such use, has triggered demand in society for less aggressive alternatives to the environment. Thus, solar energy stands out for being an abundant source, non-polluting, renewable and available in any location on Earth. It is therefore an ideal for environmental protection. Within this context, this study consists of the construction of a fixed bed prototype for the extraction of vegetable oils by solvent heated by a solar concentrator. The study consisted basically of two steps. The first related to the construction of the concentrator biangular twelve sides, whose purpose of this was directly heat the solvent (hydrous ethanol) used to obtain seed oil by the leaching process. Importantly, the solar concentrator biangular twelve-sided designed compared to other types of concentrators, introduced himself as the most economical configuration and easy construction. The second stage, extraction, was based on the study of the influence of different solvent flow rates (15, 25 and 35 mL / min) on the seed oil extraction efficiency of *Jatropha*. Thus, it was verified that the flow power of 25 mL / min guaranteed to process a higher extracted oil content as this, while it provided a good convective coefficient of mass transfer, reached a temperature near the temperature of boiling of the solvent. In this step it was also possible to calculate the average efficiency of extraction, which was equal to 88.4%, and it was necessary to perform the conventional Soxhlet extraction method. Finally, the oil obtained in the extraction process stands out as an alternative source of income, as this can be used for various purposes.*

Key words: Solar Energy, Oil extraction; Solar Concentrator.