

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DO FRUTO DA CARNAÚBA (*COPERNICIA PRUNIFERA*) POR SOLVENTES ORGÂNICOS

Kaynara Torquato de Araújo¹, Ricardo Henrique Rocha de Carvalho²

Resumo: O Nordeste brasileiro apresenta vasta área propícia ao cultivo de oleaginosas. Dentre as várias oleaginosas que se tem conhecimento, a carnaúba, pertencente a espécie *Copernicia prunifera*, mostra-se como uma fonte que oferece uma variedade de utilidades, incluindo a obtenção de óleos. A carnaubeira é uma palmeira nativa do semiárido do Nordeste brasileiro, embora a árvore cresça com facilidade em qualquer clima tropical. Porém, apenas no ambiente seco das caatingas do Nordeste, que ela se encontra em condições de exploração econômica, gerando milhares de empregos. Os óleos vegetais apresentam diversas aplicações em áreas como medicina, mecânica, culinária, biocombustíveis, etc. E devido a essas potencialidades, tem aumentado constantemente sua demanda de produção. Este trabalho teve como objetivo a determinação do máximo rendimento na extração do óleo bruto da amêndoa e da polpa/casca do fruto da carnaúba utilizando a extração por solventes no extrator Soxhlet. Os solventes utilizados foram o etanol e o hexano e os tempos de extração estudados foram de 4 e 8 horas. Os maiores valores de rendimento obtidos foram utilizando 8 horas de extração e a amêndoa como matéria prima, sendo 21,45% o rendimento máximo médio ao utilizar o etanol como solvente e 16,52% ao utilizar o hexano. O tempo se mostrou uma variável importante no processo de extração via Soxhlet, aumentando o rendimento da extração em até 30,6% ao dobrar o tempo de 4 para 8 horas.

Palavras-chave: Carnaúba; extração; solvente orgânico; hexano; etanol

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, a humanidade tem passado por processos de transformação sem precedentes na História, e como consequência tem-se uma necessidade crescente de energia. Por conta do aumento de demanda energética, o mundo começa a apresentar sinais de que está esgotando os seus recursos naturais, um exemplo é a vasta utilização de combustíveis fósseis que são causadores de problemas com a poluição. É de suma importância que a sociedade cobre atitudes que possam solucionar essas questões, buscando encontrar meios de continuar com o mesmo modo de vida sem causar tantos impactos ao meio-ambiente, ou seja, usar os recursos do planeta de forma consciente garantindo que as próximas gerações também possam usufruir destes.

Sabendo que o petróleo é um combustível fóssil e não renovável, a busca por uma nova fonte de produção de combustíveis faz-se necessário para suprir futuras demandas; o uso de combustíveis derivados da biomassa tem sido apontado como uma alternativa de grande potencial, um exemplo é o biodiesel. O biodiesel é produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais (soja, mamona, dendê, girassol, entre outros), misturado com etanol (proveniente da cana-de-açúcar) ou metanol (pode ser obtido a partir da biomassa). A produção desse combustível é mais barata (dependendo da matéria prima utilizada), a emissão de poluentes é menor, tem o poder calorífico elevado sendo considerado um combustível "ecologicamente correto" [1]. Os óleos e gorduras animais e vegetais consistem de moléculas de triglicerídeos, as quais são constituídas de três ácidos graxos de cadeia longa ligados na forma de ésteres a uma molécula de glicerol. Esses ácidos graxos variam na extensão da cadeia carbônica, no número, orientação e posição das ligações duplas [2].

A utilização dos óleos vegetais no Brasil tem um futuro promissor, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de soja e possui grandes perspectivas para a produção de outras sementes. Dentre as várias oleaginosas que se tem conhecimento sabe-se que as que apresentam um alto teor de óleo na semente são favoráveis à produção de biodiesel [3]. Os métodos mais comumente utilizados para extração de óleos vegetais são: prensagem, solventes orgânicos e o de fluidos supercríticos.

Dentre as frutas nativas do Nordeste, a carnaúba, pertencente a espécie *Copernicia prunifera*, árvore símbolo do estado do Ceará pelo Decreto-Lei nº 27.413 de 30.03.2004, mostra-se como uma fonte que oferece uma variedade de utilidades, incluindo a obtenção de óleos [4]. A carnaubeira é uma palmeira nativa do semiárido do Nordeste brasileiro, embora a árvore cresça com facilidade em qualquer clima tropical, apenas no ambiente seco das caatingas do Nordeste, que ela se encontra em condições de exploração econômica, gerando milhares de empregos [5].

Os carnaubais no estado do Ceará, localizam-se tanto no litoral quanto no interior, são encontrados em grandes quantidades, formando matas no curso inferior dos principais rios. Segundo D'Alva [6], as maiores concentrações ocorrem nos vales do Jaguaribe, Acaraú e Coreaú, mas também há carnaubais nos vales do Racatiaçu, Curu, Ceará, Pacoti, Choro e Pirangi.

De acordo com Braga [7], a carnaúba é adaptada principalmente ao período de seca dessa região, possui fruto em forma de uma baga arredondada em torno de dois centímetros de comprimento, com a aparência roxa-escura ou quase preto quando madura, e esverdeada quando não atingiu a maturação. O fruto da carnaubeira é composto por casca mais polpa e o caroço muito duro, provido de endosperma branco, duro e oleoso. O óleo extraído da carnaúba é de cor esverdeada, tem a consistência do sebo e funde a temperatura de 38° C. As composições relativas a característica da amêndoa, são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Composições relativas a característica da amêndoa. [7]

Característica	Composição (%)
Água	12,857
Óleo pingue	8
Substancia resinosa	6,172
Matéria extrativa de cor vermelha	5,143

A carnaúba surge como uma planta de múltiplas utilidades: as raízes têm uso medicinal; o tronco é madeira de qualidade para construções e também pode ser extraído o palmito; as palhas servem para a produção artesanal, adubação do solo e extração de cera. Nos anos de seca, o fruto servia para a alimentação humana, torrados e reduzidos a pó, eram utilizados como café. Trata-se de uma planta totalmente aproveitável e importante alternativa na composição da renda familiar das comunidades rurais [8].

O teor de óleo da semente da carnaúba é considerável e por ser uma espécie nativa e que se adequa perfeitamente ao semiárido nordestino, essa matéria prima também se constitui numa fonte interessante para produção de biocombustíveis, muito embora a literatura ainda não reporte a produção de biodiesel, por exemplo, através do óleo da carnaúba. Porém, num futuro próximo o óleo da semente da carnaúba pode se constituir em uma das matérias primas que venha a contribuir para o Programa de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Outra aplicação que desponta para a utilização do óleo de semente de carnaúba é na produção de biolubrificantes. Cavalcanti [9] utilizou o óleo de carnaúba e fez inúmeros testes em sistemas mecânicos, constatando que esse óleo tem uma excelente propriedade lubrificante com excelente estabilidade térmica, sendo inclusive mais eficiente como lubrificante do que o óleo SAE 10W30 API SM. Cavalcanti [10] ainda utilizou o óleo de carnaúba aditivado com micropartículas e nanopartículas de grafite como biolubrificante, sendo este extremamente eficiente na formação de um filme protetor na superfície do metal ASTM 1045. Tudo isso mostra as inúmeras potencialidades desse óleo oriundo da semente da carnaúba, dessa espécie tão comum na nossa região.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência de solventes orgânicos (etanol e hexano) e do parâmetro tempo na eficiência do processo de extração do óleo em um extrator Soxhlet utilizando a semente (amêndoa) e a polpa/casca da carnaúba, e obter como resposta o rendimento da extração (% m/m).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Matéria-prima

2.1.1. Obtenção da semente da carnaúba

As matérias-primas utilizadas nesse trabalho foram a polpa/casca e a amêndoa da semente de carnaúba, coletadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2018, sendo considerado um período chuvoso no município de Itaiçaba – CE, região do Vale do Jaguaribe. Os cachos da planta foram colhidos com o auxílio de um gancho, sendo o indicativo de maturidade a coloração escura da semente.

2.1.2. Preparo das amostras

Após a coleta, as mesmas passaram por um processo de lavagem e secagem ao sol. Posteriormente, os mesmos foram raspados manualmente com auxílio de faca de aço inoxidável com a finalidade de separar a amêndoa da polpa e da casca. Os frutos identificados no processo com algum dano causado por parasita foram descartados. Após esse tratamento inicial, as amostras da semente (amêndoa) e da polpa/casca seguiram para processo de secagem e separação em peneiras.

2.1.3. Caracterização

As matérias primas utilizadas no processo de extração foram caracterizadas em termos de umidade, granulometria e diâmetro médio de partículas. Tal caracterização é de extrema importância para o processo de extração em extrator Soxhlet, pois pode influenciar o resultado final do rendimento. Para extrair o óleo, a matéria prima deveria ser triturada levando em consideração que quanto mais próximo o contato da molécula de óleo com o solvente mais eficiente será a extração.

a) Teor de umidade

A umidade da amêndoa, bem como da polpa/casca da carnaúba, foi determinada utilizando estufa da marca SOLAB, modelo SL100 a 105°C, por um período de 24 horas atingindo um peso constante [11]. As amostras tinham o peso 5 gramas e foram colocadas em placa de petri para o processo de secagem, sendo o procedimento realizado em triplicata.

b) Granulometria e Diâmetro médio de partícula

Após processo de secagem em estufa, tanto as sementes quanto a polpa foram trituradas inicialmente por impacto mecânico utilizando martelo e depois com uso de um moinho manual para diminuir o diâmetro de partícula das amostras. Em seguida foram submetidas a processo de separação utilizando peneiras Bertel-Brasil com aberturas da série Tyler de 4, 9, 12, 14, 16, 28, 35 e 48 mesh. As peneiras utilizadas podem ser visualizadas de acordo com a Figura 1.



Figura 1. Peneiras de 4 a 48 mesh. (Autoria própria)

O diâmetro médio de partículas foi obtido a partir da metodologia baseada no diâmetro de partícula de superfície externa média e empregando-se peneiras da série Tyler, de acordo com a Equação 1.

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}^3}}} \quad (1)$$

Onde,

$x_i = M_i/M$ corresponde a porcentagem de amostra retida na fração i ;

M_i = Massa da amostra na fração i ;

M = Massa total da amostra;

D_p = Diâmetro médio de partículas;

D_{pi} = Diâmetro das partículas na fração i ;

i : Número de frações

2.2. Extrações em Soxhlet

Após a caracterização, a amêndoa e a polpa/casca passaram pelo processo de extração do óleo. O sistema utilizado para realizar a remoção química da matéria oleosa é composto pelos seguintes componentes: extrator Soxhlet, condensador, balão de fundo redondo e manta de aquecimento. O processo tem como objetivo determinar a eficiência de remoção do óleo da matriz oleaginosa, utilizando etanol e hexano como solventes, mediante determinação do rendimento para 4 e 8 horas de extração. O etanol foi escolhido por ter uma maior polaridade que o hexano e por este motivo ter a possibilidade de extrair uma determinada gama de componentes do óleo da amêndoa e da polpa/casca quando comparados com solventes menos polares, como o éter de petróleo por exemplo. O tempo máximo de extração de 8 horas foi fixado de acordo com Visavadiya et al. [12]. Segundo estes, 8 horas de extração é suficiente para levar uma matéria prima oleaginosa à exaustão. As extrações foram realizadas em duplicata.

2.3. Procedimento experimental

No total, foram pesadas 16 amostras para serem submetidas a extração, sendo 8 amostras de amêndoa pesando 40 g cada e 8 amostras da polpa/casca de 25g cada. Cada amostra foi preparada e colocada dentro de um cartucho feito de papel filtro, de modo que não ocorresse perdas. Os cartuchos foram introduzidos no extrator Soxhlet de tal forma que o mesmo ficasse totalmente submerso no solvente. O condensador foi conectado a um sistema que permitia a passagem de um fluxo de água fria, onde sua temperatura máxima chegava a 20°C. O balão foi aquecido através da manta térmica elétrica de modo a se atingir a temperatura de ebulição do solvente. Após o solvente entrar em ebulição, o vapor gerado flui até o condensador na parte superior do Soxhlet, condensando-se e retornando para dentro da câmara de extração. As gotas que resultam dessa condensação gotejam sobre o cartucho que está na câmara de extração, solubilizando dessa forma os ácidos graxos da matriz oleaginosa. Quando o reservatório da câmara de extração enche e atinge a altura do sifão, que fica na lateral do extrator, este transborda levando o solvente e as substâncias solúveis para o balão abaixo do extrator. Esse ciclo dura em torno de 12 minutos e é retomado, sendo assim, com o passar do tempo o óleo se acumula no fundo do balão. A Tabela 2 abaixo mostra um planejamento das extrações que foram realizadas, com tempo de extração, massa da amostra, solvente utilizado e tipo de amostra (polpa/casca ou amêndoa).

Tabela 2. Planejamento experimental das extrações Soxhlet da amêndoa e da polpa/casca da carnaúba.
(Autoria própria)

Experimento	Massa (g)	Amostra	Tempo de extração (h)	Solvente
1	40	Amêndoa (semente)	4 horas	Etanol
2			8 horas	Etanol
3			4 horas	Hexano
4			8 horas	Hexano
5	25	Polpa/casca	4 horas	Etanol
6			8 horas	Etanol
7			4 horas	Hexano
8			8 horas	Hexano

A Figura 2 mostra o aparato experimental para as extrações em Soxhlet.



Figura 2. Extração do óleo da amêndoa por solvente etanol. (Autoria própria)

Concluída as extrações, os cartuchos com as amostras utilizadas também passaram pelo processo de secagem em estufa (80°C quando o solvente era etanol e 60°C quando o solvente era o hexano) até peso constante. Após a retirada dos cartuchos da estufa, foram medidas novamente as respectivas massas para determinar o rendimento da extração de óleo.

2.4. Determinação do rendimento do óleo

Um dos fatores que fará com que seja determinado se a extração e produção se tornará viável é a quantidade do óleo extraído da amêndoa e da polpa/casca do fruto. Valores pequenos de rendimento quanto a extração, inviabilizam o processo já que o trabalho ocorrerá para uma porcentagem mínima do produto. O rendimento do óleo extraído da amêndoa e da polpa/casca da carnaúba (*Copernicia prunifera*) foi calculado através da razão da massa final da amostra pela massa inicial da matéria prima triturada de acordo com a Equação 2.

$$RE = \frac{(Mi - Mf) \times 100}{Mi} \quad (2)$$

Onde:

RE - Rendimento de extração do óleo (%);

Mi - Massa inicial da amostra (g)

Mf - Massa final da amostra (g)

2.5. Recuperação do Solvente

Para separar o óleo obtido do solvente foi utilizado o próprio extrator Soxhlet e o condensador de topo, onde o processo de evaporação do solvente se inicia logo após a retirada do cartucho do extrator. O solvente que está no balão entra em ebulição mediante aquecimento, onde o vapor gerado se dirige ao condensador de topo e volta à fase líquida. O solvente ao se condensar, retorna para o interior do próprio extrator e o procedimento é interrompido antes do líquido atingir o nível do tubo lateral. O solvente era então coletado e armazenado adequadamente. A Figura 3 mostra o processo de recuperação do solvente após as extrações.



Figura 3. Recuperação do solvente. (Autoria Própria)

Ao final do processo de recuperação, foi obtido uma mistura de solvente remanescente e óleo. Para a remoção total do solvente, a mistura foi levada para a estufa até obter um peso constante, finalizando assim a etapa de evaporação do solvente. Esse procedimento de destilação e recuperação do solvente foi realizado após todas extrações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização da matéria-prima

A caracterização das amostras da amêndoa e da polpa/casca da semente de carnaúba foram realizadas em termos de umidade, granulometria e diâmetro médio de partículas. A Tabela 3 mostra a caracterização da amêndoa e polpa/casca da carnaúba após passarem pelas peneiras de 4 a 48 mesh e após secagem em estufa.

Tabela 3. Caracterização da amêndoa e polpa/casca da carnaúba. (Autoria Própria)

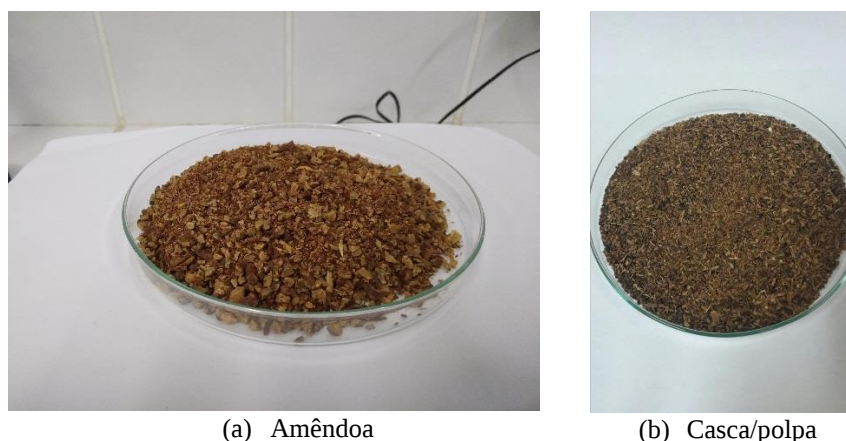
Matéria prima	Distribuição de Partículas		Diâmetro médio de partículas (mm)	Umidade (%)
	Mesh	% (m/m)		
Amêndoa	-4/+9	68,07	1,77	3,81±0,03
	-9/+12	8,58		
	-12/+14	3,35		
	-14/+16	1,73		
	-16/+28	8,38		
	-28/+35	0,33		
	-35/+48	9,59		
Polpa/casca	-4/+09	2,34	1,23	3,70±0,02
	-09/+12	9,10		
	-12/+14	16,43		
	-14/+28	44,09		
	-28/+35	4,51		
	-35/+48	28,52		

O baixo percentual de umidade tanto na amêndoa quanto na polpa/casca possibilita a utilização direta em processos de extração sem a necessidade de processo de secagem. A umidade de sementes oleaginosas in natura pode variar bastante, indo desde 0,24% até 13% no caso de semente de algodão, extremamente comum no semiárido nordestino, por exemplo [13]. Carvalho [11], encontrou resultados similares para a semente de

gergelim, sendo a umidade da ordem de 3,3%, considerado baixo para uso em processo de extração soxhlet.

Quanto ao diâmetro de partículas, a literatura é muito escassa nesse sentido, pelo menos quando se trata de semente e principalmente polpa/casca de carnaúba. A Tabela 3 mostra um diâmetro médio de 1,77 mm para a amêndoa do fruto e 1,23 mm para a polpa/casca. Determinar o diâmetro médio de partículas é extremamente importante para processos extrativos utilizando solventes orgânicos, pois interfere diretamente no rendimento final da extração. Segundo Corso et al. [14], o solvente tem dificuldades de extrair o óleo da matriz oleaginosa em partículas acima de 1 mm, ao trabalhar com semente de gergelim, prejudicando o rendimento de processos extrativos. Abaixo de 0,56 mm já é considerado um diâmetro muito pequeno, desperdiçando uma parcela do óleo no processo de trituração.

Devido à escassez de matéria prima e principalmente da dificuldade de triturar a amêndoa, decidiu-se trabalhar com os diâmetros obtidos. Já Cavalcanti [9], utilizou semente da carnaúba triturada em forma de pó (partículas abaixo de 0,85 mm, porém sem caracterizar) e em forma de grãos com diâmetro de partícula de 20 mesh (0,85 mm). Não foi encontrado na literatura processos extrativos utilizando a polpa/casca da carnaúba. A Figura 4 mostra as partículas da amêndoa e da polpa/casca após caracterização.



(a) Amêndoa

(b) Casca/polpa

Figura 4. Mistura de partículas da amêndoa e da polpa/casca trituradas. (Autoria própria)

3.2. Extrações Soxhlet: rendimento (%)

As extrações soxhlet foram realizadas com o objetivo de avaliar a influência do etanol e do hexano quanto à solubilização de óleo das matrizes oleaginosas estudadas, assim como a influência do tempo no rendimento do processo de extração do óleo da amêndoa bem como da polpa/casca do fruto da carnaúba.

3.2.1. Etanol como solvente

A Tabela 4 apresenta os rendimentos obtidos quando o solvente utilizado foi o etanol. O resultado de rendimento médio obtido foi de 21,45% para uma extração de 8 horas de duração utilizando a amêndoa como matéria prima, enquanto o processo de extração de 4 horas obteve um rendimento médio de 18,83%. Ou seja, percebe-se que tempo de extração teve uma influência no aumento do rendimento, pois ocorreu um crescimento de 13,85% ao se aumentar o tempo de extração. O rendimento máximo observado utilizando o etanol foi de 22,13% de rendimento para a amêndoa, um valor relativamente elevado e jamais relatado na literatura pesquisada.

Tabela 4. Resultado do rendimento do processo de extração utilizando o etanol como solvente. (Autoria Própria)

Matéria prima	Tempo de extração (h)	Rendimento (%)	Rendimento médio (%)
Amêndoa	4 horas	18,35	18,84 ± 0,69
		19,32	
Amêndoa	8 horas	22,13	21,45 ± 0,96
		20,77	
Polpa/casca	4 horas	14,70	14,51 ± 0,28
		14,31	
Polpa/casca	8 horas	18,42	18,82 ± 0,56
		19,21	

Destaca-se aqui que, especialmente quando se utilizou o etanol como solvente, foi extraído junto com o óleo uma substância de cor avermelhada, tanto na polpa/casca quanto na amêndoa. No fundo do recipiente onde foi armazenado o óleo, foi observado uma espécie de cera com esse tom avermelhado escuro, aparentemente ácidos graxos que se solidificaram a temperatura ambiente. Tal comportamento e material de cor avermelhada já tinha sido relatado por Braga [7]. Ainda de acordo com Braga [7], o óleo da amêndoa apresenta o comportamento de solidificar a baixas temperaturas, o que pôde ser verificado in loco quando o óleo se encontrava abaixo dos 25°C. Esse maior rendimento, inclusive em relação ao hexano, pode ser explicado devido a uma maior interação entre possíveis ácidos graxos insaturados na amostra e solventes polares como o etanol [15]. Essa matéria sólida e avermelhada não foi extraída quando se utilizou o solvente hexano, obtendo um óleo mais claro e isento de matéria vermelha. A Figura 5 mostra o óleo obtido bem como a parte sólida (graxa) separada do óleo.

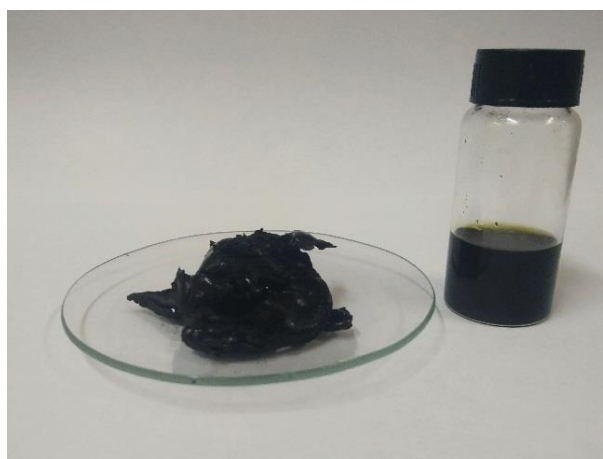


Figura 5. Matéria graxa e óleo extraídos da amêndoa da semente da carnaúba quando o etanol foi utilizado como solvente. (Autoria própria)

Com relação à polpa/casca foi observada a mesma tendência na influência do tempo no rendimento final da extração. O rendimento máximo observado foi de 19,21 % para 8 horas de extração, obtendo uma média de 18,82% e 14,51% de média para 4 horas de duração o que equivale a um aumento percentual de quase 30% quando se duplicou o tempo de extração. Isso mostra que o tempo foi extremamente influente no rendimento final quando se utilizou a polpa/casca. O óleo obtido nesse caso tinha um comportamento aparentemente muito viscoso e de cor avermelhada.

3.2.2. Hexano como solvente

A Tabela 5 apresenta os rendimentos obtidos quando o solvente utilizado foi o hexano. O melhor resultado obtido foi de 16,96% de rendimento em óleo para uma extração de 8 horas de duração utilizando a amêndoa como matéria prima e 16,52% de média, enquanto que no processo de extração de 4 horas para a mesma matéria prima foi obtido um rendimento médio 12,64%. Mais uma vez o tempo de extração é uma variação de extrema influência na extração, sendo observado um aumento de 30,6% quando aumentou de 4 para 8 horas de extração, ao utilizar como matéria prima a amêndoa. Destaca-se aqui um rendimento máximo considerado como excelente, uma vez que o maior rendimento que a literatura tinha relatado até então tinha sido quase 14% para

extração utilizando hexano [9, 8].

Tabela 5. Resultado da análise do rendimento do óleo para o solvente hexano.
(Autoria Própria)

Matéria prima	Tempo de extração (h)	Rendimento (%)	Rendimento médio (%)
Amêndoa	4 horas	12,79	12,65 ± 0,20
		12,51	
Amêndoa	8 horas	16,96	16,52 ± 0,62
		16,08	
Polpa/casca	4 horas	10,76	10,55 ± 0,30
		10,33	
Polpa/casca	8 horas	8,52	*8,27 ± 0,35
		8,02	

*Extrações utilizando hexano recuperado

Cavalcanti [9] obteve um rendimento máximo de 13,49% e um rendimento médio de 12,7% em óleo quando utilizou o pó da amêndoa como matéria prima e 6,8% de rendimento médio quando utilizou o grão, já Queiroga [16] obteve um rendimento de 10,1% em óleo. Levando-se em consideração que os diâmetros médios de partículas utilizados nesse trabalho foram consideravelmente elevados, o rendimento poderia ser ainda melhor se esses diâmetros de partículas fossem abaixo de 1mm.

Vale aqui ressaltar que o rendimento máximo obtido neste trabalho para a amêndoa quando se utilizou o hexano como solvente foi em torno de 30% menor quando comparamos com o rendimento máximo obtido quando foi utilizado o etanol como solvente. Destaca-se que isso possivelmente se deve ao fato de o etanol ter maior afinidade pelos componentes insaturados dos óleos vegetais [15]. Esse mesmo comportamento onde o etanol foi mais eficiente que o hexano já foi relatado em extrações Soxhlet quando se utilizou outras matérias primas. Corso et al. [14] e Elleuch et al. [17] obtiveram rendimentos superiores quando utilizaram etanol no processo de extração do óleo de gergelim (*Sesamum indicum* L.) em comparação com o hexano. O óleo extraído da amêndoa da carnaúba utilizando o hexano como solvente apresenta um aroma semelhante ao da cera de carnaúba, uma coloração verde-oliva e isento de matéria vermelha, como no caso do óleo extraído com etanol, o que pode ser verificado na Figura 6.

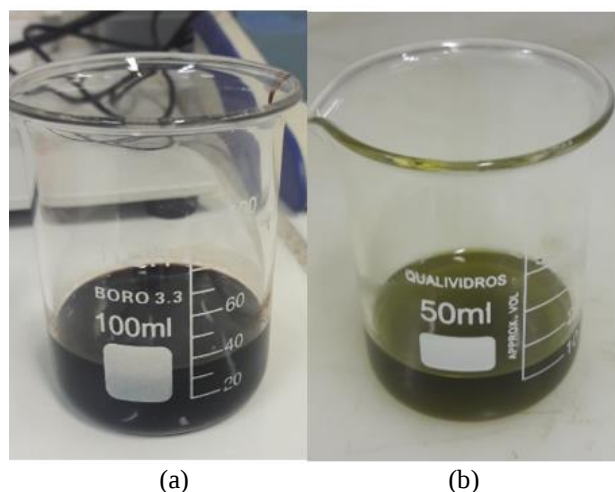


Figura 6. Óleo obtido pelo método de extração Soxhlet resultado do processo utilizando etanol (a) e (b) utilizando hexano como solvente. (Autoria própria)

Ainda de acordo com a Tabela 5, o maior rendimento obtido na extração da polpa/casca foi de 10,55% de média. Nesse caso, a matéria extraída era sólida a temperatura ambiente, se assemelhando a um pó úmido. Ao se aumentar o tempo de extração para 8 horas, o rendimento caiu para 8,27%, comportamento anômalo em processos extrativos. Porém, isso tem explicação uma vez que o solvente nesse caso foi o hexano recuperado, destilado. Nesse caso o solvente perde um pouco a capacidade de solubilizar o óleo da matriz sólida.

4. CONCLUSÕES

O processo extrativo de óleo da amêndoa e da polpa/casca da semente de carnaúba realizado se mostrou satisfatório quanto ao objetivo proposto nesse trabalho. O rendimento máximo médio obtido nesse trabalho foi de 21,45% ao se utilizar o etanol como solvente e a amêndoa do fruto da carnaúba como matéria prima para um tempo de 8 horas de extração. Esse solvente se mostrou capaz de solubilizar determinados ácidos graxos que o hexano não foi capaz de extrair. Uma gama de componentes que se solidifica e cristaliza a temperatura ambiente, conhecido como ceras e com uma pigmentação avermelhada e aparentemente muito viscosa. Porém isso pode se configurar num inconveniente uma vez que o óleo tem que ser separado desse material sólido. Destaca-se o caráter inovador no uso desse solvente, pois não se encontram disponíveis dados na literatura envolvendo a extração do óleo da semente (e nem da polpa) do fruto da carnaúba utilizando-se o etanol em processo de extração Soxhlet.

Ao se utilizar o hexano como solvente, verificou-se um rendimento máximo de quase 17% de óleo para 8 horas de extração e utilizando a semente/amêndoa como matriz oleaginosa. Esse valor é maior que qualquer dado disponível na literatura quando se utilizou o hexano para extrair óleo da semente da carnaúba, sendo relatado até então um rendimento abaixo dos 14%. O rendimento obtido aqui poderia ser ainda maior caso o diâmetro médio de partículas fosse abaixo de 1 mm, uma vez que utilizamos um diâmetro médio de 1,77 mm, o que é considerado grande para extração por solvente orgânico. O óleo obtido nesse caso apresenta uma tonalidade verde oliva, totalmente translúcido e totalmente isento de matéria vermelha. A temperaturas mais baixas o óleo tende a turvar e formar partículas sólidas, provavelmente ácidos graxos de cadeias mais longas que se solidificam a temperaturas baixas. O tempo se mostrou uma variável importante na extração do óleo da semente via Soxhlet, chegando a aumentar o rendimento em quase 31% na extração onde o hexano foi utilizado como solvente quando dobrou-se o tempo de 4 para 8 horas, o que confirma que o tempo de extração de 4 horas é insuficiente para exaurir a matéria prima.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, V. F. Biodiesel: O Combustível Ecológico. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**. Campos dos Goytacazes: Essentia Editora, v. 2, n. 1, 2012.
- [2] BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. **Oleagenosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel**. Embrapa, Campina Grande, 2008.
- [3] ALMEIDA, J. K. P.; NUNES, G. P.; TEIXEIRA, C. C. M.; RODRIGUES, D. P.; COM JOSE RENILTON DE MELLO, J. R. M. **Caracterizações físico-químicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte- MG. 2011.
- [4] NOGUEIRA, D. H. **Qualidade e potencial de utilização de frutos de genótipos de carnaubeira (copernicia prunifera) oriundos do estado do Ceará**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- [5] CARVALHO, J. B. de M. **Ensaios sobre a carnaubeira**. Coleção Mossoroense, 2. ed. Natal: EMPARN, 1982.
- [6] D'ALVA, O. A. **O extrativismo da Carnaúba no Ceará**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 172p. (Série BNB Teses e Dissertações, n. 04).
- [7] BRAGA, R. **Plantas do Nordeste Especialmente do Ceará**. Fundação Guimarães Duque. Coleção Mossoroense, Série C. v.1204, maio/2001.
- [8] BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará**. 4ª Edição. Natal: Editora Universitária UFRN, 1976, 539p.
- [9] CAVALCANTI, S. L. L. **Caracterização do óleo de carnaúba para uso como Biolubrificante**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- [10] CAVALCANTI, S. L. L. **Desenvolvimento e caracterização de biolubrificante a partir do óleo de carnaúba aditivado com micropartículas e nanopartículas de grafite**. 2018. 105 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- [11] CARVALHO, R. H. R. **Extração supercrítica de óleo de *sesamum indicum* L. e aplicação como inibidor de corrosão em aço Aisi 1020 através de sistemas microemulsionados**. 2015. 153 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- [12] VISAVADIYA, N. P.; SONI, B.; DALWADI, N. Free radical scavenging and antiatherogenic activities of sesamum indicum seed extracts in chemical and biological model systems. **Food and Chemical Toxicology**, v.47, p.2507-25515, 2009.

-
- [13] JERÔNIMO, J. F.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, O. R. R. F.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; GOMES, J. P. Qualidade da semente e fibra de algodão na caracterização do descaroçador de 25 serras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, n.6, p.664–671, 2014.
- [14] CORSO, M. P.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; SILVA, E. A.; CARDOZO FILHO, L.; SANTOS, J. N.; FREITAS, L. S.; DARIVA, C. Extraction of sesame seed (*Sesamun indicum* L.) oil using compressed propane and supercritical carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 52, p.56-61, 2010.
- [15] PÉRES, V. F.; SAFFIA, J.; MELECCHI, M. I. S.; ABAD, F. C.; JACQUES, R. A.; MARTINEZ, M. M.; OLIVEIRA, E. C.; CARAMÃO, E. B. Comparison of soxhlet, ultrasound-assisted and pressurized liquid extraction of terpenes, fatty acids and Vitamin E from *Piper gaudichaudianum* Kunth. **Journal of Chromatography A**, v.1105, p.115-118, 2006.
- [16] QUEIROGA, V. P.; RAMOS, G. A.; ASSUNÇÃO, M. V.; ALMEIDA, F. A. C. **Carnaubeira: Tecnologias de Plantio e Aproveitamento industrial**. 1ª ed. EDITORA Universidade de Campina Grande; 2013.
- [17] ELLEUCH, M.; BESBES, S.; ROISEUX, O.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. **Food Chemistry**, v.2, p.641-650, 2007.