



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



Leonardo de Mendonça Almeida

MODELAGEM DE EXTRAÇÃO POR ETANOL DE ÓLEO DA FARINHA
DE MACAÚBA

DOURADOS/MS

2018

Leonardo de Mendonça Almeida

MODELAGEM DE EXTRAÇÃO POR ETANOL DE ÓLEO DA FARINHA
DE MACAÚBA

Trabalho apresentado à Faculdade de
Engenharia da Universidade Federal da
Grande Dourados para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Rogério da Silva
Santos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Silva Santos

Prof. Dr. Márcio Rogério Silva

Prof. Me. Irineu Luiz Back Junior

DOURADOS/MS

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A447m Almeida, Leonardo De Mendonça
MODELAGEM DE EXTRAÇÃO POR ETANOL DE ÓLEO DA
FARINHA DE MACAÚBA / Leonardo De Mendonça Almeida -- Dourados:
UFGD, 2018.
50f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Rogério da Silva Santos

TCC (Graduação em Engenharia de Produção)-Universidade Federal da
Grande Dourados
Inclui bibliografia

1. Macaúba. 2. Extração de óleo. 3. Rendimento. 4. Etanol. 5. Modelagem
matemática. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

A meus pais, Waldely e Karla, pela confiança depositada em mim, pela paciência nos momentos em que errei e pelo suporte, não apenas ao longo da minha jornada acadêmica, mas durante toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Waldely e Karla e minha irmã Letícia, pelo amor, incentivo e apoio incondicional durante toda essa caminhada.

Aos meus avós, tios, primos e primas que, mesmo longe, sempre confiaram e torceram por mim.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram e estiveram presentes em cada momento dessa trajetória.

Ao professor Dr. Rogério da Silva Santos pelo suporte e pelos ensinamentos transmitidos durante esta etapa tão importante da minha carreira acadêmica.

Enfim, a todos que fizeram parte direta ou indiretamente dessa etapa crucial em minha vida, muito obrigado.

“Sempre parece impossível até que seja feito.”

(Nelson Mandela)

RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma espécie de palmeira presente em abundância na região Centro-Oeste, sendo o seu fruto *in natura* bastante consumido pela população. O fruto, que apresenta alta produtividade em óleo, atrai grande interesse industrial como alternativa a outras fontes vegetais oleaginosas. O processo mais utilizado para a extração do óleo da macaúba é a prensagem mecânica, por relacionar eficiência no processo e baixo custo. Como complemento, pode-se utilizar a extração por solventes para tentar alcançar a extração total do óleo, realizando o processo com o resíduo sólido proveniente da prensagem. O solvente mais utilizado é o n-hexano, mas devido a sua toxicidade e ao fato de ser pouco sustentável, alguns solventes alternativos estão sendo estudados. Com base nestas considerações, o presente trabalho visa estudar o processo de extração do óleo residual da polpa da macaúba utilizando o etanol como solvente e realizar uma modelagem matemática do procedimento. Parâmetros como tempo e proporção sólido:solvente serão analisados com relação ao rendimento do processo, utilizando-se um planejamento experimental. A melhor configuração encontrada para a extração foi o ponto central, com rendimento de aproximadamente 30% de óleo extraído da massa inicial da amostra. O modelo matemático encontrado pode ser representado por $\text{Rendimento} = 0,1458 + 0,0131 \text{ Concentração} - 0,0206 \text{ Tempo} + 0,0255 \text{ Concentração} * \text{Tempo} + 0,1782 \text{ Pt Ct}$. No geral, os estudos apresentaram resultados satisfatórios, mostrando que a quantidade de solvente na amostra influencia diretamente no melhor rendimento da extração, enquanto o aumento do tempo não apresenta melhora significativa.

Palavras-chave: Macaúba, Extração de óleos, Rendimento, Etanol, Modelagem matemática.

ABSTRACT

The macaúba (*Acrocomia aculeata*) is a species of palm tree present in abundance in the Center-West region, and its fruit in natura quite consumed by the population. The fruit, which presents high productivity in oil, attracts great industrial interest as an alternative to other vegetable oil sources. The most used process for the extraction of macaúba oil is mechanical pressing, since it relates process efficiency and low cost. As a complement, the solvent extraction can be used to try to reach the total extraction of the oil, realizing the process with the solid residue from the pressing. The most commonly used solvent is n-hexane, but due to its toxicity and the fact that it is not sustainable, some alternative solvents are being studied. Based on these considerations, the present work aims to study the process of extracting the residual oil from the macaúba pulp using ethanol as a solvent and performing a mathematical modeling of the procedure. Parameters such as time and solid: solvent ratio will be analyzed with respect to the yield of the process, using an experimental design. The best configuration found for the extraction was the center point, yielding approximately 30% of oil extracted from the initial mass of the sample. The mathematical model found can be represented by $\text{Yield} = 0.1458 + 0.0131 \text{ Concentration} - 0.0206 \text{ Time} + 0.0255 \text{ Concentration} * \text{Time} + 0.1792 \text{ Pt Ct}$. In general, the studies presented satisfactory results, showing that the amount of solvent in the sample directly influences the best extraction efficiency, while the increase in time does not show significant improvement.

Keywords: Macaúba, Oil extraction, Yield, Ethanol, Mathematical modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- DISTRIBUIÇÃO DA MACAÚBA NO BRASIL.....	5
FIGURA 2- PALMEIRA DA MACAÚBA E SEUS FRUTOS	6
FIGURA 3- APROVEITAMENTO DO FRUTO E DOS RESÍDUOS DA MACAÚBA	8
FIGURA 4 - TORTA RESIDUAL DA POLPA DA MACAÚBA	15
FIGURA 5 - MOINHO DE FACAS	16
FIGURA 6 - FARINHA DA TORTA RESIDUAL DA POLPA DA MACAÚBA	16
FIGURA 7 - EXTRATOR DE ÓLEOS E GRAXAS	17
FIGURA 8 - ÓLEO EXTRAÍDO DURANTE O PROCEDIMENTO.....	19
FIGURA 9 - GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS	22
FIGURA 10 - GRÁFICO DE EFEITOS PRINCIPAIS PARA RENDIMENTO	23
FIGURA 11 - GRÁFICO DE INTERAÇÃO PARA RENDIMENTO	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- DISTRIBUIÇÃO DO GÊNERO ACROCOMIA NO BRASIL.....	5
TABELA 2- COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS PRINCIPAIS PARTES DO FRUTO DA MACAÚBA	7
TABELA 3- VANTAGENS E DESVANTAGENS DA EXTRAÇÃO DE OLEO COM N-HEXANO E ETANOL	13
TABELA 4 - NÍVEIS INVESTIGADOS DOS PARÂMETROS DE PROCESSO NO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	18
TABELA 5 - PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL 2 ² CODIFICADO	18
TABELA 6 - DADOS EXPERIMENTAIS COLETADOS	20
TABELA 7 - RENDIMENTO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA FARINHA DA MACAÚBA.....	21
TABELA 8 - COEFICIENTES CODIFICADOS.....	24
TABELA 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA	25

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	OBJETIVO GERAL	2
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	2
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	MACAÚBA.....	4
2.2.	EXTRAÇÃO DO ÓLEO DO FRUTO DE MACAÚBA.....	8
2.2.1.	<i>Extração por prensagem</i>	<i>9</i>
2.2.2.	<i>Extração por solventes</i>	<i>10</i>
2.2.3.	<i>Variáveis que influenciam no processo de extração por solvente</i>	<i>14</i>
3.	METODOLOGIA.....	15
3.1.	MATERIAL	15
3.2.	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL (2 ²).....	17
3.3.	EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR ETANOL.....	18
4.	RESULTADOS	20
4.1.	RENDIMENTO.....	20
4.2.	MODELO MATEMÁTICO DO RENDIMENTO.....	24
5.	CONCLUSÃO.....	26
6.	REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*), palmeira pertencente à família *Arecaceae*, é uma espécie de ampla distribuição geográfica, encontrada em florestas tropicais por toda a América Latina, porém, as maiores concentrações nativas estão localizadas na Costa Rica e no Brasil, nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (LORENZI, 2006). Além de macaúba, também é conhecida no Brasil por bocaiuva, coco-baboso, coco de espinho, macaíba, macajuba, macaúva, mucaiá e mucajaba (FRUITS, 2005).

O fruto da macaúba apresenta grande potencial produtivo, pois pode ser explorado completamente. A macaúba é dividida em quatro partes: uma casca rígida e fina que protege a polpa, utilizada na produção de ração e suplementos alimentares; a polpa, fonte de óleo que normalmente apresenta coloração entre amarelo e laranja, caracterizada por apresentar grande quantidade de fibras; o endocarpo, uma casca interna que protege a amêndoa e pode ser utilizada como carvão, também destacada como fonte de óleo; e dentro da casca, mais dura, a amêndoa. Juntos, endocarpo e amêndoa constituem a semente da macaúba (PINTO; MIRANDA, 2010).

Com relação a utilização industrial, o principal elemento da macaúba é o óleo extraído da polpa e da amêndoa. O óleo da amêndoa é rico em ácido láurico, que é normalmente aplicado na indústria de óleos insaturados para o setor farmacêutico e de cosméticos. O óleo da polpa possui maior concentração de ácido oleico, refletindo no aproveitamento no setor de produção de biocombustíveis (CICONINI, 2012; MELO, 2012).

Dois métodos são amplamente utilizados para realizar a extração de óleos vegetais de fontes oleaginosas, o mecânico e o com solvente. A associação dos dois processos também pode ser empregada a fim de aperfeiçoar a extração de óleos, principalmente em matérias primas com teor de óleo acima de 35% (RODRIGUES, 2011). Na extração de óleo da macaúba, o principal método é a prensagem mecânica, muito utilizada por ser um processo simples, de baixo custo e eficiente. Contudo, os subprodutos originados na prensagem, chamados de tortas de polpa e amêndoa, podem conter ainda teor de lipídeos considerável, cerca de 25,8 % (m.b.s) (VERIDIANO, 2012).

Sendo assim, para otimizar o rendimento da extração e reduzir as perdas no processo, utiliza-se a extração por solvente. Tal processo viabiliza a utilização e comercialização dos produtos originados, que são o óleo da macaúba, a torta das polpas ou a farinha da torta. O solvente mais escolhido para a extração comercial de óleos vegetais é o hexano, porém, por ser obtido a partir de fonte não renovável, possuir alta toxicidade e inflamabilidade, além de

ser um grande agente poluidor do meio ambiente, outros solventes estão sendo estudados (SAWADA, 2012).

A utilização dos álcoois de cadeia curta, como o etanol, como alternativa ao hexano, tem sido sugerida devido à sua maior segurança operacional, baixa toxicidade, possibilidade de produção a partir de fontes biorenováveis, além de beneficiar as características funcionais e funcionais e sensoriais do farelo desengordurado (TIR, *et al.*, 2012).

Com base nessas considerações, o presente trabalho visa estudar a extração de óleo residual das tortas de polpa da macaúba, obtidas através da prensagem mecânica, analisando o uso do etanol. Com intuito de otimizar o processo de extração por solventes, propõe-se a análise da influência de parâmetros do processo, como tempo e concentração de solvente, no rendimento da operação. Um planejamento fatorial 2^2 , com cálculo da média para as duplicatas, foi realizado para a realização do estudo e a análise dos dados feita através do software Minitab.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal encontrar o modelo matemático que represente de melhor maneira o rendimento da extração do óleo da farinha da torta residual da macaúba, sob diferentes condições de processo, utilizando o etanol como solvente.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a farinha com menor quantidade possível de óleo;
- Determinar a quantidade ótima de etanol necessária para otimizar a extração;
- Analisar os impactos de diferentes parâmetros do processo, que são: tempo de extração e proporção torta: solvente, sobre a eficiência da extração de óleo da farinha de macaúba;
- Modelar matematicamente o rendimento da extração por solvente, considerando as variáveis tempo e concentração.

1.3. JUSTIFICATIVA

O presente estudo é valioso devido ao fato de ser escasso o número de artigos publicados sobre a extração de óleo a partir da farinha da macaúba. O foco principal das pesquisas encontradas na literatura está nas possibilidades de utilização do óleo, enquanto este trabalho visa aperfeiçoar a extração do óleo para oportunizar outros estudos sobre a farinha de macaúba, como, por exemplo, sua utilização no setor cervejeiro. A escolha do etanol deve-se

ao fato de ser um solvente proveniente de fonte renovável e que remete a um setor muito conhecido da região, o do beneficiamento de açúcar e álcool.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho será apresentada da seguinte maneira:

Na segunda seção tem-se a base teórica sobre a macaúba, os diferentes métodos de extração de óleo e os principais fatores que influenciam no processo.

A Metodologia desenvolvida na realização do estudo, desde a produção da farinha até o fim do procedimento, é descrita na terceira parte desta monografia.

O item 4 expõe os resultados e discussões e o item 5 apresenta a conclusão e sugestões para continuação da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MACAÚBA

A *Acrocomia aculeata* ((Jacq.) Lodd. ex Mart), que é popularmente conhecida como bocaiúva ou macaúba e pertence à família Arecaceae, é uma palmeira nativa das florestas tropicais. Seu estipe atinge de 10 a 15 m de altura e 20 a 30 cm de diâmetro e as folhas são ordenadas em diferentes planos, apresentando um aspecto plumoso na copa. É considerada a palmeira de maior dispersão no Brasil, pois sua ocorrência se dá praticamente em todo o território brasileiro (Figura 1), com exceção para áreas litorâneas, montanhosas ou regiões geladas. É encontrada em abundância no estado de Mato Grosso do Sul, o que incentiva os estudos sobre a utilização dos seus subprodutos. O fruto maduro da bocaiuva, de cor amarela-esverdeada, pode ser coletado de setembro a dezembro (SALIS; MATTOS, 1996).

Tabela 1- Distribuição do gênero *Acrocomia* no Brasil

Espécies	Nomes regionais	Estados de ocorrência
<i>A. aculeata</i>	Macaúba, bocaúva, coco baboso, coco catarro	MG, MS, PA, RJ, SP
<i>A. intumescens</i>	Macaíba, macaúba-barriguda, camaíba	PE, AL, BA, e PA
<i>A. glaucophylla</i>	Bocaúva, bocaiúba, macujá	AM, GO e MS
<i>A. mokayaba</i>	Macaíba e mbocaiuva	MT
<i>A. odorata</i>	Bocaiuva dos pantanais	MS
<i>A. microcarpa</i>	Mucujá, mbocaiá	AM
<i>A. eriocantha</i>	Mocaiá, mucajá	AM
<i>A. wallaceana</i>	Mocaiá, mbocaiá	PA e AM
<i>A. totai</i>	Mocaiá, mbocaiá	MT, MS, PR

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

Figura 1- Distribuição da macaúba no Brasil



Fonte: Pindorama Guia visual

Os frutos são levemente achatados ou esféricos, com diâmetro variando entre 2,5 cm e 5,0 cm. O fruto é dividido em três partes, epicarpo, mesocarpo e endocarpo. A parte externa, com volume médio de 17% do total do fruto, se abre de forma espontânea quando maduro e é conhecida como epicarpo. O mesocarpo, ou polpa, está entre o epicarpo e endocarpo e apresenta volume médio de 52% do total do fruto. É fibroso, amarelado, comestível, e rico em glicerídeos. O endocarpo, com volume médio de 31% do total do fruto, apresenta uma parede rígida, e é aderido ao mesocarpo e amêndoa oleaginosa (NUCCI, 2007).

Figura 2- Palmeira da macaúba e seus frutos



Fonte: Plant a Palm.

Apesar de grande parte da *A. aculeata* ser originada do extrativismo, já existem algumas iniciativas, lideradas principalmente pelo Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado, para o seu cultivo com a finalidade de produzir biocombustíveis (MOREIRA; SOUZA, 2009).

O fruto de bocaiuva é muito consumido pela população das regiões onde é encontrado e, por causa de suas várias aplicações, esta espécie é considerada como de alta potencialidade para geração de renda. A elevada produtividade de frutos se destaca e o valor econômico e a rentabilidade do óleo extraído das amêndoas também são utilizados para produção de energia em biodiesel. A polpa de bocaiuva é consumida *in natura*, e permite sua utilização em diferentes áreas, como os usos medicinais, alimentícios e cosméticos (KOPPER, 2009).

A polpa de macaúba pode ser utilizada em diferentes produtos alimentícios, saciando as carências nutricionais devido ao seu alto valor nutricional e energético, e presença de compostos bioativos como compostos fenólicos e β -caroteno (SIQUEIRA, 2012). De acordo com a TACO (2011), a macaúba apresenta em sua composição, em média, 41,5% de umidade, 2,1% de proteína, 40,7% de lipídeos, 13,9% de carboidratos, 1,8% de cinzas e um valor energético de 404 kcal.

Tabela 2- Composição centesimal das principais partes do fruto da macaúba

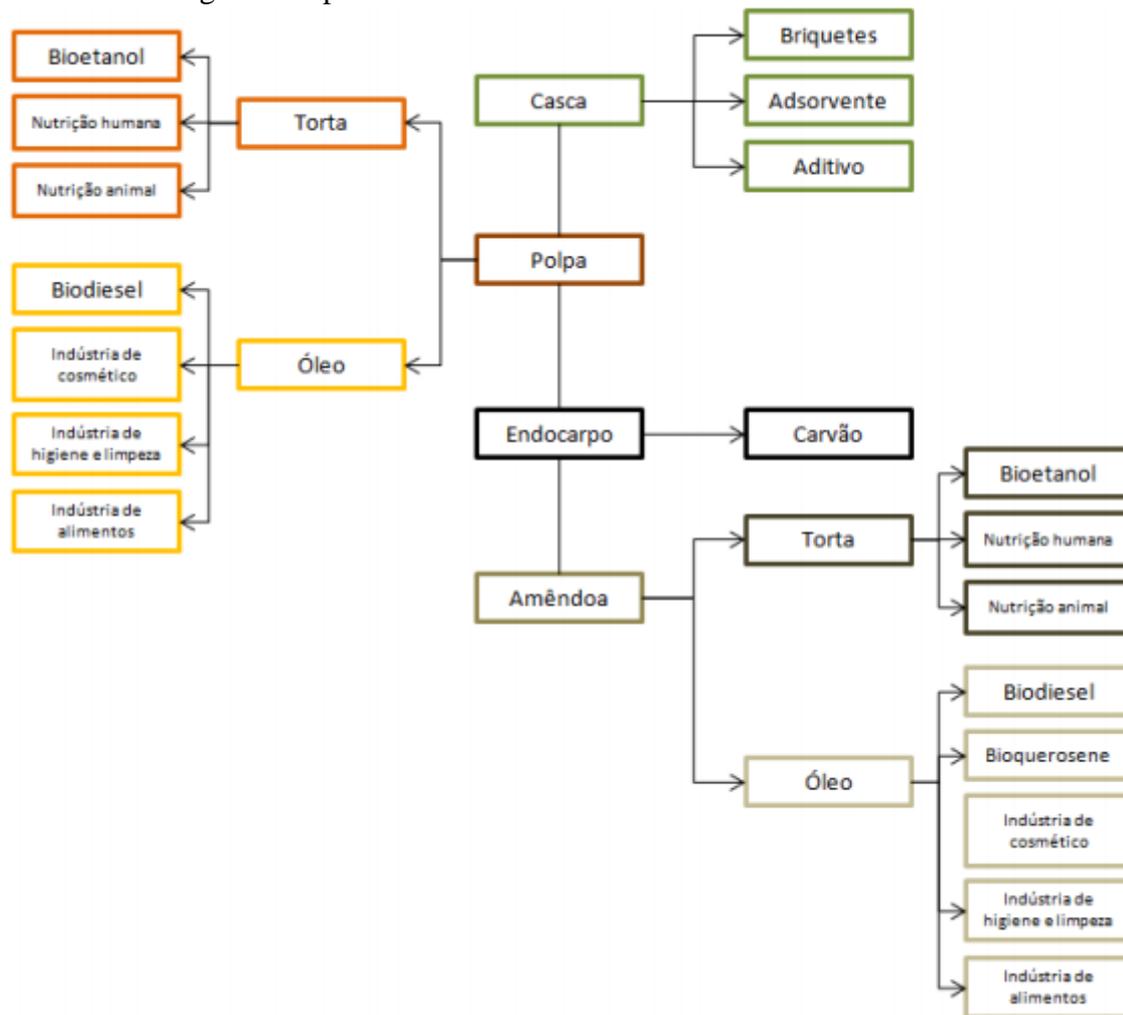
Produtos	Umidade (%)	Proteína (%)	Lípídeos (%)	Cinzas (%)	Fibras (%)	Carboidrato (%)
Polpa de Macaúba	41,5-52,9	1,1-3,8	23,0-40,7	1,5-3,3	13-24,3	13,0-43,5
Torta da Polpa	4,5-11,5	5,6-8,9	4,7-19,7	3,5-4,3	46,0-58,8	30,2-64,7
Amêndoa Macaúba	3,2-12,9	5,7-16,4	29,7-49,2	1,3-3,1	13,8-20,4	4,1-15,6
Torta de Amêndoa	8,2-12,8	13,7-37,9	9,2-14,1	3,7-4,8	30,0-41,0	20,0-25,0

Fonte: Adaptado de Santos (2011).

A partir da Tabela 2, nota-se que a polpa de macaúba e sua torta apresentam teores consideráveis de fibras e carboidratos, representando mais de 50% da composição da torta. A amêndoa, por sua vez, recebe destaque pela composição em fibras e proteínas, contabilizando juntos aproximadamente 50% da composição da torta. Sendo assim, a macaúba é considerada como uma matéria prima flexível e sustentável do ponto de vista econômico-industrial, visto que todas as partes do fruto apresentam potencial para utilização, destacando-se a extração dos óleos da casca, polpa e amêndoa, gerando tortas e farelos residuais, ricos em biocomponentes com aproveitamento iminente para a produção de ração, farinhas e biomassa para processos biotecnológicos, além do endocarpo, que por apresentar alto poder calorífico, também pode ser utilizado como carvão vegetal (PIMENTA, 2010; BHERING, 2009; RUFINO et al, 2011; ALMEIDA et al, 2012).

O processo de extração de óleos da macaúba gera alguns subprodutos, como a casca, fonte de energia por meio de briquetagem, endocarpo, que é utilizado como um carvão de alta qualidade, e as fontes de proteínas, que são as tortas. A Figura 3 apresenta possíveis utilidades para o fruto da macaúba e seus resíduos.

Figura 3- Aproveitamento do fruto e dos resíduos da macaúba



Fonte: Adaptado de Melo (2012).

2.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO DO FRUTO DE MACAÚBA

De acordo com Motta et. al(2002), a palmeira da macaúba possui amplo potencial para a produção de óleo com diferentes aplicações nos setores industriais e energéticos, com vantagens sobre outras oleaginosas.

Do fruto da macaúba podem ser extraídos óleos tanto do mesocarpo quanto da amêndoa. O óleo retirado do mesocarpo é constituído em sua maioria pelo ácido graxo insaturado oleico, conhecido como ômega 9, que auxilia o metabolismo e tem grande parcela de importância na síntese de hormônios. Já o óleo da amêndoa apresenta um maior percentual de ácido do tipo láurico, estimulante no sistema imunológico e que possui propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas (LLERAS E CORADIN, 1985).

O óleo da macaúba também pode ser identificado na indústria cerâmica como desmoldante e em curtumes como agente de engraxamento. Sua utilização como lubrificante para máquinas, na substituição de óleo diesel, como carvão e piche também merecem

destaque (PINTO, 2010). Andrade (2006) comenta que o óleo extraído da amêndoa contém propriedades farmacêuticas, sendo muito aplicado no combate a dores de cabeça, bronquite, doenças respiratórias e dores musculares.

Em consequência de que o propósito de estudo desse trabalho é decorrente da extração de óleo da farinha feita da polpa do fruto da macaúba (torta residual), através do emprego do etanol, serão apontados os métodos de extração do óleo mais utilizados atualmente, que são: Extração por pressão (Prensa mecânica) e extração por solventes (PINTO E MIRANDA, 2010).

2.2.1. EXTRAÇÃO POR PENSAGEM

A extração mecânica é um processo de separação entre líquidos e sólidos através da aplicação de forças de compressão, é uma operação unitária muito utilizada na indústria de alimentos e bebidas. Geralmente, são necessários pré-tratamentos de despulpamento, redução de tamanho e aquecimento, antes da realização da separação do líquido da matriz sólida, buscando melhorar o rendimento do processo (BRENNAN et al., 1990).

A prensagem é o tratamento mais comum quando se busca eliminar o óleo de sementes oleaginosas. O processo é simples e não exige mão de obra qualificada para sua realização, além de poder ser adaptado com facilidade para diversos tipos de oleaginosas, necessitando de apenas alguns ajustes mecânicos, e todo o procedimento pode ser concluído em um curto espaço de tempo (PIGHINELLI, 2007).

Da prensagem mecânica, são obtidos os óleos, principal produto, mas também, as tortas residuais, consideradas subprodutos do processo de extração graças a sua rica composição em proteínas, fibras e óleo residual. Desse modo, as tortas normalmente são utilizadas como matrizes destes biocomponentes ou aplicadas diretamente como farinhas para a alimentação humana e animal (SILVA, 2009; MACHADO et al., 2010; REVELLO, 2014).

O uso de métodos mecânicos para obtenção de óleos, com o intuito de aproveitamento de produtos e coprodutos, tem sido motivo de investigações para o desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba. Sabe-se que o rendimento em óleo, neste processo, é alterado por padrões como a temperatura de prensagem, teor de umidade da matéria prima ou a pressão aplicada sobre o produto, interferindo na qualidade do óleo obtido e das tortas residuais (PIGHINELLI et al, 2008; GALVANI e FERNANDES, 2010). Dessa maneira, um rendimento máximo pode não ser vantajoso economicamente, visto que deve-se aperfeiçoar as disposições de pressão e tempo de acordo com as exigências operacionais e financeiras (WAN, 1991).

Os equipamentos necessários para o processo de extração por pressão são as prensas de bateladas e as prensas contínuas. A prensa mecânica contínua constitui-se em um cesto feito de barras de aço retangulares distanciadas, por meio de lâminas, com ajustamento de espessura, adaptando-se ao material a ser prensado para uma maior eficiência na retirada do óleo. Este espaçamento também origina a filtração das partículas do resíduo de prensagem. O material é transportado e comprimido no centro do cesto de compressão onde gira um eixo helicoidal com passo e diâmetro variáveis. A prensa pode ser dividida em três partes: alimentação, processamento e descarga (Pimenta, 2010).

No entanto, considerando a polpa e amêndoa da macaúba, do mesmo modo que em outras oleaginosas com alto teor em óleos, o processo de prensagem, apesar de ser realizado em dois estágios, ou sob alta pressão, resulta num teor de óleo remanescente nas tortas, de modo geral, de 8 a 14 % (SINGH & BARGALE, 2000).

Deste modo, buscando aumentar o rendimento em óleo extraído e produzir tortas livre de lipídeos, frequentemente são combinados os processos de prensagem mecânica e de extração por solvente, devido ao fato de a prensagem apresentar menor eficiência de extração, quando utilizada como único processo. Quando a extração mecânica é correlacionada ao uso de solventes, é possível retirar grande parte do óleo residual da torta, atingindo teores de óleo no farelo, após o processo combinado, menores que 1%, resultando maior eficiência na extração, além de produzir torta livre de lipídeos e adequada para outras aplicações industriais (CARVALHO, 2011; MORETTO & FETT, 1998).

De fato, quando os processos são utilizados em conjunto, a prensagem é exercida como propósito de produzir uma torta com 15 – 18% de óleo residual, sendo este extraído com solvente (TANDY, 1991). Isso suspende o uso de pressões extremas na extração mecânica, alterando o processo, assegurando a manutenção de propriedades e componentes naturais da matéria prima, no óleo e torta.

2.2.2. EXTRAÇÃO POR SOLVENTES

A extração por solvente é um fenômeno de transporte de massa de uma fase para outra, que tem como objetivo desassociar um ou mais componentes, como consequência da compatibilidade do que se deseja extrair com o composto químico utilizado como solvente. Tratando-se da extração de óleo, é importante separá-lo das proteínas e carboidratos (CUSTODIO, 2003).

Este tipo de extração pode ser apontado como a ferramenta mais importante do método de obtenção de óleo vegetal e farelo desengordurado. A associação do método que emprega a pré-prensagem seguida da extração por solvente é a mais utilizada na indústria de processamento de óleo, fundamentada em matérias primas com alto teor de óleo como, a linhaça, girassol, algodão e milho (ANDERSON, 2011).

Contudo, a extração de óleo empregando unicamente solvente também pode ser adotada, principalmente para matérias primas com baixo teor de óleo, até 20%, como é o caso da soja e do farelo de arroz. Em geral, após a matéria prima ser submetida a um prétratamento, redução de tamanho, cozimento, entre outros, a mesma é inserida em contato com um solvente orgânico. Neste procedimento, o transporte de massa acontece entre uma fase sólida contendo o óleo e uma fase líquida que é o solvente, tendo como finalidade a extração de um ou mais componentes da fase sólida (RODRIGUES, 2011).

A solubilização do óleo no solvente pode ocorrer por dois modos: a dissolução do óleo pelo contato entre as células vegetais perdidas durante a prensagem, e/ou através de difusão, em que o óleo passa entre as paredes das células intactas para o meio líquido (RAMALHO e SUAREZ, 2013).

A extração normalmente é realizada em temperatura próxima ao ponto de ebulição do solvente, reduzindo a viscosidade do óleo e o aumentando a solubilidade no solvente, assegurando uma boa eficiência no processo (GANDHI et al., 2003). Sabe-se que a seleção do solvente adequado, assim como as características físicoquímicas das matérias primas, além das circunstâncias de extração, são de extrema relevância para o sucesso do procedimento (SAWADA, 2012; SPAGARINO e ALMEIDA, 2012).

O principal solvente empregado industrialmente para a extração de óleos vegetais é o n-hexano, por apresentar alta eficiência de extração, baixo custo, maior estabilidade, baixa corrosão em equipamentos e sabor e odor baixos nas tortas residuais (SETH et al, 2010). No entanto, seu emprego também evidencia desvantagens para o processo, visto que é um derivado do petróleo, indicando baixa sustentabilidade por não ser obtido de fonte renovável, além de possuir alta toxicidade e potencial risco de explosão, ocasionando risco ambiental e grande volume de perda durante o tratamento (RAMALHO e SUAREZ, 2013).

A partir destes levantamentos, a procura por solventes alternativos ao n-hexano vem ganhando espaço, fundamentada na necessidade de emprego de um solvente sustentável, proveniente de fontes renováveis, como o etanol, que é mais seguro e menos tóxico. Neste contexto, o etanol vem sendo observado como possível solvente de extração de óleos, por apresentar características físico-químicas que beneficiam a extração, levando em consideração

a alta solubilidade de triacilglicerois a elevadas temperaturas e a baixa solubilidade na temperatura ambiente. A partir do processo de extração de óleo por solvente, origina-se a torta desengordurada ou farelo, um coproduto que manifesta características adequadas para o uso em 31 processos diferentes, como na produção de ração animal, farinhas de alimentação humana e fonte de proteínas e fibras para diversas aplicações (SANGALETTI, 2012).

Alguns trabalhos na literatura retratam a viabilidade do uso do etanol como solvente de extração, viabilizando a qualidade do farelo obtido. Além das vantagens encontradas na literatura, o etanol, quando empregado como solvente, apresenta a vantagem de transformar o processo de extração de óleos em um método sustentável, ao passo que utiliza solvente que pode ser obtido de fontes renováveis, além de consolidar um dos setores agroindustriais mais significativos do país, o de produção de açúcar e álcool. No entanto, a seleção do solvente apropriado não deve somente garantir um bom rendimento em óleo, mas também assegurar a continuidade de características de qualidade dos farelos e óleos obtidos, com remoção facilitada e recuperação do solvente empregado. Na tabela a seguir estão dispostas vantagens e desvantagens do uso do n-hexano e do etanol como solventes na extração de óleo (ANDRADE *et al.*, 2015).

Tabela 3- Vantagens e desvantagens da extração de óleo com n-hexano e etanol

SOLVENTE	VANTAGENS	DESVANTAGENS
HEXANO	Ponto de ebulição (65 – 70°C) Seletivo aos componentes polares Baixo calor latente de ebulição Imiscível com água	Alta inflamabilidade, explosividade e toxidez Vapor de hexano mais denso que o ar Recuperação do solvente por destilação
ETANOL	Derivado de fonte renovável, biodegradável e não tóxico Pequena polaridade Requer menos etapas de refino Recuperação do solvente sem gasto de energia	Ponto de ebulição (78°C) Inflamável Miscível em água Menos volátil que o hexano Menor poder de solubilidade em comparação ao n-hexano

Fonte: Adaptado de Santos (2011).

Independente do teor de óleo inicial do material, a utilização do solvente apresenta a vantagem de garantir o desgorduramento total do grão, gerando um resíduo com menos de 1% de óleo (CORREIA, 2009).

O material a ser submetido ao processo é, primeiramente, triturado e laminado, para facilitar a infiltração do solvente. O óleo, presente no material por meio de uma camada em volta das partículas trituradas ou encontrado em células inteiras, é resgatado por processo simples de dissolução ou por difusão. Assim, a extração resulta em dois processos: um simples e rápido, chamado de dissolução; e um mais demorado, correspondente à difusão da mistura solvente e óleo. Deste modo, a velocidade de desgorduramento durante o processo é rápida no começo, mas diminui com o transcorrer do procedimento (CORREIA, 2009).

O extrator Soxhlet, utilizado para a realização da extração por solventes, possibilita que uma determinada quantidade do solvente, puro, entre em contato com a amostra diversas vezes, criando ciclos, onde cada ciclo representa uma lavagem da amostra (OLIVEIRA *et al.*, 2011). As maiores vantagens do método Soxhlet são: há uma constante renovação, já que a amostra está em contato com o solvente a todo tempo; a temperatura do sistema permanece alta, tendo em vista que o calor empregado para a evaporação é constante; é um método simples e que viabiliza a extração de uma maior quantidade de óleo quando comparado a

outros procedimentos. As principais desvantagens são o grande volume de solvente necessário para o processo e o longo tempo exigido para a extração (BRUM, 2004).

A extração contínua tem os mesmos conceitos da extração Soxhlet, apresentando como única diferença o fato de não acumular solvente durante o procedimento, visto que o solvente flui ininterruptamente pelo interior da amostra.

2.2.3. VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTE

As principais razões que podem influenciar o rendimento do processo de extração são: tempo, temperatura, quantidade de solvente, umidade da amostra e tamanho das partículas.

- Tempo

A dissolução e a transferência de massa exigem tempo. O tempo requerido varia de acordo com o grão, do pré-tratamento e do equipamento a ser usado. Quanto maior o tempo, menor a concentração de óleo na amostra (THOMAS, 2003).

- Temperatura

A viscosidade decresce e a solubilidade do óleo aumenta ao passo em que a temperatura aumenta. Quando aquecido, o grão tem seu teor de água reduzido e as proteínas dissipam suas propriedades. Desse modo, o óleo forma gotículas e mais fáceis de extrair (THOMAS, 2003).

- Quantidade de solvente

De acordo com Thomas (2003), a quantidade de solvente utilizada na extração resulta da composição do grão. Quanto maior o teor de fibras, mais solvente será exigido.

- Umidade do grão

Por ser uma substância polar, a água inibe a entrada do solvente na amostra e reduz o coeficiente de difusão, mas ainda é necessária uma baixa taxa de umidade para garantir a elasticidade das partículas, evitando que elas se fragmentem (THOMAS, 2003).

- Tamanho e forma das partículas do grão

Correia (2009) comprovou que o tamanho e forma das partículas do material tem papel fundamental no processo de extração de óleo. É necessária a redução da partícula para ocorrer um aumento da porosidade, resultando numa maior interação entre o material e o solvente.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAL

A macaúba foi disponibilizada pela Faculdade das Engenharias (FAEN) da Universidade Federal da Grande Dourados. As tortas residuais utilizadas neste trabalho foram obtidas através do despulpamento e da consequente prensagem mecânica, gerando uma torta com baixo teor de óleo, que pode ser vista na figura a seguir.

Figura 4 - Torta residual da polpa da macaúba



Fonte: Acervo Pessoal (2018).

A torta, assim que recebida, foi submetida ao processo de moagem, utilizando-se um moinho de facas, para a produção da farinha a ser utilizada nos experimentos de extração.

Figura 5 - Moinho de facas



Fonte: Acervo Pessoal (2018).

Figura 6 - Farinha da torta residual da polpa da macaúba



Fonte: Acervo pessoal (2018)

O extrator de óleos e graxas escolhido para a realização do presente trabalho foi o modelo MA 044/5/50 da Marconi, que tem capacidade máxima de realização de cinco experimentos simultâneos.

Figura 7 - Extrator de óleos e graxas



Fonte: Acervo pessoal (2018).

3.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL (2^2)

O planejamento experimental fatorial é uma metodologia estatística muito aplicada na realização de experimentos, com o intuito de otimizar o número de ensaios necessários para que uma conclusão possa ser obtida, partindo da variação de diferentes parâmetros simultaneamente. Além de aprimorar o trabalho experimental, o planejamento também abrange informações relevantes sobre qual o efeito de cada parâmetro analisado, contribuindo para a definição de parâmetros e faixas de trabalho dos mesmos. Na literatura, muitos trabalhos assumem o planejamento experimental fatorial como ferramenta estatística para otimização de parâmetros de processo (AKINOSO e ADEYANJU, 2010).

Neste trabalho, o planejamento experimental fatorial 2^2 foi utilizado para investigar o efeito de dois parâmetros do processo de extração de óleo da farinha de macaúba por solvente, a saber, tempo e proporção sólido:solvente, sobre o rendimento de extração de óleo residual (resposta objetivo) das tortas de polpa de macaúba. O estudo foi elaborado com a utilização do etanol como solvente. Nestes estudos, um total de 11 experimentos foram realizados,

investigando duas vezes cada parâmetro em 2 níveis diferentes, além do ponto central, que foi realizado 3 vezes.

A Tabela 4 apresenta os diferentes parâmetros de processo e os níveis investigados na extração de óleos. A Tabela 5 apresenta os ensaios codificados do planejamento experimental fatorial 2^2 proposto, para os processos de extração de óleo residual da torta da polpa com o etanol.

Tabela 4 – Níveis investigados dos parâmetros de processo no planejamento experimental 2^2 .

Tabela 4 - Níveis investigados dos parâmetros de processo no planejamento experimental

Parametro	Níveis		
	-1	0	1
Tempo (h) = X1	3	4	5
Proporção sólido:solvente (massa/volume) = X2	1:3	1:4	1:5

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 5 - Planejamento experimental fatorial 2^2 codificado

Ensaio	X1	X2
1	+1	+1
2	+1	+1
3	+1	-1
4	+1	-1
5	0	0
6	-1	+1
7	-1	+1
8	-1	-1
9	-1	-1
10	0	0
11	0	0

Fonte: elaborada pelo autor.

Através da avaliação estatística dos resultados de rendimento obtidos no planejamento experimental, foi possível analisar o efeito de cada parâmetro de processo estudado, com relação à maximização da resposta objetivo (rendimento) do procedimento de extração de óleo.

3.3. EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR ETANOL

Para cada condição experimental apontada na Tabela 4, as proporções ajustadas de torta:solvente foram adicionadas aos cartuchos. A princípio, adicionou-se a quantidade de torta, que foi, em massa, de aproximadamente 15,5g por amostra. Foi medida então a massa de cada frasco e os dados foram anotados. Em seguida foi adicionada aos frascos a quantidade de solvente, em volume, considerando a densidade do etanol utilizado como 0,815 Kg/m³. As amostras foram então colocadas no extrator e o processo foi realizado de acordo com o tempo estabelecido para cada amostra, como ilustrado na Tabela 4.

Ao fim do processo de cada amostra, foi realizada a medição do conjunto frasco+óleo, como mostra a figura a seguir, para o cálculo da massa de óleo extraída da amostra.

Figura 8 - Óleo extraído durante o procedimento



Fonte: Acervo pessoal (2018).

Todos os dados obtidos através do planejamento experimental foram tratados utilizando o software Minitab para a obtenção dos resultados.

4. RESULTADOS

A seguir serão exibidos os resultados obtidos, nos ensaios do planejamento experimental (2²), de extração de óleo residual da torta de polpa de macaúba.

Tabela 6 - Dados experimentais coletados

Amostra	Massa da amostra (g)	Proporção etanol:torta (massa:volume)	Quantidade de etanol (ml)	Tempo de extração (h)	Massa do frasco vazio (g)	Massa do frasco com óleo (g)	Massa de óleo extraído (g)
1	15,5231	5:1	95,23	5	147,688	149,8492	2,1612
2	15,5022	5:1	95,1	5	148,4302	151,3525	2,9223
3	15,5235	3:1	57,14	5	148,081	149,5404	1,4594
4	15,525	3:1	57,14	5	148,4622	149,6913	1,2291
5	15,522	4:1	76,18	4	146,3815	148,8002	2,4187
6	15,5283	5:1	95,26	3	148,8286	150,7585	1,9299
7	15,524	5:1	95,24	3	146,3915	149,2445	2,853
8	15,5263	3:1	57,15	3	147,7011	151,05	3,3489
9	15,5222	3:1	57,13	3	148,695	150,8958	2,2008
10	15,5195	4:1	76,17	4	148,4878	153,6402	5,1524
11	15,5227	4:1	76,19	4	148,105	152,9874	4,8824

Fonte: elaborada pelo autor.

Como primeira observação, um dos pontos centrais apresentou erro experimental significativo e foi estimado com a média dos outros dois pontos centrais para a análise estatística.

4.1. RENDIMENTO

Para o cálculo do rendimento, fez-se uso da razão entre a massa de óleo extraída no processo pela massa inicial da amostra correspondente. Sendo assim, utiliza-se como rendimento o percentual de óleo extraído da massa original da amostra. Os valores estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 7 - Rendimento da extração de óleo da farinha da macaúba

Amostra	Massa da amostra (g)	Massa de óleo extraído (g)	Rendimento (%)
1	15,5231	2,1612	13,92%
2	15,5022	2,9223	18,85%
3	15,5235	1,4594	9,40%
4	15,525	1,2291	7,92%
5	15,522	2,4187	15,58%
6	15,5283	1,9299	12,43%
7	15,524	2,853	18,38%
8	15,5263	3,3489	21,57%
9	15,5222	2,2008	14,18%
10	15,5195	5,1524	33,20%
11	15,5227	4,8824	31,45%

Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a tabela acima, é possível perceber que os menores valores para o rendimento da extração são identificados nas amostras com menor proporção solvente: sólido (3:1) e maior tempo de processo, mostrando que para a extração com pouca quantidade de etanol, as variáveis tempo e concentração de solvente são inversamente proporcionais.

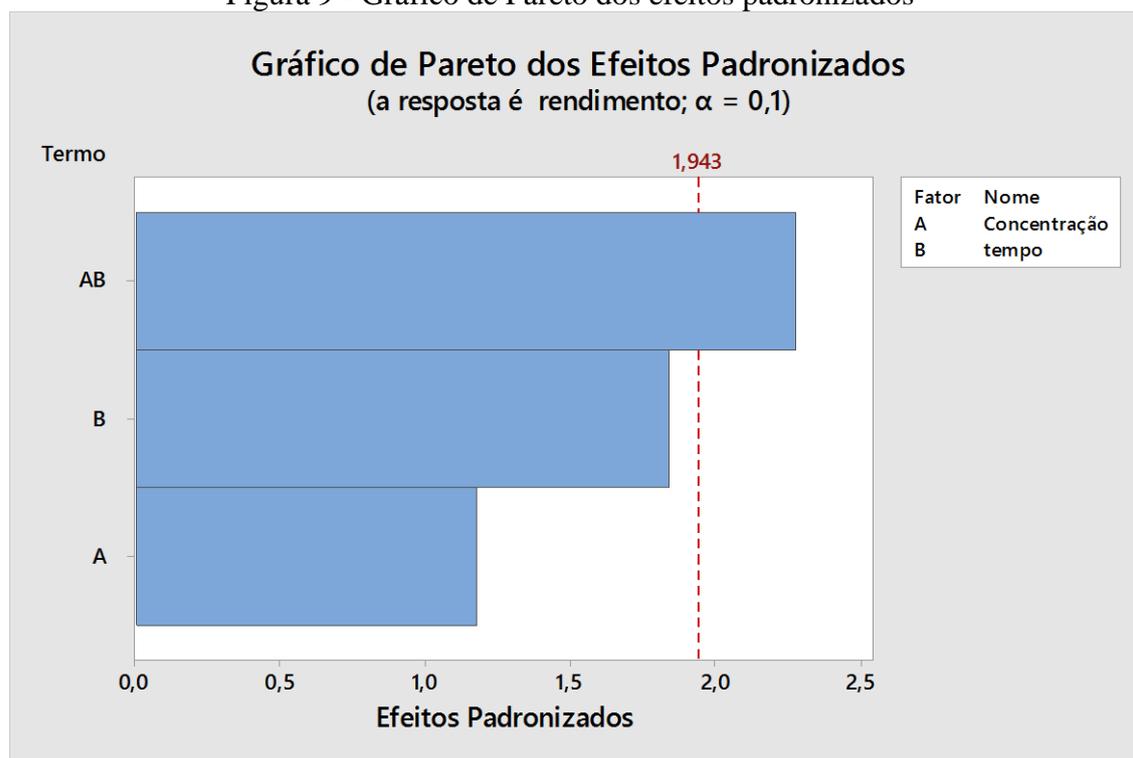
Por outro lado, os melhores valores encontrados para o rendimento são representados pelos pontos centrais do planejamento experimental, caracterizando a melhor configuração para a realização da extração de óleo da farinha da macaúba.

No gráfico de Pareto dos efeitos (figura 9) pode-se comparar a magnitude relativa e a significância estatística dos efeitos principais e dos efeitos das interações. O gráfico exibe o tipo de efeito da seguinte maneira:

- Se o modelo não incluir um termo de erro, o gráfico exibe o valor absoluto dos efeitos não padronizados.
- Se o modelo incluir um termo de erro, o gráfico exibe o valor absoluto dos efeitos padronizados.

É possível analisar graficamente os efeitos em ordem decrescente de seus valores absolutos. A linha de referência no gráfico indica quais efeitos são significativos. Por padrão, o Minitab usa um nível de significância de 0,05, em nosso experimento utilizamos 0,1 para traçar a linha de referência. Sem termo de erro, o Minitab usa o método de Lenth para traçar a linha de referência. Assim, podemos observar que o Fator AB é significativo considerando 90% de nível de confiança.

Figura 9 - Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados



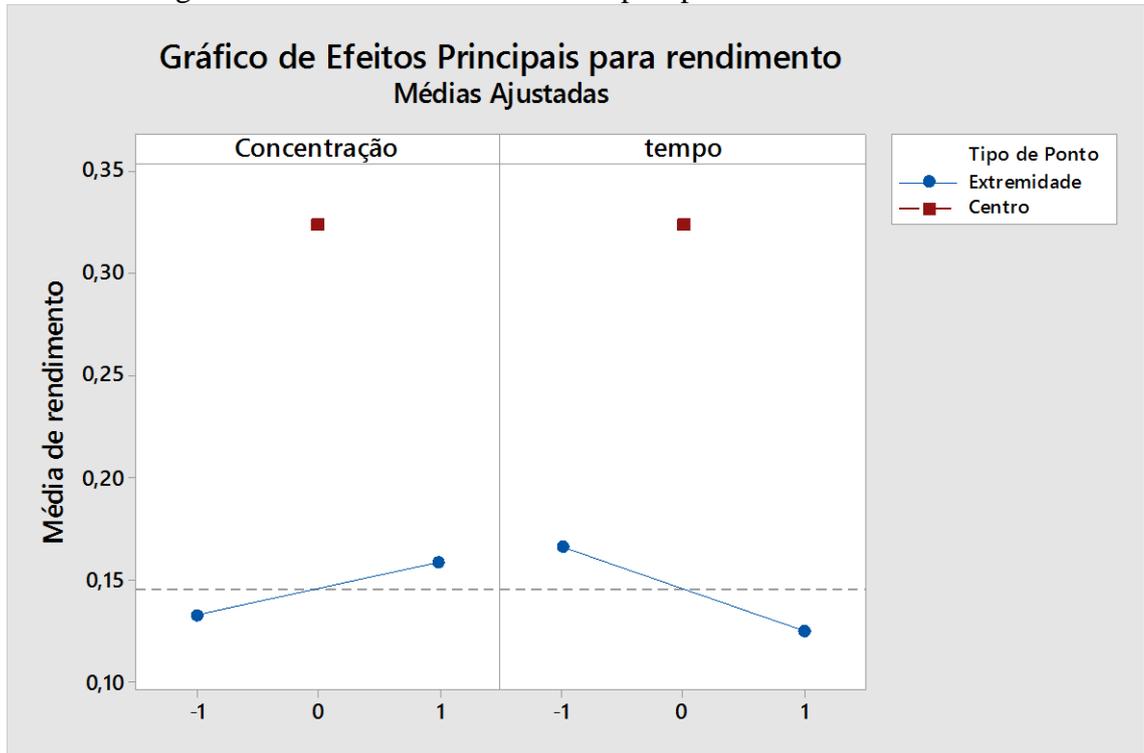
Fonte: elaborada pelo autor no software Minitab.

Nota-se também que apenas o efeito de interação AB foi significativo dentro do nível de confiança de 90%. Este efeito significativo incluem os efeitos concentração de etanol e tempo de extração em conjunto. Sendo os efeitos separados, não apresentam significância estatística com nível de confiança adotado.

A seguir, no gráfico dos efeitos principais (Figura 10), observa-se o efeito no rendimento de cada parâmetro individualmente. É possível perceber que o ponto central apresentou melhores rendimentos. No gráfico observamos que a concentração maior de etanol ajuda no rendimento de extração do óleo de macaúba, mas sua significância é bem menor que a interação com o tempo.

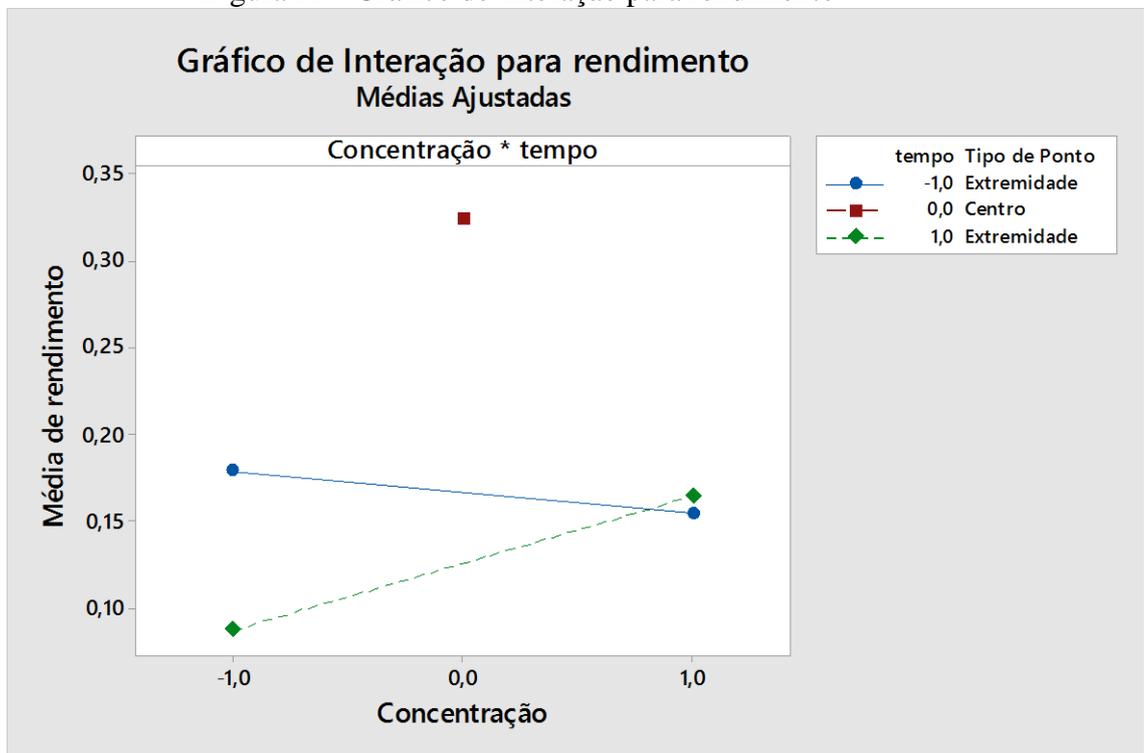
Também é possível identificar que o fator tempo de extração não influenciou no aumento do rendimento quando a farinha de macaúba ficou mais tempo exposta ao etanol. A extração forneceu melhores resultados para o tempo de 3 horas e apresentou queda considerável no rendimento para as amostras que foram submetidas ao processo por 5 horas.

Figura 10 - Gráfico de Efeitos Principais para rendimento



Fonte: elaborada pelo autor no software Minitab.

Figura 11 - Gráfico de Interação para rendimento



Fonte: elaborada pelo autor no software Minitab.

Pode-se observar no gráfico acima que a interação teve efeito positivo analisando as variáveis mínima e máxima. Nesse caso a interação teve efeito superior às análises individuais

das variáveis. É perceptível que o ponto central apresenta interação que talvez seja o melhor ponto para a extração do óleo da farinha de macaúba.

4.2. MODELO MATEMÁTICO DO RENDIMENTO

- Sumário do modelo:

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,03157	92,98%	88,30%	72,24%

Nestes resultados, o modelo explica 92,98% dos resultados do rendimento do experimento. Por estes dados, o valor de R^2 indica que o modelo fornece um bom ajuste aos dados.

- Coeficientes codificados

Tabela 8 - Coeficientes codificados

Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante		0,1458	0,0112	13,06	0	
Concentração	0,0263	0,0131	0,0112	1,18	0,284	1
Tempo	-0,0412	-0,0206	0,0112	-1,84	0,115	1
Concentração* tempo	0,051	0,0255	0,0112	2,28	0,062	1
Pt Ct		0,1782	0,0214	8,34	0	1

Fonte: elaborada pelo autor.

A tabela 8 exprime os coeficientes que cada parâmetro representa no modelo matemático a ser criado de acordo com o efeito deste parâmetro sobre o rendimento do experimento. A concentração, por exemplo, apresenta um efeito de 0,0263 e é expressa na equação pelo coeficiente 0,0131, assim como o tempo, que apresenta efeito negativo, é expresso na equação pelo coeficiente -0,0206. A interação entre os dois parâmetros aparece com o coeficiente 0,0255 e o ponto central aparece com o coeficiente 0,1782.

- Equação de Regressão em Unidades Não codificadas

$$\text{Rendimento} = 0,1458 + 0,0131 \text{ Concentração} - 0,0206 \text{ Tempo} + 0,0255 \text{ Concentração} * \text{tempo} + 0,1782 \text{ Pt Ct}$$

A equação acima é o modelo matemático do rendimento da extração de óleo por etanol da farinha da torta da polpa de macaúba, desenvolvido a partir dos dados experimentais obtidos em laboratório e através dos coeficientes encontrados na Tabela 8. A geração do modelo foi realizada através do software de análise estatística Minitab.

- Análise de Variância

Tabela 9 - Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	4	0,07923	0,01981	19,87	0,001
Linear	2	0,00477	0,00239	2,39	0,172
Concentração	1	0,00138	0,00138	1,39	0,284
tempo	1	0,00339	0,00339	3,4	0,115
Interações de 2 fatores	1	0,0052	0,0052	5,22	0,062
Concentração*tempo	1	0,0052	0,0052	5,22	0,062
Curvatura	1	0,06926	0,06926	69,48	0
Erro	6	0,00598	0,001		
Total	10	0,08521			

Fonte: elaborada pelo autor.

Na análise de variância acima, verifica-se que o modelo tem um bom ajuste, visto que a interação concentração e tempo é a única variável significativa para valor-P abaixo de 0,1, considerando também que o modelo apresentado possui elevado nível de significância.

5. CONCLUSÃO

Através da análise dos resultados obtidos para os estudos de extração de óleo da farinha da torta residual da polpa da macaúba utilizando o etanol como solvente, pode-se declarar que o controle de determinados parâmetros de processo, como a concentração de etanol na amostra e o tempo de extração, é fundamental para alcançar um melhor rendimento no processo de extração de óleos por solvente.

De maneira geral, o controle dos parâmetros determinados, em conjunto com o emprego do etanol como alternativa ao hexano, apresentou resultados satisfatórios com relação ao rendimento do processo. A utilização do etanol na extração de óleo por solvente revela a exigência de maiores cuidados na escolha das condições de processamento, visto que o aumento do tempo se mostrou desnecessário quanto ao rendimento encontrado.

O ponto central, em que foi utilizada a proporção de 4:1 de concentração de etanol para a massa de farinha e foi submetido à extração por 4 horas, apresentou a maior eficiência quanto à massa de óleo extraída da torta residual, atingindo um rendimento de aproximadamente 30% de óleo extraído em relação à massa original da amostra. Pode-se afirmar que talvez seja a melhor configuração encontrada para a extração utilizando esse solvente, uma vez que não foi analisada nenhuma amostra com esta mesma proporção solvente:sólido e com um tempo menor, situação que pode vir a ser estudada futuramente.

Sendo assim, os estudos dos diferentes parâmetros mostram-se promissores quanto à quantidade de solvente (etanol) utilizada. Análises adicionais a respeito da temperatura, tamanho do grão e umidade do grão podem ser realizadas, como intuito de consolidar a utilização desse solvente nos processos de extração, devido a sua sustentabilidade, segurança no processo e sua disponibilidade no Brasil, além de viabilizar a integração entre a extração de óleos, a produção de biodiesel e a utilização dos subprodutos em diversos procedimentos industriais.

Sugestões propostas para continuidade da pesquisa:

- Realizar a análise utilizando outro solvente alternativo, como por exemplo o isopropanol, levando em consideração que o tipo de solvente influencia diretamente no rendimento da extração;
- Pesquisas voltadas à utilização da farinha desengordurada, por exemplo, a utilização no mosto durante o processo cervejeiro;

- Pesquisas relacionadas à utilização dos resíduos originados dos diferentes processos de extração de óleo da macaúba, visto que a palmeira é encontrada em abundância em nossa região.

6. REFERÊNCIAS

ANDERSON, G.E. **Edible Oil Processing solvent extraction**. Library, 2011.

ANDRADE, B. K. S. A.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. **Curva de Rendimento da extração mecânica e caracterização do óleo de pinhão manso**. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Unicamp – Campinas – SP. 19 a 22 de julho de 2015.

BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; LILLEY, A. E. V. **Food engineering operations**. Linton Road, England: Elsevier Applied Science, 1990.

BRUM, A. A. S. **Métodos de extração e qualidade da fração lipídica**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba – SP. 2004.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúbados biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Católica Dom Bosco, 128p., Mato Grosso do Sul, 2012.

CUSTODIO, A.F. **Modelagem e simulação do processo de separação de óleo de soja-hexano por evaporação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. 2003.

DA MOTTA, Paulo Emílio Ferreira et al. **Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 7, p. 10123-1031, 2002.

FRUITS. **From America: an ethnobotanical inventory of Acrocomia aculeata**. Disponível: <http://www.ciat.cgiar.org/ipgri/fruits_from_americas/frutales/Acrocomiaaculeata.html>>.

GALVANI, F.; FERNANDES, J. **Extração mecânica da polpa da bocaiuva coletada na região de Miranda, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2010. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/C793.pdf>> .

GANDHI, A. P. et al. **Studies on alternative solvents for the extraction of oil from soybean**. International Journal of Food Science & Technology. 2003.

LLERAS, E ; CORADIN, L.; **Coleta, caracterização, avaliação e conservação de germoplasma de palmeiras neotropicais**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTANICA, 36., 1985, Curitiba, PR. Programa e resumos. [S.l.]: Sociedade Botânica do Brasil, 1985. 1p.

LORENZI, Gisele Maria Amim Caldas. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd.ex Mart. - Areaceae: bases para o extrativismo sustentável**. 2006. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós- Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MACHADO, C. A. C.; SANJINEZ ARGANDONA, E. J.; HOMEM, G. R.; TOMMASELLI, M. A. G. **Modelo de viabilização da produção do consórcio: macaúba (Acrocomia aculeata) e cana-de-açúcar (Saccharum officinarum)**. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010, SP, 2010.

MELO, P. G. **Produção e caracterização de biodieses obtidos a partir da oleaginosa macaúba (Acrocomia aculeata)**. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2012.

MOTTA, P.E., OLIVEIRA FILHO, A.T., GOMES, J.B.V. **Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais**. Pesq. Agrop. Bras. 37, 1023–1031. 2002.

NUCCI, Stella Maris. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de Macaúba**. 2007. 84 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

PIGHINELLI, A.L.M.T.; PARK, K.J.; RAUEN, A.M.; BEVILAQUA, G.; FILHO, J.A.G. **Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 28(Supl.): 66-71, dez. 2008.

PIMENTA, T.V; **Metodologias de Obtenção e Caracterização dos Óleos do Fruto da Macaúba com Qualidade Alimentícia**: da Coleta á Utilização. Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado – UFMG, 2010.

PINTO, A. L. D; MIRANDA, T. L. S. **Desenvolvimento de um novo óleo tipo mesa a partir da polpa da macaúba** [manuscrito] UFMG. Belo Horizonte, 128p, 2010.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. **A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino**. Revista Virtual Quimca, v. 5 (1), 2-15. 2013.

RAMOS, Maria Isabel Lima et al. **Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva**. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 28 (supl.), p.90-94, dez. 2008.

REVELLO, C. Z. P. **Avaliação do valor nutricional de resíduos do processamento da macaúba (acrocomia aculeata) e de seus produtos de Bioconversão**. Dissertação de mestrado (em Ciência e Tecnologia Ambiental) do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal da Grande Dourados. 81f. 2014.

RODRIGUES, C.E.C. **Utilização de um solvente biorenovável nos processos de extração e desacidificação de óleos vegetais**. Tese (Livre docência). Área de concentração: Equilíbrio de fases e Processos de separação na indústria de alimentos. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. USP. Pirassununga, 2011.

SALIS, S. M.; MATTOS, P. P. **Fenologia de Acrocomia totai Mart. E Copernicia alba Morong. No Pantanal**. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2. Londrina, 1996. Resumos... Londrina: Universidade Estadual de Londrina e Sociedade de Ecologia do Brasil, 1996.

SANGALETTI, N. **Transesterificação química e enzimática de miscela etanólica de óleo de soja**. Tese (Doutorado). Programa de pós graduação Ciências. Área de concentração: Química na Agricultura e o Ambiente. USP. Piracicaba, 2012.

SANTOS, H. T. L. **Avaliação da torta de macaúba como insumo para produção de bioetanol**. Dissertação de Mestrado (Química Orgânica) da UFVJM. Ff. 87. Diamantina-MG, 2011.

SAWADA, M.M. **Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja**: cinética de extração e índices de qualidade. 2012. 128p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. USP. Pirassununga, 2012.

SILVA, I. C. C. **Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba**. Dissertação de Mestrado (em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 99f. 2009.

SINGH, J. & BARGALE, P. C. **Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression**. Journal of Food Engineering, 43, 75-82. 2000.

SOLOMONS, T.W.G; FRYHLE, C.B. **Organic chemistry**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

TACO - **TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS**. 4. ed. rev. ampl. Campinas: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação - NEPA/UNICAMP, 2011. 161 p

TANDY, D. C. **Oilseed extraction**. In: WAN, P. J. **Introduction to fats and oils technology**. Champaign, Illinois: American il Chemists' Society, 1991.

THOMAS, G. C. **Análise teórico-experimental da extração de óleo de soja em instalação industrial do tipo Rotocell**. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa

de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

TIR, R.; DUTTA, P. C.; BADJAH-HADJ-AHMED, A. Y. **Effect of the extractio solvente polarity on the sesame seed oil composition**. European Journal of Lipid Science and Technology, v. 144, p. 1427-1438, 2012.