

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MODELAGEM, SIMULAÇÃO, OTIMIZAÇÃO E
CONTROLE DE PROCESSOS

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO FRUTO DO OURICURI.

Maceió

2015

LUANA TÁSSIA SOUZA DOS SANTOS

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO FRUTO DO OURICURI.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Helena Vieira de Carvalho.

Co-orientador: Prof. Dr. João Inácio Soletti.

Maceió

2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Valter dos Santos Andrade

S237e Santos, Luana Tássia Souza dos.
Estudo das potencialidades do fruto do ouricuri / Luana Tássia Souza dos Santos. – 2015.
83 f.: il.

Orientadora: Sandra Helena Vieira de Carvalho.
Coorientador: João Inácio Soletti.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 76-83.

1. *Syagrus coronata*. 2. Ouricuri - Secagem. 3. Extração por solvente. 4. Extração mecânica. 5. Óleo – Produção. Título.

CDU: 66.047

Luana Tássia Souza dos Santos

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO FRUTO DO OURICURI

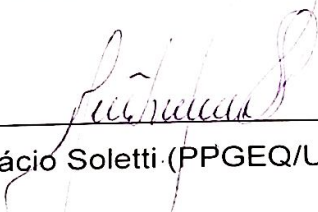
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: Maceió, 09 de outubro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Sandra Helena Vieira de Carvalho (PPGEQ/UFAL – Orientadora)



Prof. Dr. João Inácio Soletti (PPGEQ/UFAL – Co-orientador)



Prof. Dr. Lucas Meili (PPGEQ/UFAL)



Prof. Dr. Alex Barreto Machado (PEQ/UFS)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por realizar todos os meus sonhos. Aos meus pais, Luciano Roberto e Ana Maria, pelo carinho e atenção durante toda minha vida, e aos meus irmãos Thiago Souza e Aline Porangaba, pelo apoio, força, admiração e pela torcida. Aos tios e tias, em especial à Tia Tilde (Anatilde Souza Pereira), Tia Déia (Andréa Souza) e Tia Jó (Josenilda de Albuquerque). Primos, em especial ao Alexandre Lourenço. A Eleonora que é uma irmã. As avós Afra e Gilda. Aos meus padrinhos Rosenilda Vieira e Alexandre Andrade. A minha família como um todo e aos amigos, por sempre torcerem por mim. Ao meu esposo Aaulio Pinheiro pela força e paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), que me ajudou a alcançar os meus objetivos e a concretizar esta etapa em minha vida.

Ao meu mestre, que admiro muito, Professor João Inácio Soletti, pela confiança que me foi depositada, pela força, incentivo, motivação e apoio e à coordenadora do PPGEQ, Professora Sandra Carvalho.

Ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização dos Processos (LASSOP) pelo dinamismo e pela acolhida, além de ser um laboratório de referência. Ao Felipe, técnico deste laboratório, agradeço enormemente, pois a sua contribuição foi imprescindível. A família LASSOP como um todo.

Ao Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Alimentos (LTBA), em especial, à Margarete.

Aos companheiros do Mestrado em Engenharia Química 2014, Danilo, Marcela, Rita, Tiago Nicácio, Anderson, Lívia e o Carlos Eduardo pela ajuda e apoio.

Agradeço aos professores do PPGEQ. Aos professores Lucas Meili e Dayana Coêlho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Energia de Biomassa, na pessoa do Prof. Ricardo Araújo Ferreira Junior.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa que me foi concedida.

A UFAL por me proporcionar a realização dos meus sonhos, ser mestre e servidora.

À Prof^a Tânia Maria Voronkoff Carnaúba, que é mais que uma madrinha, é um anjo que Deus colocou na minha vida.

Agradeço à banca da defesa pela colaboração e disposição.

RESUMO

O ouricuri (*Syagrus coronata*) apresenta alto teor de óleo, é uma árvore rústica, resistente, adaptável e perene. A partir dessas características é possível que ela seja uma matéria-prima promissora para produção de biocombustíveis, através do uso do seu óleo para produção de biodiesel e pela fermentação enzimática da casca para produção de etanol de segunda geração. Este trabalho propõe o estudo da secagem das amêndoas do ouricuri em balança de secagem em três temperaturas (100, 80 e 60°C) com a finalidade de analisar o comportamento da perda de água nessas temperaturas e estudar os processos de extração do óleo. Foram realizadas extrações mecânicas (em prensa hidráulica e prensa elétrica) e por solvente. Na extração mecânica por prensa hidráulica, foram utilizadas as seguintes pressões: 165; 247,5; 330; 412,5 e 495 kgf/cm². A extração com uma pressão de 495 kgf/cm² em termos de volume apresentou maior quantidade de óleo extraído, com 52 ml de óleo em 100 g de amêndoa. Na extração mecânica, por prensa elétrica, foram utilizadas as seguintes pressões: 165; 247,5 e 330 kgf/cm². A extração com uma pressão de 247,5 kgf/cm² foi a melhor em termos de eficiência, chegando a aproximados 75%. Na extração por solvente foram avaliados as variáveis: tempo (2 e 4h); diâmetro médio (1,015 mm e 1,435 mm); e o solvente (hexano e etanol), analisadas estatisticamente observou-se a influência dessas variáveis. O tempo não representou determinação sobre o rendimento, pois em 2 horas já havia sido extraído praticamente todo o óleo da amêndoa. O diâmetro médio de 1,015 mm da amêndoa proporcionou um aumento de 1,57% sobre a quantidade de óleo extraída com 1,435 mm. O solvente etanol apresentou rendimento superior ao hexano em 4,42%. Através desses resultados foi possível desenvolver um modelo do processo de extração por solvente em função das variáveis significantes. O óleo extraído foi caracterizado de acordo com a umidade, densidade, pH e índice de acidez. A densidade do óleo se apresentou acima do limite permitido pela ANP. A casca e a fibra do ouricuri passaram pelo pré-tratamento ácido e hidrotérmico, onde foram caracterizadas de acordo com pH, açucares redutores totais (ART), °Brix, acidez e umidade. O valor do ART da fibra indicou a possibilidade de ser submetida a etapas posteriores de hidrólise enzimática e fermentação para obtenção de etanol de segunda geração.

Palavras-chaves: Ouricuri. Secagem. Extração mecânica. Extração por solvente. Óleo.

ABSTRACT

The ouricuri (*Syagrus coronata*) features high oil content, is a rustic tree, resilient, adaptable and persistent. From these features it is possible that she is a promising raw material for biofuel production, through the use of its oil for biodiesel production and enzyme Peel by fermentation for production of second-generation ethanol. This paper proposes the study of drying of the almonds of ouricuri in balance three drying temperatures (100, 80 and 60° C) for the purpose of analyzing the behavior of water loss in these temperatures and study the processes of oil extraction. Mechanical extractions were carried out (in hydraulic press and electric press) and solvent. On mechanical extraction by hydraulic press, used the following pressures: 165; 247.5; 330; 412.5 and 495 kgf/cm². The extraction with a 495 pressure kgf/cm² in volume showed the highest amount of oil extracted, with 52 ml 100 g of almond oil. In mechanics, for electric press, were used the following pressures: 165; 247.5 and 330 kgf/cm². The extraction with a 247.5 pressure kgf/cm² was the best in terms of efficiency, reaching 75% approximate. In solvent extraction variables were evaluated: time (4:00 and 2); average diameter (1.015 mm and 1.435 mm); and the solvent (hexane and ethanol), analysed statistically observed the influence of these variables. The time was determination on income, because in 2:00 had already been taken from virtually the whole almond oil. The average diameter of 1.015 mm provided an almond 1.57% increase on the amount of oil extracted with solvent ethanol 1.435 mm income higher than that presented in hexane 4.42%. From these results it was possible to develop a model of solvent extraction process in light of the significant variables. The oil extracted was characterized according to the humidity, density, pH and acidity index. The oil density performed over the limit allowed by the ANP. The bark and ouricuri fiber went through the acid and hydrothermal pretreatment, where were characterized according to pH, residual sugars total (ART), ° Brix, acidity and moisture. The value of fiber ART indicated the possibility of being subject to subsequent steps of enzymatic hydrolysis and fermentation for obtaining second-generation ethanol.

Keywords: Ouricuri. Drying. Mechanical extraction. Solvent extraction. Oil.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Geral.....	13
2.2	Específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Os óleos.....	14
3.2	A caatinga.....	16
3.3	A palmeira.....	17
3.4	O fruto.....	17
3.5	Mapeamento da localização dos ouricurizeiros.....	19
3.6	Importância sócioeconômica.....	20
3.7	Geração de produtos provenientes do óleo do ouricuri.....	21
3.7.1	Produção de óleo extra virgem.....	21
3.7.2	Produção de óleo virgem.....	21
3.7.3	Suplemento alimentar.....	21
3.7.4	Aditivo para alimentação de animais.....	21
3.7.5	Produção de biodiesel.....	22
3.7.6	Produção de sabão e sabonetes.....	24
3.7.7	Produção de margarina.....	24

3.8	Geração de produtos provenientes da casca e fibra do ouricuri.....	24
3.8.1	Produção briquetes.....	26
3.8.2	Construção civil.....	26
3.7.3	Produção de etanol de segunda geração.....	26
3.7.4	Artesanato.....	28
3.9	Composição do óleo.....	28
3.10	Característica dos óleos para comercialização.....	29
3.11	Secagem.....	30
3.12	Processos de extração de óleo.....	32
3.12.1	Extração mecânica.....	33
3.12.2	Extração por solvente.....	35
3.12.2.1	Método Soxhlet.....	36
3.12.3	Extração mista.....	37
3.12.4	Solventes.....	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1	Retirada da polpa.....	39
4.2	Fragmentação do endocarpo.....	40
4.3	Caracterização do fruto.....	40
4.3.1	Caracterização do óleo.....	41
4.3.2	Caracterização da casca, fibra e mistura da casca com fibra.....	42

4.3.3	Caracterização da amêndoa.....	44
4.4	Secagem.....	44
4.5	Processos de extração de óleo.....	45
4.5.1	Extração mecânica.....	45
4.5.2	Determinação do teor de óleo do ouricuri (<i>Syagrus coronata</i>) da extração mecânica	47
4.5.3	Extração por solvente.....	47
4.5.3.1	Determinação do teor de óleo do ouricuri (<i>Syagrus coronata</i>) da extração por solvente.....	48
4.5.3.2	Planejamento fatorial completo 2^3 para extração do ouricuri.....	49
4.5.3.3	Planejamento fatorial completo 2^2 para extração do ouricuri grãos inteiros.....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
5.1	Caracterização do fruto.....	50
5.1.1	Caracterização do óleo.....	50
5.1.2	Caracterização da casca, fibra e mistura da casca com fibra.....	50
5.1.3	Caracterização da amêndoa.....	52
5.2	Estudo da cinética de secagem.....	52
5.3	Processos de extração de óleo.....	59
5.3.1	Extração mecânica.....	59
5.3.2	Determinação do teor de óleo do ouricuri (<i>Syagrus coronata</i>) da extração mecânica	63

5.3.2.1	Análise estatística de dados.....	63
5.3.2.2	Análise estatística de dados para os grãos inteiros.....	69
6	CONCLUSÕES.....	73
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

Muitos óleos vegetais podem ser usados para produção de biodiesel e a escolha das matérias-primas deve basear-se em considerações técnicas e econômicas. Nos países pobres com terras semiáridas, é muito importante encontrar culturas adaptáveis que são adequadas para promover uma agricultura sustentável, para fabricar produtos como o biodiesel com preços viáveis (LA SALLES *et al.*, 2010).

A palmeira nativa ouricuri (*Syagrus coronata*) possui, entre outras características, frutos comestíveis e, neles, amêndoas com vasta quantidade de óleo vegetal. Esta palmeira encontra-se, em maior concentração, na região Nordeste, principalmente em regiões semiáridas, tal qual o bioma da caatinga, localizado na maior parte no sertão nordestino e ao norte de Minas Gerais (CREPALDI, 2001).

As fibras das folhas desta palmeira são usadas, inclusive, para fabricação de chapéus. Com resistência ao clima quente e seco, sua incidência é maior no sertão nordestino. Seus frutos, os quais representam ácidos graxos benéficos à saúde humana, fazem parte da alimentação dos cidadãos desta região (SANTOS *et al.*, 2012).

O processamento das amêndoas do ouricuri gera uma quantidade significativa de resíduos sólidos. A casca do ouricuri, assim como a do coco verde e maduro, é constituída por uma fração de fibras (CABRAL, 2015). As fibras são materiais lignocelulósicos obtidos do mesocarpo dos frutos que se caracterizam pela dureza, qualidade de permanecer da mesma forma se submetida às forças de tração e compressão, e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (SILVA *et al.*, 2006).

O fruto possui uma amêndoa com endoderme abundante, ovóide e carnoso. Enquanto não atingir a maturação apresenta o endosperma líquido que se torna sólido no processo de amadurecimento. Na maturação sua coloração varia do amarelo-claro ao alaranjado. Os frutos maduros têm polpa amarela, pegajosa e adocicada. As sementes representam uma quantidade significativa e uma fonte de produtos inexplorados. As amêndoas do ouricuri têm compostos úteis, que podem ser obtidos de seus extratos ou óleos (CREPALDI, 2001; DRUMOND, 2007).

Dentre os métodos de extração de óleos pode-se destacar a extração mecânica e a extração por solvente através do método Soxhlet. O primeiro consiste em extrair o óleo através de prensas hidráulicas que comprimem o material oleaginoso e proporciona o rompimento dos glóbulos de gorduras. O segundo é o processo de lavagem por solventes, devido a afinidade lipídica através da lixiviação.

Vários tipos de indústrias utilizam os óleos como matéria-prima principal de seus processos na obtenção de produtos, com valor agregado, como na produção de margarinas e laticínios em indústrias alimentícias, cremes e emulsões nas indústrias de cosméticos (GRAZIOLA *et al.*, 2002).

A busca por alternativas de combustíveis em substituição ao uso do petróleo, por ser uma fonte fóssil e que remete aos problemas ambientais, a necessidade de encontrar alternativas, o estudo dos óleos vegetais representa uma opção considerável na busca de soluções que sejam viáveis ao uso industrial de produção de biocombustíveis (ABDULKAREEM *et al.*, 2011; RAMALHO E SUAREZ, 2013).

Devido ao grande potencial dos produtos provenientes do ouricuri, este trabalho tem como objetivo analisar a cinética de secagem do grão, que para bons resultados no estudo de compostos e o pré-tratamento, é essencial a escolha apropriada das condições de secagem (MOCELIN *et al.*, 2014).

Foi feita a análise da eficiência dos processos de extração mecânica e por solvente, avaliando as variáveis interferentes como: tempo, diâmetro médio e solvente e realizou-se a caracterização do óleo (ANDRADE, 2014). Além de estudar o pré-tratamento ácido e hidrotérmico para avaliar a possibilidade de obtenção de etanol de segunda geração através dos resíduos do processamento da amêndoa (casca e fibra da polpa).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a eficiência de processos de extração de óleo por prensagem e por solvente, para obtenção de óleo de ouricuri em escala laboratorial.

2.2 Específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram definidos, sempre procurando relacionar a influência dos parâmetros estudados com os processos de extração:

- Caracterizar o fruto do ouricuri;
- Determinar a cinética de secagem da amêndoa do ouricuri;
- Estudo do processo de extração por prensagem mecânica;
- Estudo do processo de extração por solvente e avaliação dos solventes hexano e etanol;
- Identificação dos parâmetros que possam influenciar no rendimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Os óleos

A palavra “lipídio” é derivada do grego *lipos*, que significa gordura (GRAZIOLA *et al.*, 2002). São substâncias fisicamente caracterizadas pela insolubilidade em água e solubilidade em solventes orgânicos (RAMALHO E SUAREZ, 2013). De acordo com a resolução ANVISA-RDC 270 de 2005, são chamados óleos os lipídios que se mantêm líquidos e gorduras os lipídios que se mantêm em estado sólido à 25°C.

Os principais grupos de lipídios são os glicerídeos, que são basicamente os óleos e as gorduras; os fosfolipídios que são componentes das membranas e das células, os cerídeos que são as ceras e os esteroides que são os hormônios. Entre os lipídeos, o grupo conhecido como óleos e gorduras e seus derivados têm maior importância, pois este grupo se caracteriza por ter como principais componentes os ácidos graxos e seus derivados, e foram as primeiras substâncias utilizadas pelo homem para fins não alimentares (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

Os desenhos egípcios contêm a representação do uso dos óleos através das fragrâncias em perfumes. De maneira genérica, os perfumes são soluções que contêm substâncias aromáticas, geralmente de aromas agradáveis. O principal constituinte de um perfume é a essência, que é um óleo essencial. As essências podem ser de origem natural ou sintética. As de origem natural são geralmente extraídas de plantas, flores, raízes ou animais, e as sintéticas são produzidas em laboratório. A extração de uma essência natural é realizada por prensagem, maceração, extração com solventes voláteis ou através de destilação por arraste a vapor que consiste em submeter a matéria-prima a um calor intenso, que provoque a evaporação dos componentes que constituem o perfume, os quais são coletados por um tubo de vidro até que resfriem, sendo adicionadas certas quantidades de álcool e água (GUIMARÃES *et al.*, 2000).

Os gregos utilizavam os óleos para banhar o corpo e depois retirá-lo com espátula para que o óleo “arrastasse” as sujidades do corpo, além de servirem como repelente contra mosquitos. Os óleos também foram utilizados na indústria bélica, pois, serviam como lubrificantes para os armamentos e equipamentos de guerra feitos de madeira (SANTOS *et al.*, 2012).

Na iluminação, à base de óleo de baleia e de foca, os óleos foram bastante utilizados no fim do século XIX, sendo substituídos, posteriormente, pelo petróleo que apresentava valor de mercado mais atrativo na época. Com a busca por alternativas de combustível em

detrimento ao uso do petróleo, por ser uma fonte fóssil e que está associada aos problemas ambientais que o planeta está passando, surge a necessidade de encontrar alternativas competitivas em sua substituição (ABDULKAREEM *et al.*, 2011). Assim o estudo dos óleos vegetais vem sendo uma grande saída para a busca de soluções que sejam viáveis ao uso industrial de produção de biocombustíveis (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

Nos óleos e gorduras, os ácidos graxos apresentam-se livres ou combinados. Sendo os combinados, denominados de monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e triacilglicerídeos (RAMALHO E SUAREZ, 2013). Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos, geralmente monocarboxílicos, que podem ser representados pela forma RCOOH. Sendo o R a denominação de um radical e o COOH, o grupamento carboxílico. Na maioria das vezes, o grupamento R é uma cadeia carbônica longa, não ramificada, com número par de átomos de carbono, podendo ser saturada ou conter uma ou mais insaturações. O grupo carboxila constitui a região polar e a cadeia R, a região apolar da molécula (GRAZIOLA *et al.*, 2002).

Grandes quantidades de derivados de ácidos graxos podem ser encontradas nos óleos e gorduras. Comumente, apresentam 10 ácidos graxos diferentes que estão ligados à glicerina. Alguns seres vivos acumulam óleos e gorduras em tecidos especializados em armazená-lo, como as polpas dos frutos, sementes, peles e ossos. Além disso, algumas espécies microbianas, algas e fungos, possuem organelas que armazenam óleos e gorduras (RAMALHO E SUAREZ, 2013). Desse modo, atualmente, muito está sendo investigando sobre fontes alternativas de obtenção de óleos que não venham a competir com as fontes oleosas alimentícias, como a obtenção de óleo através de culturas aquáticas de microalgas para produção de biodiesel (SCHENK *et al.*, 2008).

De acordo com Graziola *et al.* (2002), os principais tipos de indústrias que utilizam os óleos como matérias-primas fundamentais nos seus processos produtivos são: a Alimentícia, na produção de óleos, margarinas e laticínios gordurosos como a manteiga e creme de leite; a química, na fabricação de tintas, vernizes e lubrificantes automotores; a cosmética e farmacêutica, na produção de cremes, emulsões, perfumes e no aproveitamento de suas atividades biológicas, como o uso dos óleos essenciais que não são produzidos pelo corpo, a exemplo dos ômega 3, 6 e 9, que são extraídos e encapsulados (nutracêuticos) e a de Combustíveis com processamento de biocombustíveis como o biodiesel.

3.2 A caatinga

Bioma genuinamente brasileiro, que está presente no nordeste do Brasil com áreas no Estado de Minas Gerais. Ao contrário do que é disseminada, a caatinga contempla uma riqueza inestimável de vida, de fauna e flora. Seu aspecto é seco e a vegetação da caatinga não apresenta a exuberância verde das florestas tropicais úmidas. Tal aspecto é determinado pela presença de cactos e arbustos o que, erroneamente, sugere uma baixa diversificação da fauna e flora. Na verdade, a Caatinga revela sua grande biodiversidade biológica e uma beleza peculiar (LEAL *et al.*, 2003).

No que se refere à fauna, são conhecidas 97 espécies de répteis e 45 de anfíbios. Dentre as aves, existem espécies endêmicas (restritas à determinada região geográfica), o número não deve ultrapassar 200 espécies. Para os mamíferos, poucos são os estudos (LEAL *et al.*, 2003).

Quanto à flora, a variedade é enorme de grande resistência hídrica para sobreviverem aos períodos de carência de chuvas que as espécies apresentam. Muitas plantas perdem suas folhas para reduzir a perda de água nos períodos de estresse hídrico, renovando-as quando as chuvas chegam de uma forma tão rápida e espetacular que a paisagem muda quase que da noite para o dia; diversas ervas apresentam ciclos de vida anuais, crescendo e florescendo no período das águas; os cactos e bromélias acumulam água em seus tecidos e há uma predominância de arbustos e arvoretas na paisagem. Além disso, existe na Caatinga uma proporção expressiva de plantas endêmicas. Diversas destas plantas são comumente utilizadas pela população por suas propriedades terapêuticas (LEAL *et al.*, 2003; GARIGLIO *et al.*, 2010).

Segundo Leal *et al.* (2003), características dadas referente à alta insolação que abrange essa região, com a mais alta radiação solar, baixa nebulosidade, mais alta média temperatura anual, as mais baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração potencial mais elevada e baixas precipitações médias anuais, sendo necessário um incentivo à produção comercial de variedades irrigadas, a exemplo da região produtora e exportadora de frutas irrigadas no Estado de Pernambuco situado no alto sertão, na cidade de Petrolina.

A vegetação da Caatinga pode ser caracterizada como florestas arbustivas, apresentando árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos (LEAL *et al.*, 2003). A palmeira *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. (“ouricuri”, Arecaceae) pode ocorrer neste bioma em grandes populações (LEAL *et al.*, 2003).

3.3 A palmeira

A *Syagrus coronata* é uma árvore de altura mediana e seu ápice pode ser de 10 metros, apresenta folhas grandes, de 2,0 a 3,0 metros de comprimento, distribuídas em espiral ao longo do fuste, que é a região mais visível do tronco de uma planta, sendo a parte principal do tronco. As flores são pequenas, amarelas, reunidas em cachos que surgem predominantemente entre os meses de maio a agosto (DRUMOND, 2007).

Visualmente é uma planta muito bonita, o que a caracteriza como uma palmeira ornamental e pode ser utilizada para paisagismo (DRUMOND, 2007; SANTOS, 2011). As folhas fornecem cera e palmito, o mesocarpo e amêndoa de seus frutos são comestíveis. As amêndoas produzem óleo para fabricação de uma infinidade de produtos e o endocarpo é utilizado para artesanato. As sementes, quando secas, são de cor escura e de tegumento duro que reveste a amêndoa rica em óleo. Os cachos de frutos do ouricuri têm em média 1.357 unidades; os frutos apresentam comprimento e diâmetro médios de 2,0 cm e 1,4 cm, respectivamente (CREPALDI, 2001).

As palmeiras da família Arecaceae são plantas utilizadas na medicina popular, especialmente da espécie *Syagrus*. A *Syagrus coronata* é utilizada na medicina popular de várias maneiras, dentre elas como colírio, o chá das raízes para dor nas costas (HUGHES *et al.*, 2013).

A palmeira *Syagrus coronata* é uma árvore rústica e que não necessita de tratamentos culturais rebuscados, já que suporta regiões com proeminência de sol forte o dia inteiro e escassez de água (Figura 1).

Figura 1 - Ouricurizeiros no sertão alagoano



Fonte: Acervo pessoal (2015).

3.4 O fruto

De acordo com Drumond (2007), a *Syagrus coronata* possui vários nomes vulgares, como: aricurí, coqueiro cabeçudo, coqueiro dicorí, licuri, licurizeiro, nicurí, ouricuri e urucurí. Sendo o mais comum, no Estado de Alagoas, ouricuri. Seu nome científico é *Syagrus coronata* (Mart.) Becc.

A *Syagrus coronata* é uma espécie da família Arecaceae abundante no semiárido nordestino brasileiro e sua subfamília é a Arecoideae, essa subfamília reúne atualmente 115 gêneros e 1.500 espécies, sendo a maior entre as Arecaceae (DRUMOND, 2007).

O semiárido nordestino apresenta ampla variedade de frutos oleosos, dentre eles o ouricuri se destaca, devido a sua ampla aplicabilidade (SEIXAS E LEAL, 2011), sendo de grande importância socioeconômica para populações rurais já que pode ser obtido o seu óleo para produção de sabões de boa qualidade. A amêndoa seca fornece 38% de um óleo incolor, transparente, de densidade de 0,921 a 15°C (CREPALDI, 2001; DRUMOND, 2007).

O fruto possui uma amêndoa com endoderme abundante, ovoide e carnoso. Enquanto não amadurece apresenta o endosperma líquido, que, após a maturação se torna sólido. O fruto na maturação apresenta-se com coloração variada, do amarelo-claro ao alaranjado. Os frutos maduros têm polpa amarela, pegajosa e adocicada (CREPALDI, 2001).

Em termos constitucionais, o fruto do ouricuri pode ser composto de várias partes, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Corte esquemático de um fruto de ouricuri

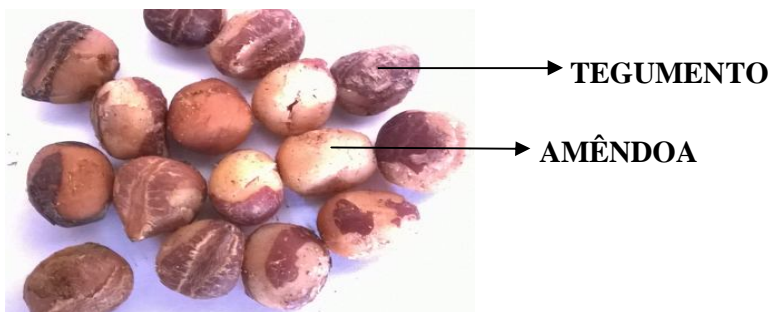


Fonte: Acervo pessoal (2015).

A epiderme é a superfície externa lisa e cêrea, sua cor varia dependendo da variedade e maturidade do fruto; o mesocarpo fibroso: também chamado de cairo ou polpa fibrosa, é a parte intermediária, tem aparência “palha” e geralmente cor castanha; endocarpo, também chamado de cáscara ou casca, tem cor negra, é muito duro e apresenta três costuras longitudinais mais ou menos salientes, separando os três poros germinativos; o albúmen: também chamado de amêndoa, geralmente tem cor branca brilhante (SANTOS, 2011).

O tegumento externo do fruto é uma fina película que recobre a amêndoa. A amêndoa é carnosa e comestível, apresentando 49,2% de óleo, 11,5% de proteína e 13,2% de carboidratos além de cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco (CREPALDI *et al.*, 2001).

Figura 3 - Amêndoas do ouricuri



Fonte: Acervo pessoal (2015).

A Tabela 1 apresenta a composição nutricional da polpa e da amêndoa do ouricuri.

Tabela 1 - Composição da polpa e da amêndoa do ouricuri

Parâmetros analisados	Média e desvio padrão	
	Polpa	Amêndoa
Composição centesimal		
Umidade (%)	77,4 ± 0,16	28,6 ± 0,38
Cinzas (%)	1,4 ± 0,06	1,2 ± 0,01
Lipídeos (%)	4,5 ± 0,3	49,2 ± 0,08
Nitrogênio (%)	0,5	2,2 ± 0,01
Proteínas (%)	3,2	11,5 ± 0,03
Carboidratos totais (%)	13,2	9,7

Fonte: CREPALDI *et al.* (2001).

O teor de umidade refere-se à quantidade de água existente na polpa e na amêndoa, as cinzas são os sais minerais presentes nesse alimento, após o processo de secagem em forno denominado mufla. Os lipídeos são o objeto de interesse deste trabalho. Um alimento que possui nitrogênio auxilia o corpo humano na fundamental atividade de decomposição das proteínas. Já as proteínas são moléculas que revestem o corpo através dos tecidos, fornecendo reparação e energia. Os carboidratos são a fonte de energia primária do corpo (PARK *et al.*, 2007).

3.5 Mapeamento da localização dos ouricurizeiros

De acordo com a Instrução Normativa 191 a Arara Azul de Lear é uma ave que sofre risco de extinção, pelo contrabando de animais silvestres, incidência de fogo, escassez de alimento e práticas de pastoreio de animais onde a palmeira perde lugar na vegetação para as pastagens, sendo a sua principal fonte de alimentação o fruto do ouricuri.

A Instrução Normativa 191 resolve proibir o corte do ouricuri nas áreas de ocorrência natural até que sejam estabelecidas normas de manejo adequadas. Porém, a coleta dos frutos é permitida desde que não ofereça risco à regeneração da planta. Assim como,

somente será permitida a retirada anual de até três folhas verdes por palmeira que deverão estar localizadas na base das suas fileiras de folhas.

Das entidades que façam uso comercial ou industrial da palmeira ouricuri, a título de reposição florestal, o plantio e manutenção até o seu completo estabelecimento, de uma unidade de palmeira ouricuri para o consumo anual de 30 cachos de frutos, ou 300 folhas. Deste modo, caberá aos Estados estabelecer os critérios necessários para a elaboração dos planos de conservação e uso da espécie ouricuri que garantam a sua sustentabilidade e a conservação das populações silvestres em função de sua importância para a fauna nativa.

Com o objetivo de descobrir a localização dos ouricurizeiros a partir das concentrações de Arara Azul de Lear (*Anodorhynchus leari*) pelo mapeamento dos seus sítios de alimentação, um estudo realizado nos municípios de Jeremoabo, Canudos, Euclides da Cunha, Santa Brígida e Paulo Afonso no estado da Bahia, que representam a região “Raso da Catarina”, tida como a mais seca do território baiano, postulou-se como sítios de alimentação, as manchas de ocorrência natural dos ouricurizeiros (SANTOS NETO E CAMANDAROBA, 2008).

Desse modo, 37 sítios de alimentação foram mapeados, totalizando 4,712 hectares, com tamanho médio dos sítios de 127,34 hectares. Calcula-se que os sítios possuam em média 7.439 ouricurizeiros nestes sítios, sendo a maior estimativa encontrada no sítio da BR 110, km 55, com 55.266 ouricurizeiros (SANTOS NETO E CAMANDAROBA, 2008).

Em relação à regeneração natural, 40% dos sítios mapeados não apresentam ocorrência de regeneração. Apenas em 14 sítios (37,8%) foram encontradas árvores altas em qualidade satisfatória para alimentação na ação das sentinelas. Alguns sítios dispõem de alimentação alternativa (umbu) para essas aves. Foi nítida a retirada da lenha em algumas regiões, o que, em geral, é seguida de queimadas, as quais podem comprometer os ouricurizeiros, principalmente juvenis e mudas (SANTOS NETO E CAMANDAROBA, 2008).

3.6 Importância socioeconômica

Os frutos do ouricurizeiro possuem em seu núcleo amêndoas ricas em nutrientes. Estas se constituem como as principais fontes complementares da alimentação de pequenos agricultores de base familiar (GOMES NETO, 2009). Atualmente ainda é abundante no semiárido nordestino brasileiro, porém, o extrativismo predatório está diminuindo muito o número dessas espécies. Como a *Syagrus coronata* não necessita de pré-tratamentos nem de condições especiais para acelerar a germinação, estimular o seu plantio de forma comercial

pode contribuir com o desenvolvimento dessa região (LOPES *et al.*, 2011; BARBOZA *et al.*, 2012).

Otimizar o uso dessa palmeira pode ser viável ao contribuir para melhoria da qualidade de vida da população, tanto com a utilização dos seus frutos na alimentação humana, pois estes apresentam um bom valor nutricional, como também para aumentar o desenvolvimento socioeconômico do semiárido gerando renda para a população pela utilização do óleo de suas amêndoas como fonte para produção de biocombustíveis (SANTOS, 2011).

Sua amêndoa pode ser comercializada na forma descascada *in natura* e a casca se constitui como matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração.

3.7 Geração de produtos provenientes do óleo do ouricuri

Devido ao grande valor nutricional para humanos como recurso de ácidos graxos e sua utilização como componentes de sabões, cosméticos, tintas e combustíveis, os óleos são produtos importantes para estudos e aplicações (PINHO *et al.*, 2009).

3.7.1 Produção de óleo extra virgem

Assim como o óleo de coco e o azeite, o óleo de ouricuri pode ter seu valor agregado a partir do envase do produto resultante da extração à frio, especificamente, a primeira prensagem realizada em prensa hidráulica, com processo posterior apenas de filtração.

3.7.2 Produção de óleo virgem

O óleo do ouricuri resultante da segunda prensagem e à quente, complementado com o posterior processo de filtração, pode ser envasado e comercializado.

3.7.3 Suplemento alimentar

As amêndoas *in natura* ou a torta remanescente da prensagem mecânica podem ser insumo para produção de cocada, paçoca, barra de cereal, biscoitos e farinha (RISSI E JÚNIOR, 2006).

3.7.4 Aditivo para alimentação de animais

Em alguns estudos foram feitas a inclusão de fonte oleaginosa em diferentes níveis de óleo de ouricuri na ração destinada aos caprinos de forma a verificar a capacidade reprodutiva dos mesmos com o auxílio energético do óleo, devido a importância da capacidade reprodutiva dos machos maduros em possuir quantidades necessárias de

espermatozoides viáveis. O óleo de ouricuri pode ser utilizado na dieta alimentar de animais caprinos machos na adição de até 4,5%, sem alteração da morfometria e biometria testicular, (BARBOSA *et al.*, 2012). A torta resultante do processo de extração mecânica também é uma fonte complementar à ração animal e/ou humana.

3.7.5 Produção de biodiesel

Atualmente o apelo ambiental mundial tem gerado uma busca incessante por fontes alternativas de combustíveis de vegetais em substituição aos de origem fóssil. Dessa maneira várias fontes de biomassa foram testadas e validadas quanto a sua aplicação na obtenção de biodiesel como milho, mamona e girassol. O biodiesel de ouricuri pode ser produzido a partir do óleo das amêndoas desta espécie, que possui excelentes características, resultante da sua composição apresentar predominância láurica (SANTOS, 2011).

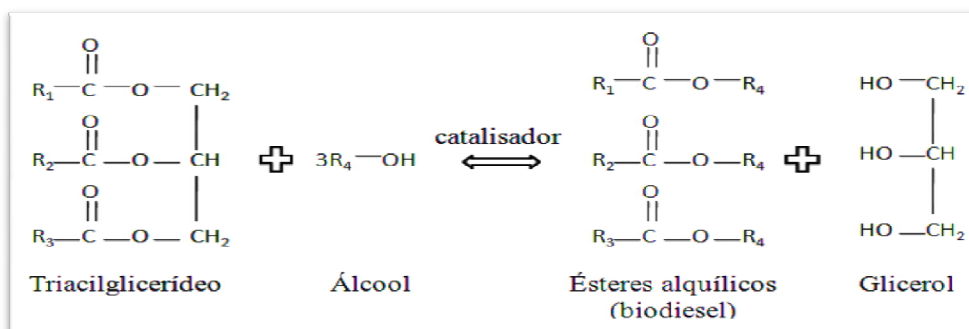
Os ésteres láuricos são compostos de cadeias curtas e não apresentam insaturações na estrutura do ácido láurico, deste modo, facilitam a reação de obtenção do biodiesel e eleva a sua estabilidade oxidativa. O biodiesel de ouricuri pode ser utilizado como aditivo antioxidante em misturas com outros de baixa estabilidade (SANTOS, 2011). Sendo o ouricuri uma amêndoa abundante no semiárido do Brasil e que ainda contém poucos estudos de obtenção de biodiesel através do seu óleo, a obtenção de biodiesel a partir do óleo do ouricuri pode ser viável (BARBOZA *et al.*, 2012).

De fonte vegetal e biodegradável, sendo uma mistura de ésteres sintetizados através da reação de transesterificação, representa uma oportunidade de desenvolvimento e crescimento da população da região semiárida do Brasil, pois devido a disponibilidade de captação da matéria-prima ser facilmente obtida, constitui uma forma de agregar valor a essa espécie, de modo a melhorar a qualidade de vida das pessoas dessa região (SANTOS *et al.*, 2012).

O processo de obtenção do biodiesel por esterificação consiste na reação de um ácido graxo com um mono-álcool para formar ésteres. Outra forma é o craqueamento térmico, ou pirólise, é a conversão de uma substância em outra por meio do aquecimento da substância na ausência de oxigênio a temperaturas superiores a 450°C (ABDULKAREEM *et al.*, 2011; BEVILAQUA, 2011). O método mais utilizado para obtenção de biodiesel é a transesterificação, que consiste na reação de um óleo ou gordura com um álcool, na presença de um catalisador, para produzir um éster e um subproduto, o glicerol (ABDULKAREEM *et al.*, 2011; FERRARI *et al.*, 2005 citado por SANTOS, 2011).

A reação de transesterificação (Figura 4) tem por objetivo realizar a produção de biodiesel e permite a determinação dos rendimentos de óleo em biodiesel em diferentes tempos da reação. A conversão de óleo bruto para a forma de éster é normalmente realizada para reduzir a viscosidade do óleo e eliminar problemas que surgem durante seu uso em motores a diesel (ABDULKAREEM *et al.*, 2011; BEVILAQUA, 2011).

Figura 4 - Reação de transesterificação de óleo vegetal



Fonte: BEVILAQUA, 2011

A reação de transesterificação é uma reação reversível que pode ser catalisada por um ácido, uma base ou uma enzima. Na utilização de ácido obtêm-se maior rendimento que nos demais, porém a atenção deve ser redobrada quanto à corrosão dos equipamentos. Utilizar uma rota básica, apesar da leve diminuição inicial no rendimento, impede problemas maiores com o equipamento. A utilização enzimática é a mais promissora, porém requer um maior investimento. Esta última, permite a obtenção de biodiesel de pH neutro, livre de impurezas remanescentes de reagentes em excesso (BEVILAQUA, 2011).

Em virtude do caráter reversível da reação, faz-se necessário a utilização de um dos reagentes em excesso à reação (álcool), para favorecer a formação do produto desejado, o biodiesel. Mas, mesmo com o álcool em excesso, vários intermediários são gerados paralelamente a formação dos ésteres. Para aumentar a pureza do produto principal é necessária a remoção das impurezas, através da purificação do biodiesel. Esta consiste basicamente de três etapas: decantação, lavagem e secagem. No processo de lavagem são retiradas impurezas presentes no meio como: catalisador, o excesso do álcool utilizado na reação, a glicerina livre residual e sais de ácidos graxos (ABDULKAREEM *et al.*, 2011; BEVILAQUA, 2011).

O óleo da *Syagrus coronata* apresenta um bom rendimento (39%), permitindo a possibilidade da sua aplicação comercial. O resultado da transesterificação, utilizando catalisadores convencionais e metanol, permite que este biodiesel possa ser usado como

combustível em motores diesel, principalmente como uma mistura para outro tipo de biodiesel ou petrodiesel (LA SALLES *et al.*, 2010).

3.7.6 Produção de sabões e sabonetes

De acordo com a composição de ácidos graxos presentes, o índice de acidez e o índice de peróxido para se avaliar a qualidade do óleo, o óleo oriundo da amêndoa do Ouricuri pode ser uma excelente matéria-prima para as indústrias de cosmético e produtos de higiene biodegradáveis (GOMES NETO *et al.*, 2009). Fornece sabões de alta qualidade, tendo em conta que o óleo de ouricuri é considerado o melhor óleo brasileiro para este tipo de produção (BAUER *et al.*, 2013).

3.7.7 Produção de margarina

As margarinas produzidas no Brasil são feitas a partir de óleo de soja, que é rico em ácido linoleico e produz um alto teor de isômeros trans que é insalubre. Óleos com alto teor de ácido oleico são melhores na produção de margarina, pois a adição de óleos com conteúdo de ácido oleico maiores representam vantagem em relação ao óleo de soja neste processo (PINHO *et al.*, 2009).

3.8 Geração de produtos provenientes da casca e da fibra do ouricuri

Em consequência do processo de obtenção do óleo de ouricuri, a casca e a fibra são resíduos abundantes. Em virtude do crescimento no consumo do ouricuri serão geradas grandes quantidades destes resíduos, o que poderá acarretar sérios problemas ambientais.

As cascas do ouricuri poderão ser destinadas aos aterros, sendo, como toda matéria orgânica, potenciais emissores de gases estufa (metano) e, ainda, contribuir para que a vida útil desses depósitos seja diminuída, proliferando focos de vetores transmissores de doenças, odores desagradáveis e possíveis contaminações do solo e corpos d'água, além da inevitável destruição da paisagem urbana (CABRAL, 2015).

O desenvolvimento de alternativas de aproveitamento da casca e fibra do ouricuri possibilita a redução da disposição inadequada de resíduos sólidos e proporciona uma nova opção de rendimento junto aos locais de produção (CABRAL, 2015).

De acordo com Crepaldi (2001) a partir de 1930 a fibra da *Syagrus coronata* já era comercializada para uso nas indústrias americanas e inglesas, têxtil e de papel, pois as suas fibras são flexíveis, quanto a nervura central, e apresentam estruturas finas, sedosas e resistentes, quanto as nervuras secundárias.

As fibras vegetais ou lignocelulósicas podem reforçar compósitos de modo a melhorar a qualidade do produto final, como na produção de tijolos, concreto, painéis e geotêxteis. De modo geral, os estudos referentes a essas fibras visam a atuação na construção civil, indústria de transportes e têxteis, podendo ser usadas em outros ramos industriais com o objetivo de substituir as fibras sintéticas (ABMACO, 2008).

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e são classificados conforme a origem vegetal e mineral. Com a grande diversidade da flora mundial e por se constituir de fontes renováveis, o uso das fibras vegetais deve ser incentivado (AQUINO, 2008). A natureza é abundante em espécies que fornecem fibras (OLIVEIRA, 2010).

Como pesquisas sobre a fibra do ouricuri são poucas, o custo e a escassez de recursos não renováveis utilizados no reforço de compósitos com fibras sintéticas incentivam a pesquisa de novos materiais lignocelulósicos (OLIVEIRA, 2010).

A casca do ouricuri, assim como a do coco verde e maduro, é constituída por uma fração de fibras (CABRAL, 2015). As fibras são materiais lignocelulósicos obtidos do mesocarpo dos frutos que se caracterizam pela dureza, qualidade de permanecer da mesma forma se submetida às forças de tração e compressão, e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (SILVA, 2006).

As propriedades mecânicas das fibras vegetais são inferiores às das fibras sintéticas, motivo pelo qual houve a referência da maior utilização pelas fibras sintéticas nas décadas de 1970 e 1980, pois ofereciam maior economia (OLIVEIRA, 2010). As fibras ou resíduos de fibras produzidas industrialmente podem vir a substituir a madeira (AQUINO, 2003), pois, sua extração ainda é predatória.

Pesquisas relacionadas com a intenção de avaliar as características da fibra do ouricuri contribuem para o conhecimento acerca das propriedades e da microestrutura, de forma a averiguar as diversas possibilidades oferecidas pela fibra do ouricuri, almejando que haja produção de materiais de construção de baixo custo que venha a gerar maiores benefícios aos vários segmentos e à população (OLIVEIRA, 2010).

As fibras vegetais são constituídas basicamente de hidrocarbonetos, sendo os principais a celulose, a hemicelulose e a lignina, podendo a composição química variar ligeiramente, de acordo com a região de cultivo, tipo e condições de solo, idade, condições climáticas e período de coleta (CARVALHO, 2005).

Atualmente ainda não existe uma tecnologia de aproveitamento da casca e fibra do ouricuri. Em analogia com a fibra do coco, que é empregada pela indústria em diversas aplicações, como estofamento de veículos, colchões, tecidos, mantas geotêxteis, substrato

agrícola, entre outros. A caracterização da fibra do ouricuri é necessária para abertura dos mercados para esta espécie vegetal (MATTOS, 2011).

A casca e fibra extraídas do ouricuri podem apresentar inúmeras possibilidades de uso, pois são material ecológicos, facilmente recicláveis (OLIVEIRA, 2010). A seguir, são apresentadas algumas alternativas para aproveitamento da casca e fibra do ouricuri.

3.8.1 Produção de briquetes

O aproveitamento das cascas de materiais fibrosos para produção de briquetes reduz os impactos causados com a disposição destas cascas e ainda contribui para a preservação da vegetação nativa, devido à substituição da lenha por este produto (SILVEIRA, 2008).

Os briquetes são fabricados para satisfazer as caldeiras de estabelecimentos e indústrias que utilizam lenha ou bagaço de cana para gerar energia, através da combustão, substituindo-os, impactando na redução de custos. Os briquetes contribuem para o controle do desmatamento e da poluição, já que uma grande quantidade de resíduo que seria descartado pode ser aproveitada (FIEC, 2003).

3.8.2 Construção civil

A fibra de ouricuri pode ser um material compósito que venha a contribuir com a qualidade de materiais como em pré-moldados (PEREIRA, 2012).

No Brasil, a utilização da fibra de ouricuri na construção civil pode criar possibilidades no avanço da questão habitacional, devido a redução do uso e do custo de materiais, envolvendo a definição de matrizes que inter-relacionam aspectos políticos e socioeconômicos (ALVARENGA, 2012).

3.8.3 Produção de etanol de segunda geração

A busca por fontes alternativas de energia vem incentivando o desenvolvimento de pesquisas na produção de biocombustíveis. A biomassa proveniente de resíduos agroindustriais pode apresentar como vantagens seu reaproveitamento, resolver o problema de descarte e oferecer um baixo custo de produção (SILVA, 2014). Biomassa é qualquer matéria de origem vegetal que dispõe de energia acumulada em sua constituição química e que pode ser processada para fornecer energia adequada para o uso final (SILVA, 2014).

O etanol de segunda geração nada mais é do que o combustível produzido a partir de materiais lignocelulósicos, utilizando como matérias-primas biomassas, como os resíduos

agroindustriais a exemplo da palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, palha e bagaço do milho, além de resíduos florestais, como pó de serra (CABRAL, 2015).

A avaliação do pré-tratamento, entre o ácido e o hidrotérmico, de resíduos do processamento de ouricuri pode ser um indicativo para a obtenção do etanol de segunda geração.

O pré-tratamento consiste na alteração e/ou remoção da hemicelulose e/ou lignina da biomassa, promovendo uma maior reatividade da fibra e diminuindo o grau de polimerização e a cristalinidade da celulose (MOSIER *et al.*, 2005), preserva-se a utilização da fração hemicelulósica e não são liberados compostos que venham a inibir significativamente o processo (LYND, 1996).

O pré-tratamento da biomassa pode ser físico, químico, biológico ou uma combinação deles, que dependerá do grau de separação requerido e do fim proposto (CAPEK-MENARD *et al.*, 1992).

O pré-tratamento físico consiste na diminuição do diâmetro da partícula visando uma maior superfície de contato, rompendo-se a parede celular da planta e melhorando o acesso enzimático para os polissacarídeos (KIM E HOLTZAPPLE, 2006). Os métodos químicos utilizam algum agente químico como catalisador, seja como um ácido ou uma base. Os físico-químicos são uma associação entre um efeito químico e um físico, como a termólise ou explosão com amônia. Os pré-tratamentos biológicos ocorrem quando o material lignocelulósico é submetido ao tratamento com enzimas ou microrganismos (SILVA, 2014).

Os processos mais utilizados são o ácido diluído, alcalino e hidrotérmico, pela rentabilidade do processo (SILVA, 2014). O ácido sulfúrico diluído é o ácido mais utilizado, que hidrolisa grande parte da fração hemicelulósica para o meio, o qual, dependendo das concentrações de ácido empregadas, também libera celulose, em maior ou menor grau, além de outros componentes, como a pectina e proteínas hidrossolúveis (SILVA, 2014).

Processos alcalinos de pré-tratamento utilizam condições moderadas de operação (temperatura e pressão) em comparação a sistemas ácidos. O principal efeito consiste na remoção da lignina da biomassa, promovendo maior reatividade da fibra. O álcali, geralmente soda ou cal, faz a cristalinidade da celulose decrescer, enquanto ocorre um aumento da superfície específica de contato e da porosidade da mesma (BAUDEL, 2006; SILVA, 2014).

O pré-tratamento hidrotérmico utiliza água em contato com a biomassa por 15 minutos a temperatura de 230°C, por cerca de 40 a 60% da biomassa total dissolvida no processo, com 4 a 22 % da celulose, 30 a 60% da lignina e toda a hemicelulose removida (MOSIER *et al.*, 2005).

Após o pré-tratamento são realizadas as etapas de hidrólise enzimática do sólido insolúvel em água; fermentação da fração líquida (para verificar se há a necessidade de uma diluição pela presença de inibidores do crescimento microbiano); fermentação do hidrolisado obtido a partir do sólido insolúvel e a verificação da disponibilidade de se obter produtos de valor agregado das frações dos pré-tratados (AGBOR *et al.*, 2011).

3.8.4 Artesanato

O ouricuri é muito utilizado para fabricação artesanal de abano, bolsa, cesta, chapéu, corda, esteira, peneira, tapete e vassoura (SANTOS *et al.*, 2012).

3.9 Composição do óleo

O óleo do ouricuri pode ser uma excelente matéria-prima para as indústrias de cosméticos, produtos de higiene biodegradáveis e para a produção de biocombustíveis (NETO, *et al.*, 2009). A Tabela 2 apresenta a composição dos principais ácidos graxos dos lipídeos da amêndoa do ouricuri.

Tabela 2 - Composição dos principais ácidos graxos dos lipídeos da amêndoa do ouricuri

Ácido graxo	Composição %
Caprílico (8:0)	24,68
Cáprico (10:0)	13,94
Láurico (12:0)	36,43
Mirístico (14:0)	7,15
Palmítico (18:0)	3,98
Esteárico (18:0)	3,05
Oleico (18:1)	4,08
Linoleico (18:2)	1,02

Fonte: NETO *et al.* (2009).

Em complemento, La Salles *et al.* (2010) apresentam a composição dos lipídios para o óleo de ouricuri, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição de ácidos graxos do óleo de ouricuri

Ácido graxo	Composição (%)
Caprílico (8:0)	9,0
Cáprico (10:0)	6,0
Láurico (12:0)	42,0
Mirístico (14:0)	16,0
Palmítico (18:0)	8,0
Esteárico (18:0)	4,0
Oleico (18:1)	12,0
Linoleico (18:2)	3,0

Fonte: LA SALLES *et al.* (2010).

Percebe-se resultados melhores para os ácidos linoleico e oleico, este conhecido como ômega 9, ácido graxo que auxilia na construção da membrana celular, está presente na epiderme e protege contra a desidratação da pele e aquele, conhecido como ômega 6, são necessários para manter sob condições normais, as membranas celulares, as funções cerebrais, transmissão de impulsos nervosos (GRAZIOLA *et al.*, 2002).

A qualidade dos óleos é avaliada pela determinação dos índices de acidez, peróxidos, saponificação e insaponificação, este último refere-se aos ácidos graxos remanescentes à reação de insaponificação, não voláteis a 100-105°C (SEIXAS E LEAL, 2011).

Tabela 4 - Principais propriedades físicas do óleo de Ouricuri

Propriedades físicas	
Índice ácido	1,4%
Densidade a 20 °C	920 kg/m ³
Viscosidade Cinemática a 40 °C	23,4 mm ² /s
Índice de iodo (g I ₂ /100 g)	18,5

Fonte: LA SALLES *et al.* (2010).

Os óleos que apresentam alto grau de acidez são de qualidade inferior e indicam baixa qualidade da matéria-prima, que apontam ao manejo inadequado e falta de controle durante o processamento (SEIXAS E LEAL, 2011). A Tabela 5 apresenta a caracterização físico-química do óleo de ouricuri.

Tabela 5 - Caracterização físico-química do óleo de ouricuri

Índice	Resultado
Saponificação	208,01 mgKOH/g
Acidez	2,7525 mgKOH/g
Peróxido	5,8 meqg/Kg
Insaponificação	0,24%

Fonte: SEIXAS E LEAL (2011).

O índice de peróxidos juntamente com acidez são indicativos de rancidez hidrolítica. Outro fator determinante da qualidade dos óleos é o índice de saponificação, que é a presença de óleos e gorduras com alta proporção de ácidos graxos e quanto maior este índice, mais indicativo de óleo com baixo peso molecular e mais se prestam para alimentação humana (SEIXAS E LEAL, 2011).

3.10 Características dos óleos para comercialização

Para a comercialização do óleo deve-se seguir um padrão determinado por normas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Algumas características são avaliadas com intuito de verificar a qualidade e garantir a comercialização.

Pode-se citar parâmetros tais como: umidade, densidade e índice de acidez (ANDRADE, 2014).

Considera-se que o óleo estará dentro das especificações para a produção de biodiesel, quando a umidade se apresentar abaixo de 0,5% e a acidez abaixo de 2 mg de KOH/g óleo (FERNANDES, 2010).

A densidade de uma substância é a relação existente entre o peso de um determinado volume de matéria e o peso de igual volume da água por unidade de volume a 25°C sendo aplicável a todos os óleos e gorduras líquidas (FERNANDES, 2010).

3.11 Secagem

A secagem é um processo físico caracterizado pela remoção de uma substância volátil, em geral a água, a partir de um material sólido. A porção de água contida no sólido é denominada de umidade (PARK *et al.*, 2007). A secagem de um material sólido qualquer proporciona a redução de volume e peso, facilitando o armazenamento e transporte, agregando valor (MENEZES *et al.*, 2013).

De acordo com Santos *et al.* (2010) a secagem pode se classificar em: natural, quando é baseada na ação dos ventos e do sol; e artificial, quando executada com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas e o ar que passa através do material é forçado.

A secagem natural pode apresentar menores custos para a secagem de quantidades pequenas de materiais. No entanto, necessita do intensivo uso de mão-de-obra, uma vez que as operações geram baixo rendimento e o processo é totalmente dependente das condições climáticas disponíveis (SANTOS *et al.*, 2010).

O abastecimento de calor para evaporar a umidade do material é essencial durante a secagem. Essa provisão de calor para o material úmido causará a evaporação da água do material e, após, a transferência de massa puxará o vapor criado e seu comportamento é caracterizado pela análise das mudanças de umidade em função do tempo (PARK *et al.*, 2007; MENEZES *et al.*, 2013).

Há dois fenômenos acontecendo conjuntamente quando um sólido úmido é sujeito à secagem: a transferência de energia (calor) do ambiente para o sólido, a qual é responsável por evaporar a umidade superficial. Tal transferência resulta das condições externas como temperatura, umidade do ar, direção e fluxo do ar, superfície de contato do sólido e pressão; o outro fenômeno é a transferência de massa (umidade), que ocorre de dentro do sólido para a superfície e imediatamente segue sua evaporação decorrente da transferência de calor. Esse

movimento interno da umidade no sólido pode ser descrito pela sua natureza física, temperatura e conteúdo de umidade (PARK *et al.*, 2007; MENEZES *et al.*, 2013).

Secagem é um método bem estabelecido de conservação de alimentos, promovendo a conservação das propriedades físicas e químicas durante um longo período de tempo, desde que os baixos níveis de água no sólido seco impedem a ação enzimática e também evitar o crescimento de microorganismos. No entanto, a exposição dos materiais de secagem de ar quente pode causar sua degradação. As variáveis-chave no processo de secagem são o tempo de secagem, temperatura e atividade de água inicial e final. Seus valores são determinantes para a qualidade do produto final (MOCELIN *et al.*, 2014).

Existem mecanismos de transferência de massa que explicam a migração de umidade do material para sua superfície, esses mecanismos determinam a dificuldade de secagem dos materiais. Na secagem, apenas haverá evaporação de água da superfície do material ao ambiente se a água for transportada do interior do sólido até a superfície. Entre os mecanismos, a difusão líquida ocorre devido à presença do gradiente de concentração; a difusão de vapor, devido ao gradiente de pressão de vapor, originado pelo gradiente de temperatura; o escoamento de líquido e de vapor, devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e elevada temperatura. Estas ponderações fornecem alguns fundamentos da secagem, embora estejam distantes de uma única descrição teórica que generalize os tratamentos da secagem (PARK *et al.*, 2007; MOCELIN *et al.*, 2014).

Há alguns efeitos colaterais durante a secagem, como a diminuição da velocidade do processo quando um soluto como o açúcar de uma fruta, que se encontra depositado na superfície, forma uma crosta, ou como o encolhimento de materiais de origem biológica que causa o endurecimento de sua superfície por sofrer o impacto da secagem de tal forma que o material se deforma e se fissa. Tendo como exemplos as fissuras durante a secagem do macarrão e a do arroz (PARK *et al.*, 2007).

Por meio da secagem, é possível ser determinada a cinética de secagem, a qual procura determinar o comportamento do material sólido, sendo representada pelas curvas e taxa de secagem (MENEZES *et al.*, 2013).

A umidade do óleo é definida como sendo o valor percentual de água não combinada na amostra. Um óleo com baixo percentual de umidade apresenta melhor qualidade, maior durabilidade e viscosidade (ANDRADE, 2014). Em excesso, a umidade pode favorecer a reação de hidrólise, a qual quebra as ligações do éster, permitindo a formação de ácidos graxos livres e o aumento da acidez, que por sua vez, favorece a saponificação, consumindo o

catalisador e reduzindo a eficiência da reação de transesterificação alcalina (ANDRADE, 2014).

Do processo de extração de óleo por prensagem mecânica é obtido o óleo, porém este óleo contém um teor de umidade, que de acordo com a resolução da ANP 45/2014, não deverá ser superior a 0,5%. Desta maneira, a secagem da amêndoa utilizada na extração deve ser eficiente para que o teor de umidade do óleo obtido não seja superior ao desejado.

No entanto, a fim de manter as propriedades do produto, evitar a degradação e contaminação e para maximizar o potencial de uso de amêndoas de ouricuri, é muito importante avaliar um pré-tratamento, tal como o processo de secagem. Então, deve ser observado que o conhecimento da cinética da secagem é de inquestionável importância para o desenvolvimento de modelos de processo e também para compreender os mecanismos de remoção de umidade (MOCELIN *et al.*, 2014).

3.12 Processos de extração de óleo

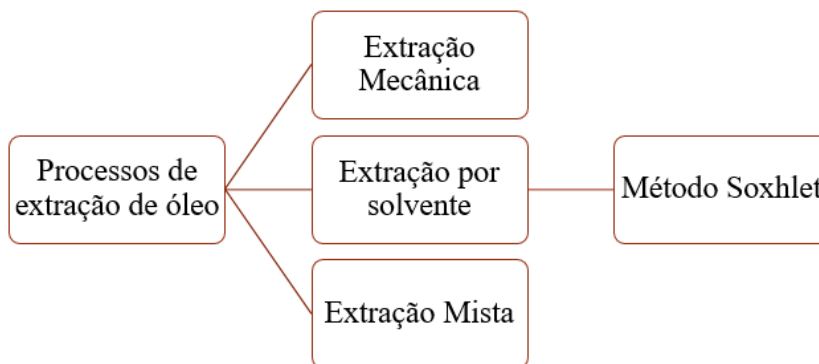
O óleo vegetal pode ser extraído a partir de uma infinidade de vegetais e cada variedade de oleaginosas apresentam diferentes teores em óleo. O óleo se encontra na forma de glóbulos e está presente nas células das oleaginosas. Para que seja possível extraí-lo é necessário que haja uma ruptura da membrana das células, que permite a saída dos glóbulos (CAVALCANTE, 2013).

Os principais objetivos da extração são a obtenção do óleo sem alterações e impurezas, com o máximo de rendimento e a obtenção de uma torta de alta qualidade. Então, realiza-se a extração com o fim de isolar o óleo da matriz oleosa (CAVALCANTE, 2013).

As características do óleo podem mudar de acordo com o método utilizado e dependendo das condições à qual ele é submetido quando da utilização da técnica é utilizada (PEREIRA, 2009).

Contudo, devido a diversidade dos tecidos que armazenam as substâncias graxas, são verificadas algumas formas de extração dos óleos das diversas fontes oleaginosas, sendo possível identificar algumas operações unitárias básicas envolvidas na extração: prensagem mecânica e a extração por solvente. Os óleos ou gorduras obtidos geralmente passam por processos posteriores de purificação, para ajustar as suas propriedades físico-químicas (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

Figura 5 – Esquema dos processos de extração de óleo



Fonte: Autor (2015).

O óleo do ouricuri pode ser obtido por processos como a prensagem mecânica e a extração por solvente (Figura 5). O primeiro é um método mais popular e antigo e apresenta menor rendimento com a formação de uma torta rica em óleo. A extração por solvente, por sua vez, apresenta um alto rendimento com pouco óleo residual. A prensagem mecânica requer menor tempo que a segunda, que devido aos processos de difusão e dissolução necessitam de um tempo maior para extração (ANDRADE, 2014).

Nas primeiras décadas do século XX as prensas eram utilizadas para extração de óleos, sendo o método mais antigo e popular para extrair o óleo das sementes oleaginosas que, apesar de ser extraído um óleo de boa qualidade, deixavam resíduos no material sólido (SINGH E BARGALE, 2000). Tais resíduos implicavam na perda de óleo, afetando a qualidade da torta, que se constitui como um dos produtos efluentes do extrator (ANDRADE, 2014). Atualmente, a quantidade de solvente usada pelas indústrias em processos de extração convencional é estimada em, aproximadamente, um milhão de toneladas por ano (PEREIRA, 2009).

3.12.1 Extração Mecânica

O processo por prensagem mecânica é realizado através de prensas contínuas de alta pressão que podem ser usadas com pequenas e rápidas adaptações, para vários tipos de oleaginosas (THOMAS, 2003). A eficiência deste método é inferior ao da extração por solvente, sendo afetado diretamente pelas condições iniciais dos grãos, como o teor de umidade e temperatura (CAVALCANTE, 2013).

A massa de grãos é inserida na prensa, onde serão comprimidos a uma dada pressão, que provoca uma ruptura das paredes celulares permitindo que os glóbulos se rompam e o óleo escape (CORREIA, 2009). A amêndoa para ser submetida a este processo precisa ter

mais de 30% de óleo na sua composição (RAMALHO E SUAREZ, 2013). A prensa hidráulica possui um pistão diretamente ligado a um cilindro hidráulico que comprime a oleaginosa colocada em um vaso em formato cilíndrico (ANDRADE, 2014).

O óleo oriundo dessa extração, denominada extração a frio, é o óleo bruto ou cru, conhecido como óleo extra virgem. Da segunda prensagem da torta remanescente, submetida ao aquecimento a aproximadamente 70°C, obtêm-se o óleo virgem. O extra virgem apresenta uma qualidade superior tendo em vista que quando o óleo é submetido a uma temperatura mais alta ocorrem reações de hidrólise e degradação térmica dos triacilglicerídeos, aumentando a acidez do produto, com maior teor de ácidos graxos livres (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

A extração mecânica também pode ser realizada por prensas contínuas tipo “*expeller*” que são equipamentos que se utilizam de roscas helicoidais, onde os frutos ou grãos entram em parafusos do tipo rosca sem fim onde são comprimidos e empurrados, sendo movimentados para frente, onde o óleo é expulso lateralmente e é filtrado ao passar por uma tela, já a torta segue na direção horizontal. Na saída da prensa há um cone que pode ser regulado de forma a determinar a quantidade do material que será expelido da fonte oleosa e determina a pressão exercida no interior da prensa (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

Como resultados da prensagem mecânica são obtidos dois produtos: a torta, que é a parte sólida que fica no interior da prensa e o óleo bruto, que pode passar por outro equipamento chamado de filtro-prensa. Finalizada esta etapa, a torta resultante segue para a extração por solvente, enquanto que o óleo bruto poderá ser envasado ou seguir para etapas posteriores de purificação. Algumas fontes oleaginosas contendo menos de 30 % do peso dos grãos de material graxo não passam pelo processo de prensagem mecânica e os grãos após torrados e moídos são submetidos diretamente ao processo de extração por solvente (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

As prensas apresentam uma série de vantagens. A operação em uma prensa mecânica é simples, não exigindo mão-de-obra qualificada para seu manuseio, pois, é um sistema facilmente adaptável a diversos tipos de oleaginosas, bastando para isso alguns simples ajustes mecânicos, e todo o processo de expulsão do óleo é contínuo e feito em um curto espaço. O rendimento médio de retirada de óleo de aproximadamente 85% (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

3.12.2 Extração por solvente

A extração por solvente é uma operação unitária simples e foi aplicada pela primeira vez em 1835 por Robiquet para extração de compostos de flores (HUI E JOHN, 2007, citado por ANDRADE, 2014). Os componentes contidos na matriz sólida são extraídos dissolvendo-os em um solvente líquido, este processo também é conhecido por lixiviação ou extração sólido-líquido. A solução resultante é chamada de miscela (óleo + solvente) que é removida do extrator e encaminhada para um evaporador para a remoção do solvente. Depois que o solvente é removido completamente, obtém-se um extrato concentrado (PEREIRA, 2009).

A extração por solvente visa a retirada do óleo da torta remanescente do processo de prensagem mecânica e/ou das amêndoas compostas por quantidade inferior a 30% de óleo em sua composição, como a soja. O rendimento médio de retirada de óleo é em torno dos 95%. Usualmente o material a ser extraído é triturado e laminado, para facilitar a penetração do solvente. O óleo surge no material submetido à extração na forma de uma camada ao redor das partículas das sementes trituradas e laminadas onde é recuperado por processo de simples dissolução e na forma contido em células intactas, que é removido do interior destas por difusão (CAVALCANTE, 2013).

Quando o solvente entra em contato com a fonte oleosa há a solubilização do óleo no solvente através da dissolução por simples contato entre as células vegetais destruídas durante a prensagem ou moagem, ou ocorre a difusão, onde o óleo atravessa lentamente as paredes semipermeáveis das células intactas para o meio líquido (RAMALHO E SUAREZ, 2013).

O processo de extração de óleo por solvente é muito eficiente e independe do teor de óleo inicial a ser extraído. Com esse método é possível um completo desengorduramento da matriz oleosa, produzindo um resíduo com menos de 1% de óleo (CORREIA, 2009).

Durante a extração, a velocidade do desengorduramento da semente no começo é muito rápida, desacelerando com o decorrer do processo (MORETTO E FETT, 1998). Os componentes contidos em uma matriz sólida são extraídos dissolvendo-os em um solvente líquido, como o hexano, acetona, clorofórmio e éter de petróleo, por exemplo. O solvente mais utilizado é o hexano, principalmente por apresentar baixo ponto de ebulição que diminui a decomposição do óleo. Porém é altamente inflamável e apresenta alto custo.

Este método é realizado quando se deseja obter compostos retidos na matriz do alimento utilizando-se um solvente que irá permear o sólido e solubilizar os compostos que, por difusão, serão transportados até a interface externa do sólido, de onde a mistura rica no soluto migrará por convecção para a solução. A extração depende do sólido e do solvente selecionado, salientando que a utilização de diferentes solventes resulta na obtenção de

extratos com diferentes concentrações dos constituintes. Neste sentido, o processo de extração é, frequentemente, influenciado pela temperatura, tamanho da partícula de sólido, proporção entre solvente e soluto e tempo de extração (CAVALCANTE, 2013).

O óleo bruto pode passar por etapas posteriores de refino para ser consumido. A soja, por exemplo, que em sua forma bruta possui diversos contaminantes como os ácidos graxos livres, fosfolipídios como a lecitina que promovem emulsões estáveis com água, e tocoferol que confere odor e gosto extremamente desagradáveis. Assim, para torná-lo adequado para uso em alimentação humana, ou para diversos processos industriais, o óleo bruto deve passar por um refino, onde estas impurezas são retiradas (MORETTO E FETT, 1998).

O extrator Soxhlet é usado para extração de substâncias sólidas por solventes químicos. Nessa extração o sistema permite que certa quantidade do solvente puro passe várias vezes na amostra formando um ciclo. Cada ciclo corresponde a uma lavagem, teoricamente total da amostra sólida (OLIVEIRA *et al*, 2011). Nesta extração, a matriz vegetal moída é colocada num recipiente de vidro através do qual é feito passar o solvente orgânico.

3.12.2.1 Método Soxhlet

A torta remanescente do processo de prensagem mecânica é acondicionada em envelopes feitos a partir de papel de filtro, e inseridos na tubulação própria do equipamento Soxhlet.

A extração ocorre quando o solvente contido no balão é aquecido produzindo vapor, que é conduzido ao topo do tubo extrator, sendo condensado. Este entra em contato com a amostra no cartucho armazenada no tubo extrator. O contato entre a amostra e o solvente promoverá a difusão deste para o interior da célula e a dissolução do óleo no solvente (ANDRADE, 2014).

Este é um processo realizado em bateladas contínuas, ou seja, uma quantidade de *inputs* (entradas) é adicionada ao processo e passa por uma transformação, nesse caso as entradas são as fontes oleosas e o processo de transformação consiste na extração, e o resultado desse processo é o *output*, ou saída do processo, sendo o resultado, gerando dois produtos, a miscela e a torta desengordurada, onde há acúmulo de solvente junto à amostra. (ANDRADE *et al*, 2015).

3.12.3 Extração Mista

O processo denominado misto se refere à combinação do sistema de prensagem com o sistema de extração por solvente. O consumo de energia desse tipo de processo está em torno de 46,0 kWh de energia por tonelada e o residual de óleo na torta é de 1,1 a 1,4%, valores também relacionados a soja. O processo de extração por solvente é o mais amplamente utilizado e o mais eficiente em termos de consumo de energia e residual de óleo na torta. Este consome energia em torno de 20 a 25 kWh de energia por tonelada de soja e gera um residual de óleo na torta em torno de 0,8% (SANTOS, 2013).

3.12.4 Solventes

O solvente ideal deve apresentar alta solubilidade em óleo em baixas temperaturas, alta seletividade na substância a ser extraída, ser quimicamente inerte, ter baixa viscosidade, ser facilmente removido por completo do farelo e do óleo, possuir baixo ponto de ebulição, ser imiscível em água e ser pouco poluente (CORREIA, 2009).

O hexano é o solvente orgânico mais utilizado no processo de extração por ser o mais seletivo, possuir estreita faixa de ebulição e ser imiscível com a água, o que evita misturas azeotrópicas (MORETTO E FETT, 1998). No entanto, apresenta alta inflamabilidade, alto custo e o potencial poluidor, o que justificam o estudo de alternativas de substituição ao seu uso (PEREIRA, 2009).

O etanol pode ser uma alternativa ao processo de extração. Além de ser produzido através de fontes renováveis, oferece menor risco operacional do que o hexano, pois apresenta temperatura maior de inflamação e toxicidade mais baixa (PEREIRA, 2009).

A análise do solvente é relevante para uma melhor extração, além disso, deve-se analisar a granulometria da semente. Para reduzir a resistência à transferência de massa no interior das partículas sólidas e, conseqüentemente, aumentar o rendimento de extração, reduz-se o tamanho das partículas de modo a aumentar a área de contato sólido/solvente e diminuir a distância que o soluto deve percorrer no interior da partícula porosa (PEREIRA, 2009).

O Quadro a seguir apresenta de maneira genérica as vantagens e desvantagens dos diversos solventes utilizados para processos de extração por solvente.

Quadro 1 - Principais vantagens e desvantagens dos solventes alternativos

Tipo de Solvente	Principais Vantagens	Principais Desvantagens
Etanol	Solvente seguro e biorenovável	Menor poder de solubilização em comparação ao hexano
Isopropanol	Possui um poder maior de solubilização que o etanol, sendo também biorenovável	Menor poder de solubilização em relação ao hexano
Solvente misto (isohexano e etanol; isohexano e isopropanol)	Alto poder de solubilização do óleo e extração de gossipol	Dificuldade de manipulação e recuperação de solventes mistos em material industrial
Solvente misto (hexano e ácido acético)	Maximização da capacidade extrativa de lipídeos e fosfolipídios	Dificuldade de manipulação e recuperação de solventes mistos em material industrial
Solvente misto (acetona e hexano)	Aumento da capacidade de extração de gossipol	Torta com odor desagradável devido a presença de acetona.

Fonte: SANTOS (2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização dos Processos (LASSOP), Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Alimentos (LTBA) e Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). As amostras de ouricuri foram recolhidas no município de Maceió no estado de Alagoas. As mesmas foram armazenadas em geladeira convencional, impedindo a ação de microrganismos que pudessem causar a deterioração da polpa e permaneceram sob baixas temperaturas por 24 horas até que fosse iniciado o processo de pré-tratamento.

4.1 Retirada da polpa

Os frutos *in natura* foram submetidos ao processo de retirada da polpa, através da remoção da camada que envolve o endocarpo, utilizando a máquina despulpadora vertical (ENGMA, 220 V, 1,5 HP) (Figura 6). Seu processo de produção é em batelada, alimentada com uma média de 1 kg de ouricuri na parte superior (Figura 6-A). A polpa é liberada pela parte inferior (Figura 6-C), enquanto que o ouricuri despulpado é recolhido a partir da saída lateral (Figura 6-B).

Figura 6 - Despulpadora



Fonte: Acervo pessoal (2015).

O motor aciona duas pás internas que são responsáveis por atritar o ouricuri em uma superfície de tela. O poro da tela inferior possui um diâmetro de aproximadamente 10 milímetros e permite a separação da polpa, material mais maleável e fibroso. A liberação da amêndoa do endocarpo (casca) ocorre a partir de uma fragmentação.

4.2 Fragmentação do endocarpo

Antes de se iniciar a separação do endocarpo (casca) da amêndoa, o fruto deve permanecer durante 7 (sete) dias na estufa, a uma temperatura média de 60°C. Esse período permite que a amêndoa se desprenda da casca rígida que a envolve. A fragmentação do endocarpo permite que a amêndoa seja separada do mesmo e desta forma encaminhada para a extração de óleo. O equipamento responsável pela fragmentação do endocarpo é conhecido como quebra-coco: um fragmentador de rolos cilíndricos (Figura 7), onde a distância entre os rolos permite a adaptação para os diversos tamanhos do coco (ouricuri).

Figura 7 - Fragmentadora de rolos



Fonte: Acervo pessoal (2015).

O fragmentador foi alimentado com ouricuri despoldado e seco (Figura 7-A). Os rolos são responsáveis por gerar o impacto capaz de comprimir as amostras (Figura 7-B). O distanciamento dos rolos foi a mínima possível pelo equipamento, proporcionando que apenas algumas amostras transpassassem entre os rolos sem receber o impacto necessário. Tanto a casca do ouricuri, quanto à amêndoa foram recolhidos na parte inferior do equipamento (Figura 7-C).

4.3 Caracterização do fruto

Para a caracterização do fruto foram utilizados o resíduo remanescente do processo de obtenção da amêndoa que são a casca, fibra e a mistura de casca com fibras, a amêndoa e o óleo para a realização das análises de caracterização.

4.3.1 Caracterização do óleo

Para a caracterização do óleo foram feitas as análises de umidade, densidade, acidez e pH em triplicata.

- **Umidade**

A umidade foi determinada pelo método direto. Este método se baseia na quantificação do peso, devido à perda de água por evaporação através da balança de determinação de umidade da marca Marconi modelo ID-50 no modo auto, onde foi pesado cerca de 3 gramas de óleo em uma placa de alumínio o qual foi aquecida à temperatura de 105°C. O processo foi repetido até peso constante (ANDRADE, 2013).

- **Densidade**

A densidade relativa foi determinada utilizando a norma ABNT NBR 7148/2013 conforme método do densímetro, utilizando o densímetro digital DMA 35N EX Petrol da marca Anton Paar. O equipamento foi calibrado com etanol e, em seguida a célula preenchida com o óleo a 20°C para a leitura da densidade e as leituras realizadas em triplicata.

- **Acidez**

A determinação do índice de acidez foi realizada com base no procedimento da *American Oil Chemists' Society*. Foi utilizado o método AOCS Cd 3d-63 (AOCS, 1993) no qual 2 mL de óleo são diluídos em 50 mL de solução éter-álcool (1:1). A solução foi titulada com NaOH 0,01M, utilizando fenolftaleína como indicador.

Com o valor de NaOH gasto na titulação calculou-se o índice de acidez segundo a Equação 1.

$$Ac = \frac{V \times f \times 5,61}{P} \quad (1)$$

Onde: Ac = índice de acidez (mg de KOH/g de óleo), V = volume de NaOH gasto na titulação (ml), f = fator da solução de hidróxido de sódio e P = peso da amostra (g).

- **pH**

Para medição de pH foi utilizado pHmetro de bancada digital PHTEK PHS-3B, com controle de temperatura.

4.3.2 Caracterização da casca, fibra e mistura da casca com fibra

A fibra e a casca foram obtidas a partir do pré-tratamento que consistiu, basicamente, em separar a polpa fibrosa, aqui chamada apenas por “fibra”, em máquina despolpadora, a qual separou a fibra da casca que, posteriormente, passou pela máquina descascadora, para que houvesse a quebra do endocarpo e pudesse ser separada da amêndoa, processo já abordado nos tópicos 4.1 e 4.2. No entanto, a mistura da fibra com casca foi obtida através dos frutos *in natura* expostos ao sol por aproximadamente 10 dias para, então, igualar o processo.

Foi estudado o pré-tratamento químico ácido e hidrotérmico para se obter um perfil dessa biomassa que pode ser matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração, utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) no pré-tratamento ácido e água no pré-tratamento hidrotérmico como reagentes.

Inicialmente, as amostras foram tratadas fisicamente de maneira a diminuïrem o tamanho. Os ensaios foram realizados utilizando 1,5 gramas das amostras, casca à 0,59 mm, fibra e mistura de fibra com casca do ouricuri, misturadas a 30 mL de H₂SO₄ para o pré-tratamento químico ácido e 30 mL de água destilada pré-tratamento hidrotérmico, em frascos Erlenmeyers de 500 mL, e submetidas a autoclave vertical da marca Phoenix a 120°C e 1 atm, variando as matérias-primas entre: casca, fibra e mistura de fibra com casca.

Após o período de reação de 15 minutos e despressurização da autoclave, ocorreu à separação das frações líquida e sólida por filtração. A parte sólida foi colocada em estufa à 40°C por 4 dias. Ao final de cada ensaio de pré-tratamento foi calculado o rendimento mássico, a partir Equação 2.

$$R (\%) = \frac{m_{inicial}}{m_{final}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: $m_{inicial}$ = massa inicial seca submetida ao pré-tratamento (g) e m_{final} = massa final seca após lavagem até a neutralidade (g).

A fibra da casca do ouricuri *in natura* foi caracterizada de acordo com procedimento descrito por Gouveia *et al.* (2009). O objetivo deste procedimento é obter a composição química da fibra, da casca e da mistura das fibras com casca do ouricuri quanto aos teores de celulose, hemicelulose e lignina (CABRAL, 2015).

Foram realizadas as análises de Umidade e pH idênticas à caracterização do óleo, descrita anteriormente.

- **Acidez**

A determinação do índice de acidez foi realizada com base no procedimento da *American Oil Chemists' Society*. Foi utilizado o método AOCS Cd 3d-63 (AOCS, 2005) no qual 2 mL de óleo são diluídos em 50 mL água destilada. A solução foi titulada com NaOH 0,01M, utilizando fenolftaleína como indicador.

Com o valor de NaOH gasto na titulação calculou-se o índice de acidez segundo a Equação 3.

$$Ac = \frac{V \cdot N \cdot f \cdot 100}{M_{amostra}} \quad (3)$$

Onde: Ac = índice de acidez (mL/100 g), V = volume de NaOH gasto na titulação (ml), f = fator de correção da solução de NaOH e $M_{amostra}$ = massa da amostra (g).

- **Sólidos solúveis totais (Brix)**

A determinação dos sólidos solúveis totais (Brix) foi feita através de refratômetro digital portátil, marca Hanna HI 96801, com compensação automática de temperatura - faixa de medição 0,0 a 85° Brix.

- **Açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART)**

As análises de AR e ART foram obtidas por espectrofotometria, através do método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS), proposto por Miller (1959).

A determinação de açúcares redutores pelo método do DNS se baseia na redução, em meio alcalino, do ácido 3,5-dinitrossalicílico (coloração amarela). O produto formado é estável, com coloração laranja-avermelhado (3-amino-5-nitrossalicílico) na proporção estequiométrica e máxima absorção da luz visível no comprimento de onda de 540 nm (CABRAL, 2015).

Na determinação dos açúcares redutores totais (ART) foi coletado 0,5 mL da fração líquida em tubo de ensaio, sendo esta amostra hidrolisada com 5 mL de H₂SO₄ (1,5 M), em banho maria por 20 minutos a 100°C e neutralizada posteriormente, com NaOH (40%).

$$ART \text{ (g/100 g)} = \frac{\text{Absorbância} \cdot \text{fator da curva} \cdot \text{diluição}}{\text{Concentração da amostra}} \cdot 100 \quad (4)$$

Para determinação da concentração de açúcares redutores (AR) foi preparada uma solução contendo 0,25 mL da mesma fração líquida das amostras com 0,5 mL de água destilada e 0,25 mL de DNS em banho maria por 5 minutos a 100°C. Após o resfriamento, o material sofreu agitação, em agitador de tubos da marca PHOENIX, modelo AP56, modo de

operação 2 (agitação periódica) na velocidade 2, para obtenção da leitura espectrofotométrica, através do método do DNS. O cálculo do AR é realizado de acordo com a Equação 5.

$$AR (g/100 g) = \frac{\text{Absorbância.fator da curva}}{\text{Concentração da amostra}} \cdot 100 \quad (5)$$

4.3.3 Caracterização da amêndoa

Para a caracterização da amêndoa foram feitas as medições em 30 unidades de grãos inteiros, verificando a altura e o diâmetro em milímetros, utilizando paquímetro de inox 150 mm 682626 com aferição 0,02 mm da marca LEE TOOLS, também, foram pesadas em balança analítica e verificadas as médias. Foi verificado o peso de uma amostra de frutos secos e o peso correspondente de obtenção de amêndoas.

4.4 Secagem

A fim de desenvolver processos industriais para as amêndoas de ouricuri secá-lo é muito importante para compreender como as principais variáveis influenciam a cinética de secagem (MOCELIN *et al.*, 2014). Para determinação da secagem das amêndoas de ouricuri foram utilizadas amêndoas *in natura* com os tamanhos padronizados em peneira com diâmetro médio de 20 mm, sendo realizada a secagem no equipamento determinador de umidade da Marconi, série ID, versão 1.8, modelo ID50, o qual permite que seja fixada uma temperatura de secagem. Neste experimento, a operação de secagem foi realizada no modo normal, permitindo que a amostra seja seca até o tempo preestabelecido, e o equipamento informa ao final do processo seus valores em % de secagem.

Os valores de secagem foram coletados em intervalos de um minuto e as temperaturas de secagem estudadas foram 100, 80 e 60°C. As massas das amostras de secagem foram estabelecidas em 5 gramas.

O uso de modelos matemáticos para interpretar o processo de cinética é muito útil e permite a aplicação comercial dos sistemas de secagem. A literatura fornece métodos semi-empíricos, teóricos e empíricos para a descrição do processo de secagem, especialmente, descrevendo a relação adimensional umidade em função do tempo de secagem (MOCELIN *et al.*, 2014).

De acordo com Mocelin *et al.* (2014) a Equação (6) apresenta a definição da relação de umidade adimensional U_a , onde U é a umidade da amostra, M_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio e M_o é o teor de umidade inicial. Isso deve ser observado que essas variáveis são definidas na base seca.

$$U_a = \frac{U - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} \quad (6)$$

De acordo com a Equação (6) na fase inicial, ou seja, t igual a zero, U_a é igual a 1 e o tempo inicial, que t aproximando-se ao infinito, U_a aproxima-se para zero.

Para determinação das curvas cinéticas buscou-se avaliar os modelos de Lewis, Page, Overhults, Henderson e Pabis, Logarithmic, Two terms e Approximation of diffusion, o cálculo de cinética de secagem foram feitos utilizando o *software* STATISTICA o valor da U_a foi feito considerando apenas os valores experimentais da Umidade em base seca. Análises de regressão não-linear foram feitas pelo método Levenberg-Marquardt e o grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R^2).

Para determinação das curvas cinéticas foram utilizados os modelos do Quadro 2.

Quadro 2 - Os modelos matemáticos de secagem

Referência	Equação
Lewis	$UR = \text{Exp}(-k * t)$
Page	$UR = \text{Exp}(-k * t^n)$
Overhults	$UR = \text{Exp}[-(k * t)^n]$
Henderson and Pabis	$UR = a * \text{Exp}(-K * T)$
Logarithmic	$UR = a * \text{Exp}(-K * \text{Tempo}) + c$
Two terms	$UR = a * \text{Exp}(-k_1 * \text{Tempo}) + b * \text{exp}(-k_2 * \text{Tempo})$
Exponential with two terms	$UR = a * \text{Exp}(-k * t) + (1 - a) * \text{exp}(-k * a * t)$
Approximation of diffusion	$UR = a * \text{Exp}(-k_1 * t) + (1 - a) * \text{exp}(-k_2 * t)$

Fonte: MOCELIN *et al.* (2014).

4.5 Processos de Extração de óleo

Foram empregados dois métodos de extração de óleo, extração por prensagem mecânica e extração por solvente.

4.5.1 Extração Mecânica

- **Prensa hidráulica**

Para as extrações mecânicas realizadas na prensa hidráulica da marca Tecnal (Figura 8) foram pesados cerca de 100 g de ouricuri que foram transferidos para o vaso cilíndrico. As amostras foram submetidas a uma determinada pressão, exercidas manualmente, a qual foi

mantida constante durante 60 minutos. O total de óleo extraído foi recolhido em uma proveta e pesado ao longo da extração. O cálculo do rendimento foi feito em relação à massa de semente seca utilizada na extração. O processo foi realizado para as pressões: 165, 247,5, 330, 412,5 e 495 kgf/cm² respectivamente, as análises foram realizadas em duplicata (ANDRADE, 2014).

Figura 8 – Extração mecânica em prensa hidráulica



Fonte: Acervo pessoal (2015).

- **Prensa elétrica**

As extrações mecânicas foram realizadas em um equipamento de ensaios (SHIMADZU, modelo de piso AG-X (G-100kNX)) (Figura 9) que oferece alto nível de controle e medições através do *software* Trapezium X. Cerca de 100 gramas da amêndoa foram transferidas para o vaso cilíndrico. As amostras foram submetidas a uma velocidade de deslocamento constante até o alcance da força determinada (ANDRADE, 2014).

Figura 9 - Extração mecânica na prensa elétrica



Fonte: Acervo pessoal (2015).

O total de óleo extraído foi recolhido em uma proveta e pesado ao longo da extração. O cálculo do rendimento foi feito em relação à massa de semente seca utilizada na extração. O processo foi realizado submetendo as amostras às pressões de 165, 247,5, 330 kgf/cm² respectivamente.

A torta resultante da extração mecânica foi encaminhada para extração por solvente para determinação do teor de óleo remanescente das prensagens.

4.5.2 Determinação do teor de óleo do ouricuri (*Syagrus coronata*) da extração mecânica

Para a determinação do teor de óleo pela extração mecânica foi utilizada a Equação 7.

$$\%_{\text{óleo}} = \frac{M_{\text{amostra}} - M_{\text{torta}}}{M_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (7)$$

Onde: M_{amostra} = massa de amostra seca e M_{torta} = a massa da torta.

Com o teor de óleo é possível calcular os rendimentos da extração mecânica segundo a Equação 8.

$$R = \frac{M_{\text{óleo}}}{M_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (8)$$

Onde: $M_{\text{óleo}}$ = massa de óleo extraída.

As perdas foram obtidas através da diferença entre o teor de óleo e o rendimento, conforme a Equação 9.

$$P = \%_{\text{óleo}} - R \quad (9)$$

A eficiência se dá pela Equação 10.

$$E = \frac{M_{\text{óleo}}}{\%_{\text{óleo}}} \times 100 \quad (10)$$

4.5.3 Extração por solvente

Para a extração por solvente, as tortas remanescentes das prensagens mecânicas foram trituradas e peneiradas em peneiras da série Tyler (W.S. Tyler, USA) de acordo com dois diâmetros médios: faixa de diâmetro 10/14 (1,435 mm) e 14/20 (1,015 mm) para aumentar a superfície de contato e facilitar o processo de extração por solvente.

O teor de óleo presente na amostragem de ouricuri foi determinado através da extração por solvente, utilizando o método Soxhlet padrão. Cerca de 3 gramas da semente foram

aconditionadas em envelopes confeccionados de papel de filtro, onde a massa do cartucho confeccionado foi aferida e, posteriormente, introduzidos no extrator B-811 (BUCHI®, 2011) e realizada em triplicata.

Todas as massas foram aferidas em balança analítica (SHIMADZU, modelo AY220, máx. 220 g, mín. 0,01 g).

A quantidade utilizada de solvente foi de 200 ml, aquecido pela chapa condutora de calor, localizada na parte inferior do extrator por solvente e o vapor formado foi elevado até o condensador. A partir desse momento ocorre a difusão do solvente para o interior da amostra e a solubilização do óleo. Então quando a mistura óleo-solvente atingir um nível pré-determinado pelo equipamento indica que o sifão foi aberto e o solvente retornou para o béquer inicial. Este processo corresponde a um ciclo de lavagem que se repete até que o tempo do experimento seja atingido (CAVALCANTE, 2013).

A quantidade total de óleo extraída foi obtida através das diferenças das massas das amostras iniciais e finais.

O rendimento de óleo extraído em relação à amostra foi determinado a partir da Equação 11.

$$R = \frac{m_{\text{oleo}}}{m_{\text{inicial}}} \quad (11)$$

Onde: m_{oleo} = massa de óleo extraída e m_{inicial} = é a massa da amostra antes do processo de extração.

No recipiente que inicialmente continha apenas o solvente, agora apresenta uma mistura de óleo e solvente. Essa mistura foi encaminhada para um processo de separação, onde o solvente se recupera, no próprio equipamento, para ser aplicado novamente em novos experimentos.

4.5.3.1 Determinação do teor de óleo do ouricuri (*Syagrus coronata*) da extração por solvente

Finalizado o processo de extração por solvente as amostras foram levadas a estufa por 24 horas a 60 °C, para que a quantidade de solvente restante fosse evaporada, não prejudicando o balanço de massa. A Equação (12) foi utilizada para determinar a massa de óleo total extraída.

$$m_{\text{oleo}} = \Delta m = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}} \quad (12)$$

Onde: m_{oleo} = massa de óleo extraída, m_{inicial} = é a massa da amostra antes do processo de extração e m_{final} = a massa da amostra após o processo de extração.

A variação da massa foi aplicada na Equação (13), determinando-se o teor de óleo do fruto ouricuri.

$$\%_{\text{óleo}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{m_{\text{amostra}}} \quad (13)$$

Onde: $\%_{\text{óleo}}$ = quantidade de óleo extraída em relação à massa de ouricuri (m_{amostra}) colocada no cartucho de papel filtro.

4.5.3.2 Planejamento Fatorial Completo 2^3 para extração do ouricuri

Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^3 , onde os fatores avaliados foram: tempo de contato com o solvente (tempo de residência); diâmetro médio e solvente. O Quadro 3 apresenta a visão geral do cronograma.

Quadro 3 - Planejamento Fatorial Completo 2^3

Fatores	Nível inferior (-1)	Nível superior (+1)
Tempo	2 horas	4 horas
Diâmetro médio	Tyler #14/20 (1,015 mm)	Tyler #10/14 (1,435 mm)
Solvente	Hexano	Etanol

Fonte: Autor (2015).

O objetivo do planejamento foi determinar a influência (efeito) dos fatores supracitados na porcentagem de óleo extraída ($\%_{\text{óleo}}$).

4.5.3.3 Planejamento Fatorial Completo 2^2 para extração do ouricuri grãos inteiros

Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 , onde os fatores avaliados foram: tempo de contato com o solvente (tempo de residência) e solvente. O Quadro 4 apresenta a visão geral do cronograma.

Quadro 4 - Planejamento Fatorial Completo 2^2

Fatores	Nível inferior (-1)	Nível superior (+1)
Tempo	2 horas	4 horas
Solvente	Hexano	Etanol

Fonte: Autor (2015).

O objetivo do planejamento foi determinar a influência (efeito) dos fatores supracitados na porcentagem de óleo extraída ($\%_{\text{óleo}}$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do fruto

5.1.1 Caracterização do óleo

A umidade determinada segundo o método da secagem direta apresentou o valor médio de 0,45% para a triplicata. A Resolução ANP 045/2014 recomenda a umidade máxima no valor de 0,5%, pois a presença de água promove reações de saponificação, reduz a alcalinidade do catalisador o que culmina em rendimentos menores, sendo necessário que o óleo sofra um processo de degomagem (ANDRADE, 2014).

A densidade média do óleo de Ouricuri à 20°C foi de 924,7 kg/m³, maior que o limite permitido pela Resolução ANP 045/2014 de 850 a 900 kg/m³ e levemente superior ao encontrado por La Salles *et al.* (2010) que havia determinado a densidade do ouricuri à 20°C 920 kg/m³.

O índice de acidez informa o estado de conservação do óleo, que se elevado indica que o óleo está sofrendo reações indesejáveis, liberando os ácidos graxos livres (RAMALHO E SUAREZ, 2013). O óleo do ouricuri apresentou baixo índice de acidez, indicando ser um óleo de alta qualidade. O pH se mostrou pouco ácido indicando que foi bem manipulado e pode ser uma ótima matéria-prima para produção de produtos sendo um material pouco corrosivo.

Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicas do óleo

Umidade (%)	Densidade (kg/m ³)	pH	Acidez
0,45 ± 0,01	924,7 ± 0,15	5,96	0,62 ± 0,18

Fonte: Autor (2015).

5.1.2 Caracterização da fibra, casca e fibra com casca do ouricuri

Após o pré-tratamento foram gerados dois produtos: o hidrolisado (fração líquida), que contém os materiais dissolvidos da biomassa, e o resíduo sólido, que é a parte não reativa da biomassa nas condições aplicadas durante o pré-tratamento.

Observou-se que o pré-tratamento ácido deixou o líquido filtrado muito ácido em relação ao hidrotérmico, sendo a fibra o material mais ácido. Essa determinação é importante para avaliação dos equipamentos a serem utilizados dependendo do objetivo final, pois a acidez pode diminuir a vida útil dos equipamentos.

Para cada condição dos experimentos realizados no pré-tratamento ácido com ácido sulfúrico, obteve-se que o tempo de tratamento (20 min) ocorre de forma branda para a biomassa utilizada.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos a partir de algumas análises para determinação da caracterização da casca, da fibra e mistura de casca com fibra a fim de conhecimento e avaliação para a produção posterior de materiais a partir destes, como a produção de etanol de segunda geração.

Tabela 7 – Caracterização dos materiais submetidos ao pré-tratamento

Análise	Tratamento	Casca	Fibra	Casca + Fibra
pH	Hidrotérmico	3,85	3,33	4,12
	Ácido	1,51	1,64	1,44
ART	Hidrotérmico	5,09 ± 0,7	38,75 ± 1,24	4,05 ± 0,93
	Ácido	11,77 ± 0,7	40,99 ± 5,81	10,4 ± 1,7
°BRIX	Hidrotérmico	0,10	3,75 ± 0,07	0,3
	Ácido	1,60	4,70	1,65 ± 0,07
Acidez	Hidrotérmico	0,29	1,47	0,29
	Ácido	10,73 ± 0,21	9,55 ± 0,21	9,85 ± 0,62
Umidade (%)		8,47 ± 0,45	8,1 ± 0,57	9,57 ± 0,63

Fonte: Autor (2015).

Os açúcares solúveis liberados no pré-tratamento ácido em autoclave variaram de 1,6 a 4,7 % para as biomassas utilizadas. Comportamento que se apresenta abaixo do esperado em comparação com outras biomassas como os valores obtidos por Silva (2014) de 25 a 65% para o bagaço de laranja, de 15 a 35% para o resíduo de graviola e de 5 a 50% para o resíduo de maracujá, mas que não inviabilizam a possibilidade de seguir para a etapa posterior de hidrólise enzimática e fermentação para obtenção de etanol de segunda geração.

Os maiores valores de solubilização de açúcares foram obtidos utilizando-se a fibra no pré-tratamento ácido, o que chama atenção para o valor conseguido de 40,99% em termos de ART, Santos (2013) obteve valores próximos de ART (39,90 ± 2,48) para farinha de mandioca e que na fermentação conseguiu 80% de rendimento, demonstrando que a fibra da polpa do ouricuri é uma excelente matéria prima para fermentação. Em contrapartida, Macedo *et al.* (2011), utilizando torta de pequi como biomassa no pré-tratamento com ácido sulfúrico, obteve valores entre 7 e 17% e Souza *et al.* (2012) alcançaram um rendimento médio de 9,5%

de açúcares liberados em termos de ART. A degradação dos açúcares pode ser influenciada pelo do ácido utilizado, temperatura e tempo de residência (MOSIER *et al.*, 2005).

5.1.3 Caracterização da amêndoa

Para a caracterização da amêndoa foram obtidos os seguintes valores da medição de 30 amêndoas inteiras a média da altura é de 13 mm com desvio padrão de 1,26 e a diâmetro é 9 mm com desvio padrão de 1,44. O peso médio é de 0,52 g com desvio padrão de 0,08. De uma amostra de frutos secos pesando 6,486 kg foi obtido 744,9 g de amêndoas. E dessas amêndoas a extração total de óleo foi de 275,9 g correspondendo a 358,5 ml.

A obtenção desses dados se faz relevante, pois Crepaldi (2001) levantou os tamanhos médios dos frutos, havendo a necessidade de complementação da informação e conhecer os tamanhos médios das amêndoas, para dimensionamento de equipamentos de uma unidade de beneficiamento de óleo de ouricuri. Além de facilitar a análise da viabilidade da comercialização de produtos obtidos a partir do ouricuri, seja pelo óleo ou pelos resíduos gerados, diante do conhecimento de quantos frutos são necessários para se obter quantidade de amêndoa ou de óleo desejado.

5.2 Estudo da cinética de secagem

As figuras 10, 11 e 12 ilustram os gráficos que apresentam o comportamento da cinética de secagem na forma de umidade adimensional em função do tempo para a amêndoa do ouricuri nas temperaturas de 100, 80 e 60°C. Foram obtidos os valores da secagem do ouricuri e gerados gráficos em Excel Premium 2013, para fins de verificação do comportamento da temperatura em função do tempo.

Verifica-se que as curvas são influenciadas pela temperatura, onde para temperaturas maiores é requerido um tempo menor para a secagem.

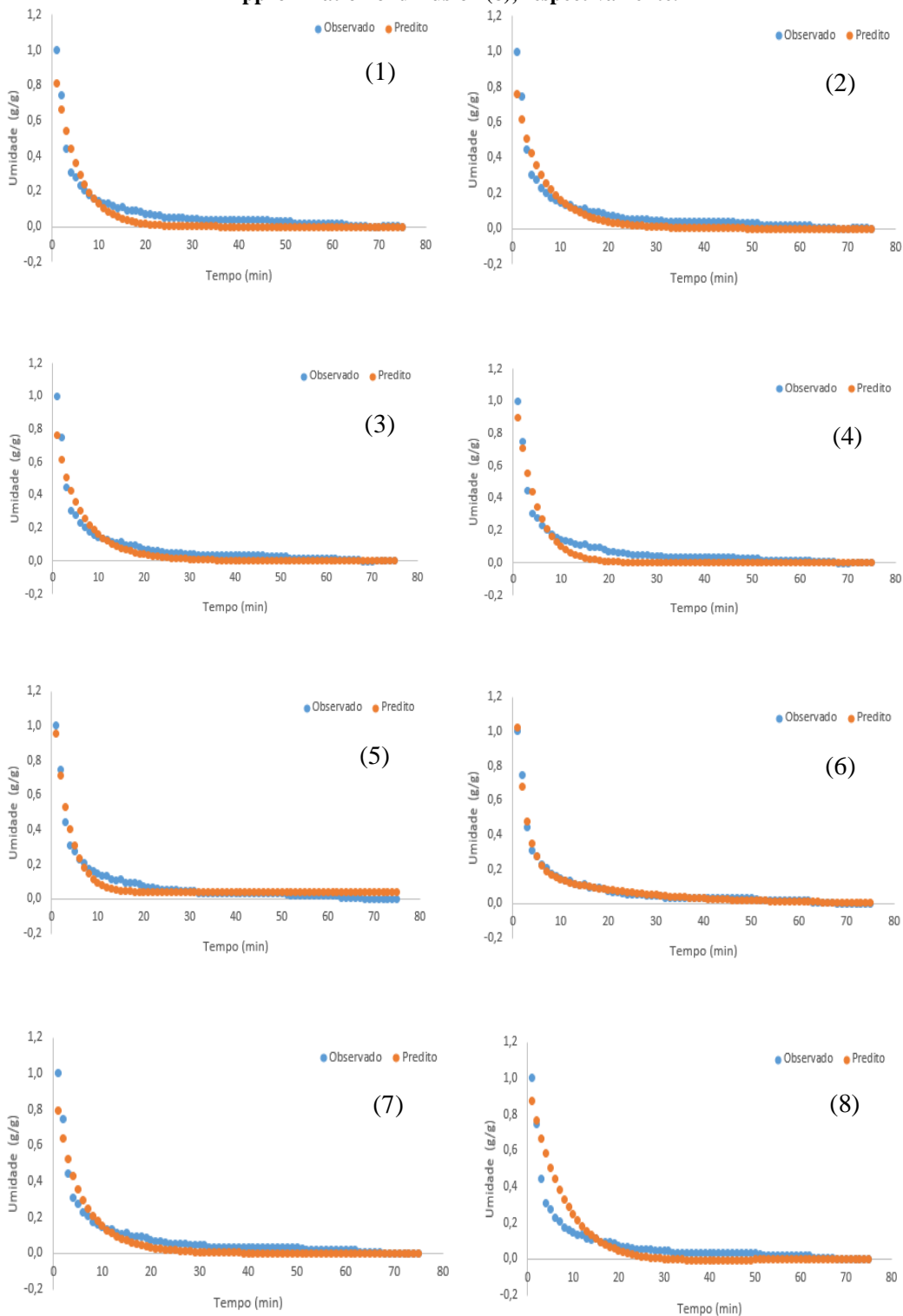
Ao analisar a Figura 10, que apresenta as curvas cinéticas obtidas a partir de modelos preditos para a temperatura de 100 °C observa-se que os modelos Lewis (1), Henderson and Pabis (4), Logarithmic (5) e Approximation of diffusion (8), se mostraram distantes do esperado ao longo da secagem, no entanto, esses modelos conseguem se igualar após os 60 minutos de secagem.

O modelo que mais próximo do ideal foi de Two terms (6), apresentado comportamento levemente inferior ao esperado após 65 minutos de secagem.

Os modelos de Page (2), Overhults (3), Logarithmic (5), Exponential with two terms (7) se mostraram satisfatórios ao longo da secagem com leve discrepância entre a secagem

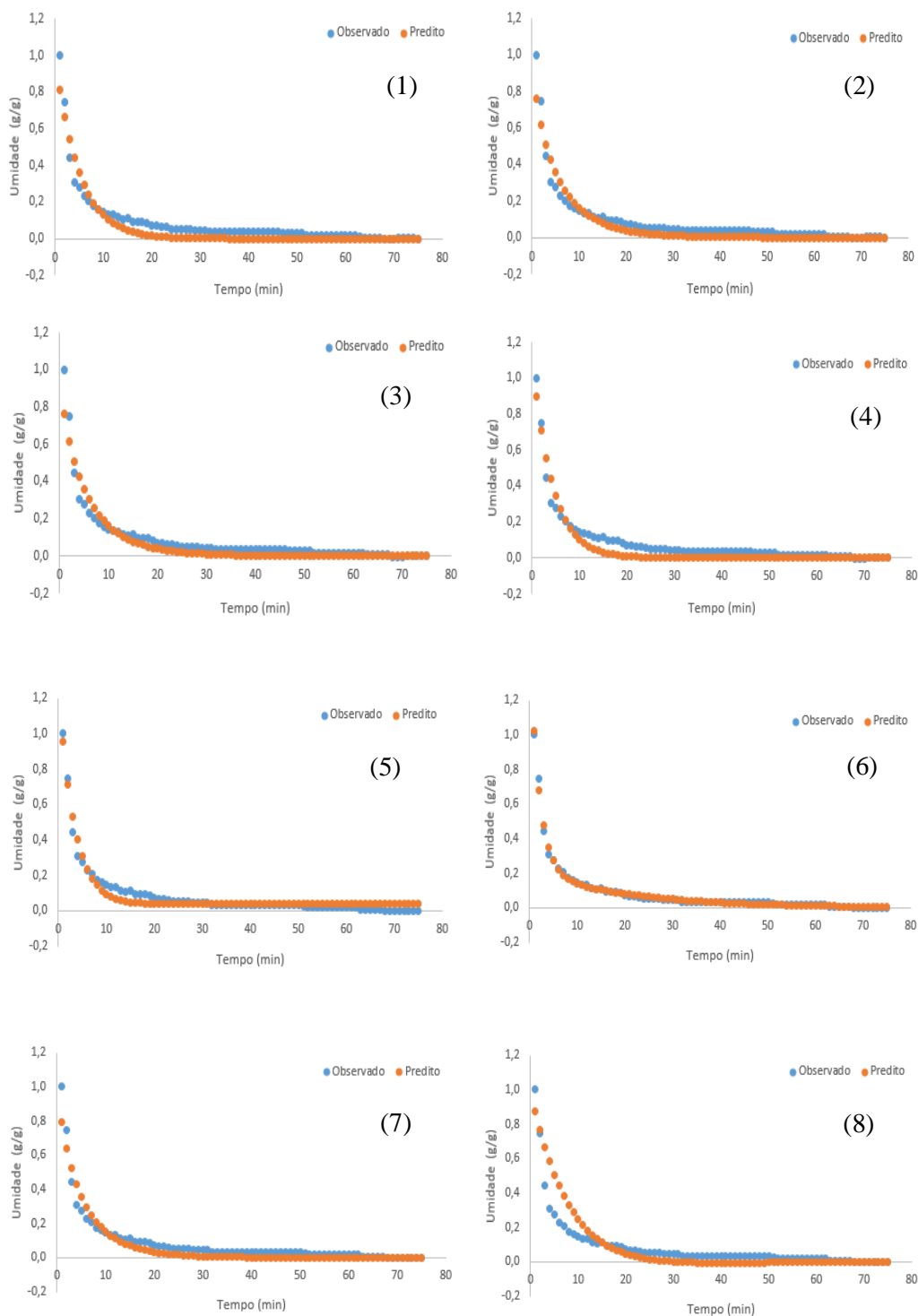
observada e a predita. No entanto a Logarithmic (5), a partir dos 50 minutos mostrou-se menor do que o esperado.

Figura 10 – Ajuste para as curvas de secagem da amêndoa do ouricuri a 100 °C; Lewis (1), Page (2), Overhults (3), Henderson and Pabis (4), Logarithmic (5), Two terms (6), Exponential with two terms (7) e Approximation of diffusion (8), respectivamente.



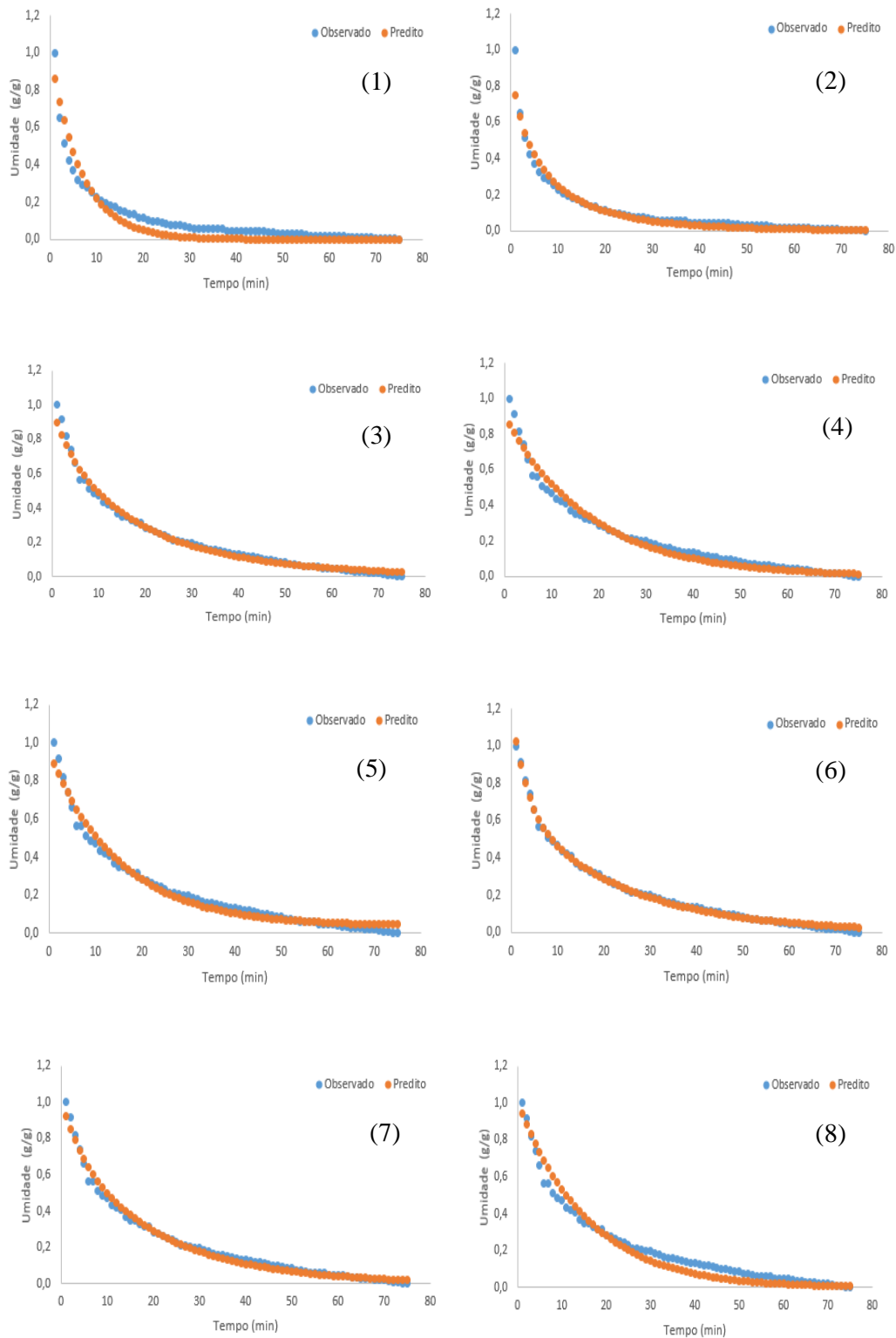
Fonte: Autor (2015).

Figura 11 – Ajuste para as curvas de secagem da amêndoa do ouricuri a 80 °C; Lewis (1), Page (2), Overhults (3), Henderson and Pabis (4), Logarithmic (5), Two terms (6), Exponential with two terms (7) e Approximation of diffusion (8), respectivamente.



Fonte: Autor (2015).

Figura 12 – Ajuste para as curvas de secagem da amêndoa do ouricuri a 60 °C; Lewis (1), Page (2), Overhults (3), Henderson and Pabis (4), Logarithmic (5), Two terms (6), Exponential with two terms (7) e Approximation of diffusion (8), respectivamente.



Fonte: Autor (2015).

Diante do observado na Figura 11, que apresenta as curvas cinéticas obtidas a partir de modelos preditos, observa-se que a maioria dos modelos se mostrou bastante coerentes e satisfatórios para a temperatura de 80 °C. Os modelos de Lewis (1), Page (2), Overhults (3) e o Exponential with two terms (7) apresentaram comportamento muito semelhantes com relação ao esperado, iniciando a retirada de umidade acima do predito e aos 10 minutos da operação se tornam inferiores ao ideal. Contudo, conseguem se igualar ao ideal a partir dos 60 minutos.

As curvas obtidas dos modelos de Henderson and Pabis (4) e Logarithmic (5) apresentaram comportamentos semelhantes entre si em que aos 10 minutos da operação de secagem se torna inferiores ao ideal, sendo que o Logarithmic (5) consegue se igualar ao ideal a partir dos 20 minutos, e o (4), somente consegue a partir dos 50 minutos, no entanto o Logarithmic (5) sai da linha ideal a partir dos 50 minutos e extrai menor teor de umidade que o predito, enquanto que o Pabis (4) se mantém constante.

A curva do modelo Approximation of diffusion (8) se mostrou até os primeiro 15 minutos muito acima do esperado e após esse período se apresentou inferior, conseguindo chegar ao ideal a partir do minuto 60.

O modelo que mais próximo do ideal foi de Two terms (6), pois se manteve em idêntico ao predito.

Diante do observado na Figura 12, que apresenta as curvas cinéticas obtidas a partir de modelos preditos, observa-se que a maioria dos modelos se mostrou bastante coerentes e satisfatórios para a temperatura de 60 °C. Os modelos de Lewis (1) e de Approximation of diffusion (8) foram os que mais se mostraram distantes do esperado, com secagem superior ao esperado no início do processo e secando menos a partir dos 10 minutos para o modelo de 20 e 17 minutos para o modelo de Approximation of diffusion (8) e se igualando aos valores preditos a partir do minuto 70 para ambos os modelos.

O modelo de Page (2) se mostrou fora do esperado nos primeiros 10 minutos da secagem, se mostrando levemente inferior ao ideal nos entre os 30 e 60 minutos e posteriormente se igualando.

O modelo de Overhults (3) foi muito satisfatório, se mostrando levemente diferente do ideal no fim da secagem, tendendo a extrair menos umidade a partir de 60 minutos. Henderson and Pabis (4) e Logarithmic (5) apresentaram comportamentos muito semelhantes, no entanto, ao fim da secagem estes três tendem a serem menores que o predito.

O modelo que mais próximo do ideal foi de Two terms (6), apresentado comportamento levemente inferior ao esperado após 65 minutos de secagem.

A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de ouricuri nas diferentes temperaturas (100, 80 e 60°C).

Tabela 8 – Parâmetros das equações obtidos dos modelos cinéticos

Parâmetros	Temperaturas			Modelos
	100 °C	80 °C	60 °C	
R²	0,9824	0,9495	0,9522	Lewis
k	0,2050	0,1504	0,0617	
R²	0,9557	0,9770	0,9941	Page
k	0,2715	0,2894	0,1114	
n	0,8257	0,6811	0,8038	
R²	0,9557	0,9770	0,9941	Overhults
k	0,2715	0,2894	0,1114	
n	0,8257	0,6811	0,8038	
R²	0,9549	0,9559	0,9871	Henderson and Pabis
k	0,2401	0,1214	0,0550	
a	1,1425	0,8449	0,9019	
R²	0,9774	0,9729	0,9898	Logarithmic
k	0,3053	0,1658	0,0657	
a	1,2433	0,9183	0,9097	
c	0,0367	0,0392	0,0382	
R²	0,9968	0,9980	0,9987	Two terms
k1	0,5152	0,6237	0,2994	
k2	0,0491	0,0590	0,0427	
a	1,3625	1,1292	0,5062	
b	0,2162	0,4045	0,6746	
R²	0,9593	0,9682	0,9945	Exponential with two terms
k	0,3663	0,3745	0,1872	
a	0,3961	0,2955	0,2561	
R²	0,8828	0,9263	0,9790	Approximation of diffusion
k1	0,1001	0,1001	0,0772	
k2	0,1000	0,1000	0,0772	
a	607,4759	723,8141	897,8931	

Fonte: Autor (2015).

Observa-se que todos os modelos se ajustaram aos dados de secagem o que é considerado bom, oferecendo os coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,95, com exceção do modelo de Approximation of diffusion para 100 °C, que se apresentou muito abaixo.

O modelo de Two Terms pode ser considerado o melhor para estimar curvas cinéticas para as amêndoas de ouricuri, já que apresentou R^2 maiores que 0,99 para todas as temperaturas analisadas.

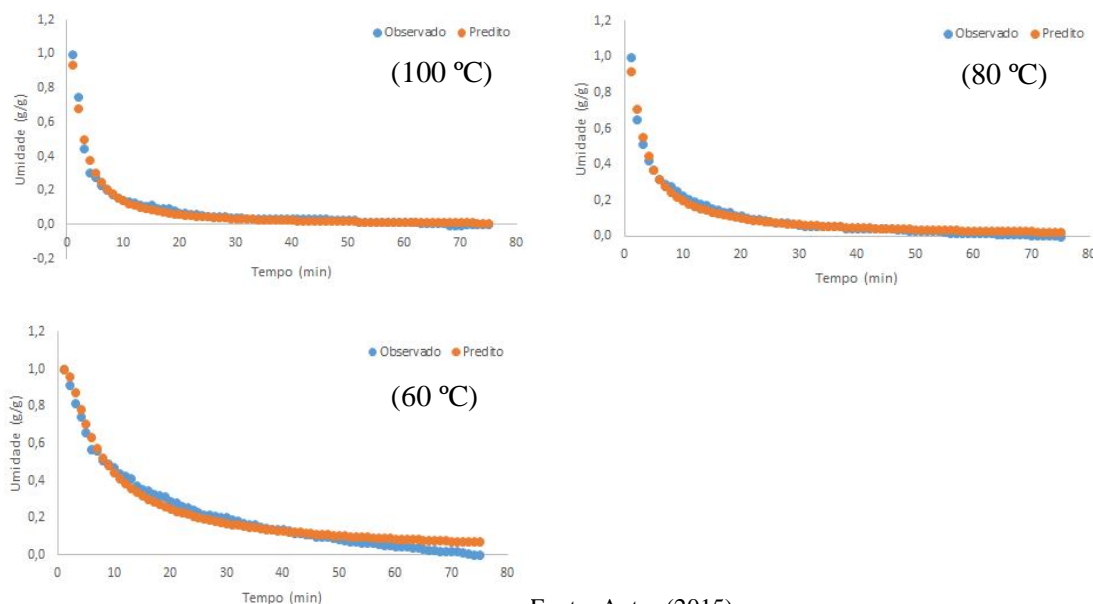
Segundo Andrade *et al.* (2006) citado por Cavalcante (2013), o parâmetro k representa o efeito das condições externas de secagem, n é a extensão da resistência interna à secagem do material. Notou-se que os valores de k subiram com o aumento da temperatura. E, para a temperatura de 80 °C, o parâmetro n apresentou valores menores, indicando maior resistência à secagem, comportamento semelhante ao ocorrido com o verificado por Cavalcante (2013) para as sementes de maracujá.

Para estimar os parâmetros mais confiáveis, foi inserido na equação do modelo de Overhults o parâmetro de ajuste 1 para a relação adimensional de umidade, devido ao valor de estimativa do parâmetro ruim apresentado nas Figuras 10 e 11 para as temperaturas de 100 e 80 °C, a fim de experimentar um aumento do R^2 , sendo denominado por Soletti.

O modelo de Soletti é obtido através da Equação 14.

$$UR = 1 - \text{Exp}(-k * t^n) \quad (14)$$

Figura 13 – Ajuste do modelo de Soletti para as curvas de secagem da amêndoa do Ouricuri a 100, 80 e 60 °C, respectivamente.



Fonte: Autor (2015).

A Figura 13 apresenta todas as experiências, mostrando uma capacidade de prever um comportamento muito bom do modelo, onde são mostrados os valores de parâmetro que foi possível observar que os valores são melhores daqueles apresentados nas Figuras 10 e 11 para o modelo de Overhults, indicando que boas estimativas de parâmetros foram obtidos.

Verifica-se que o modelo de Soletti se mostrou melhor para as temperaturas maiores, conseguindo elevar o R^2 para valores superiores a 0,99. Porém, para 60 °C apresentou um R^2 levemente inferior ao esperado 0,01 em comparação ao modelo de Overhults, conforme visualizado na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros da equação do modelo de Soletti

Parâmetros	Temperaturas			Modelos
	100 °C	80 °C	60 °C	
R^2	0,9928	0,9930	0,9865	
k	2,7580	2,5673	6,5546	Soletti
n	-1,2594	-1,0565	-1,0475	

Fonte: Autor (2015).

5.3 Processos de Extração de óleo

Foram empregados dois métodos de extração de óleo, extração por prensagem mecânica e extração por solvente.

5.3.1 Extração Mecânica

- **Prensa hidráulica**

Os resultados médios obtidos nas extrações mecânicas na prensa hidráulica apresentam-se na Tabela 10, onde as aplicações das pressões foram empregadas de acordo com a metodologia utilizada por Andrade (2014), com a inclusão da análise da pressão de 412,2 kgf/cm², que em seu trabalho não foi analisado.

As eficiências obtidas por este processo de prensagem chegaram muito próximo do que a literatura indica (85%) (ANDRADE, 2014). A menor pressão (165 kgf/cm²) apresentou a melhor eficiência diante das menores perdas, no entanto, constitui-se do menor rendimento, tendo em vista a limitação da compressão dos glóbulos de gordura não serem tão comprimidos, já foi fora exercida sobre a matéria-prima uma pressão baixa, de 165 kgf/cm², enquanto que é notável o aumento do rendimento em detrimento da elevação das pressões.

Tabela 10 - Resultados para extração mecânica do óleo de ouricuri na prensa hidráulica

Pressão (kgf/cm ²)	Rendimento (g)	Volume (ml)	% Óleo	Perdas (%)	Eficiência (%)
165	26,10 ± 4,84	32,00	34,02	5,3 ± 1,7	84,52
247,5	31,37 ± 4,21	35,50	39,06	7,09 ± 1,85	81,92
330	37,76 ± 4,68	43,50	46,75	7,44 ± 1,78	80,85
412,5	46,10 ± 4,72	49,75	55,57	8,8 ± 2,82	79,27
495	45,95 ± 6,28	52,00	54,70	7,75 ± 2,62	84,00

Fonte: Autor (2015).

O aumento na pressão resultou na elevação do rendimento. A maior força exercida sobre a amostra gerou uma pressão mais elevada sobre as sementes causando uma maior compressão nos glóbulos oleaginosos, levando à maior ruptura nas células, sendo responsáveis pela melhor extração do óleo de ouricuri. Em uma pressão de 495 kgf/cm² o rendimento foi bastante superior aos de 165, 247,5 e 330 kgf/cm², porém em comparação à pressão de 412 toneladas apresentou-se apenas levemente superior. A extração com uma pressão de 495 kgf/cm² foi a melhor em termos de volume, pois permitiu uma maior quantidade de óleo extraído, com 52 ml de óleo em 100 g de amostra. No entanto, foi a partir da aplicação da pressão de 412,5 kgf/cm² que permitiram que os teores de óleo se aproximassem do que a literatura reporta de 49,2% (CREPALDI, 2001), superando esse valor. Os valores obtidos são médios da duplicata, logo há variações na amostra e teores de óleos obtidos.

Ao submeter as tortas das prensagens remanescentes às pressões de 165, 247, 5 e 330 kgf/cm² à pressão máxima aqui avaliada, de 495 kgf/cm², por 15 min obteve-se 29 ml de óleo, onde, particularmente a torta remanescente da força 165 kgf/cm², por ser a mais oleosa, foi responsável por contribuir com 18 ml dessa totalidade, dessa maneira seria possível o total de 50 ml dessa amostra, visto que a submissão à essa pressão limita muito a extração do óleo em detrimento do tempo de estudo. É possível que esses 18 ml fossem extraídos com um tempo maior, porém as usinas de processamento valorizam a maior produção em menor tempo.

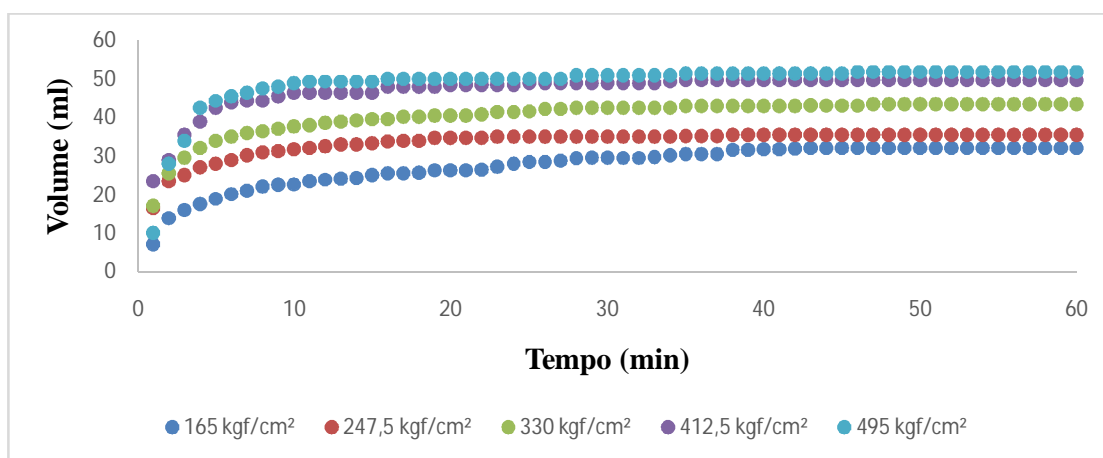
Não houve extração de óleo das tortas submetidas às pressões 412,5 kgf/cm² quando submetidas à força superior de 495 kgf/cm². A extração às pressões de 412,5 e 495 kgf/cm² são muito próximas e apresentam comportamento semelhante quanto ao rendimento da extração.

O valor de 54,7% de teor de óleo encontrado para a prensagem a 495 kgf/cm² foi levemente superior ao encontrado por Pinto *et al.* (2012), com a diferença de que foi obtido à partir da extração por solvente utilizando o etanol.

Os valores médios das perdas foram de 7,28%, devido ao óleo que fica retido no equipamento e no cilindro, e que o tempo predeterminado não foi suficiente para que houvesse o arraste desse óleo, mesmo com a aplicação de arraste mecânico. Todos os ensaios fecharam os seus balanços de massa. Tecnicamente os valores das perdas entre os equipamentos utilizados para a prensagem mecânica foram iguais, indicando que há a necessidade de aperfeiçoar os equipamentos e ferramentais a fim de minimizar essas perdas.

Avaliando o volume de óleo extraído em função do tempo plotou-se as curvas da Figura 14, com as médias das forças.

Figura 14 - Curvas dos volumes de óleo extraído versus o tempo de extração em função da pressão



Fonte: Autor (2015).

Observa-se que o volume apresentou crescimento acelerado até os primeiros cinco minutos, posteriormente, apresentando-se mais lento. Isso é decorrente de um menor teor de óleo presente na amostra ao decorrer da extração.

Com relação à extração mecânica realizada na prensa elétrica, os rendimentos foram inferiores em comparação às pressões exercidas pela prensa hidráulica, provavelmente pela influência do tempo, que foi de 60 min, e da manutenção desta pressão constante, parâmetros não considerados para a análise da prensa elétrica, já que ao alcançar a força máxima o processo era finalizado, indicando que no processo de prensagem mecânica de oleaginosas a submissão ao tempo e a pressões constantes são imprescindíveis para o melhor rendimento de óleo.

Contudo, vê-se que apesar da eficiência da prensagem à 412,5 kgf/cm² haver sido prejudicada por ter apresentado as maiores perdas residuais, foi extraída a maior quantidade de óleo em termos de massa e apresentou o maior teor de óleo, o que representa a potencialidade da submissão das amostras a essa pressão, sem sobrecarregar o equipamento com uma pressão superior.

O processo por prensagem hidráulica em relação aos demais se mostrou uma ótima alternativa a ser utilizada, pois é um procedimento que não utiliza energia elétrica e solventes, além de não gerar aquecimento nem no óleo e na torta (CARVALHO, 2011).

• Prensa elétrica

As amostras foram submetidas a um deslocamento do cilindro do equipamento de ensaios até o alcance da força requerida. A utilização da pressão inicial partindo de 165 kgf/cm² aplicada se deu porque foi o mesmo ponto de partida utilizado na extração por prensa hidráulica. A aplicação da força exerce pressão no material a ser extraído. Observou-se que o rendimento de óleo foi levemente aumentado com o acréscimo da pressão máxima entre 247,5 e 330 kgf/cm², no entanto, houve um rendimento considerável ao evoluir a pressão de 165 para 247,5 kgf/cm², o que indica que não ser necessária a aplicação da pressão de 330 kgf/cm².

Foram determinados os seguintes valores de rendimento em porcentagem, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados da extração mecânica do óleo de ouricuri na prensa elétrica

Pressão (kgf/cm²)	Rendimento (g)	Volume (ml)	% Óleo	Perdas (%)	Eficiência (%)
165	4,31	5,9	12,98	7,81	40,13
247,5	14,1	18,9	20,24	5,07	75,49
330	15,27	16	24,41	8,93	63,49

Fonte: Autor (2015).

O material foi prensado até a obtenção da força máxima, a partir disso a máquina deixou de comprimir. Provavelmente com a manutenção da pressão constante por mais tempo a eficiência aumentaria, no entanto, este método se mostrou satisfatório, visto que conseguiu uma eficiência de 75,49% em detrimento da eficiência da extração mecânica por prensa hidráulica para a mesma pressão, onde foi conseguido um aumento leve de 6,43%, com a diferença de 42 minutos. O que mostra a potencialidade deste método para o aumento da produtividade, já que seu controle é automatizado.

Mesmo tendo sofrido perda de massa, na contabilização da média das massas (rendimento em g) com relação à força máxima a que foram submetidas o comportamento foi crescente no tocante à maior pressão.

A quantidade de óleo que ficou retida na prensa foi de 7,27% em média, que pode ser corrigido com maiores cuidados operacionais e melhores ferramentas de apoio que podem diminuir essa perda, onde especialmente na aplicação da força de 330 kgf/cm² a perda foi maior devido ao entupimento do duto que conduz o óleo à proveta, pois com o acréscimo da força, resultando em maior pressão na torta, os glóbulos de gordura se romperam muito rapidamente e ao vazão foi maior do que a capacidade de escoamento.

5.3.2 Extração por solvente

5.3.2.1 Análise estatística de dados

O planejamento experimental do projeto foi feito pelo método fatorial 2^k que consiste em realizar experimentos com cada uma das combinações da matriz experimental e determinar e interpretar os efeitos principais e de interação dos fatores investigados e assim, identificar as melhores condições experimentais através das interações (GALDÁMEZ, 2002 citado por ANDRADE, 2014).

A extração por solvente avaliou o diâmetro médio, o tempo e o solvente. A matriz de planejamento para o fatorial 2³ está representada na Tabela 12, em que x_1 é a tempo, x_2 é a diâmetro médio da amêndoa, x_3 é o solvente e y_i , o rendimento, apresentando os rendimentos obtidos utilizando os solventes hexano e etanol com tempos de extração de 2 e 4h, no método Soxhlet Padrão em diâmetros médios de 1,015 e 1,435 mm.

Tabela 12 – Matriz de um planejamento fatorial 2³

Ensaio	Tempo (h) (x_1)	Diâmetro médio (mm) (x_2)	Solvente (x_3)	Média (Y_i)
1	-1	-1	-1	62,12 ± 2,08
2	1	-1	-1	61,20 ± 0,51
3	-1	1	-1	60,20 ± 0,87
4	1	1	-1	58,97 ± 0,87
5	-1	-1	1	64,57 ± 0,93
6	1	-1	1	66,58 ± 1,11
7	-1	1	1	65,42 ± 0,21
8	1	1	1	63,59 ± 0,76

Fonte: Autor (2015).

O etanol apresentou melhores resultados em comparação ao hexano, a média das extrações com etanol foi de 65,05%, sendo 65% para o tempo de duas horas e 65,09% para 4 horas. Pinto *et al.* (2012) havia conseguido obter 54% de óleo de ouricuri com extração por solvente utilizando o etanol.

O hexano conseguiu extrair em média 60,62%, sendo 61,16% para o tempo de duas horas e 60,09% para 4 horas, diferente de Santos (2013) que obteve 5% maior quando utilizou o hexano para o tempo de 2 horas e um percentual 10% maior para o tempo de 4 horas.

O fato de o hexano ter apresentado extração inferior ao etanol é relevante, pois, apesar de apresentar a vantagem de possuir baixo ponto de ebulição, o que diminui a decomposição do óleo, é altamente inflamável e apresenta alto custo (RAMALHO E SUAREZ, 2013). Em contrapartida, o etanol é um solvente de operação mais fácil, atóxico, mais barato e mais facilmente encontrado no mercado.

O desempenho do etanol como extrator de óleo superior ao hexano já havia sido relatado por Andrade (2014), quando verificou essa superioridade na extração para as amêndoas de Pinhão Manso.

A partir da matriz de planejamento forma-se a Tabela 13 correspondendo às interações, onde apresenta, além dos três efeitos principais 1 (tempo), 2 (Diâmetro médio) e 3 (solvente), três interações de dois fatores, 12, 13, 23 e 123.

Tabela 13 – Efeitos de interação para as extrações

Fator	Efeito	P
Interações	62,83	0,00
(1) Tempo	-0,49	0,27
(2) Diâmetro Médio	-1,57	0,00
(3) Solvente	4,42	0,00
(12)	-1,04	0,03
(13)	0,58	0,19
(23)	0,50	0,26
(123)	-0,89	0,06

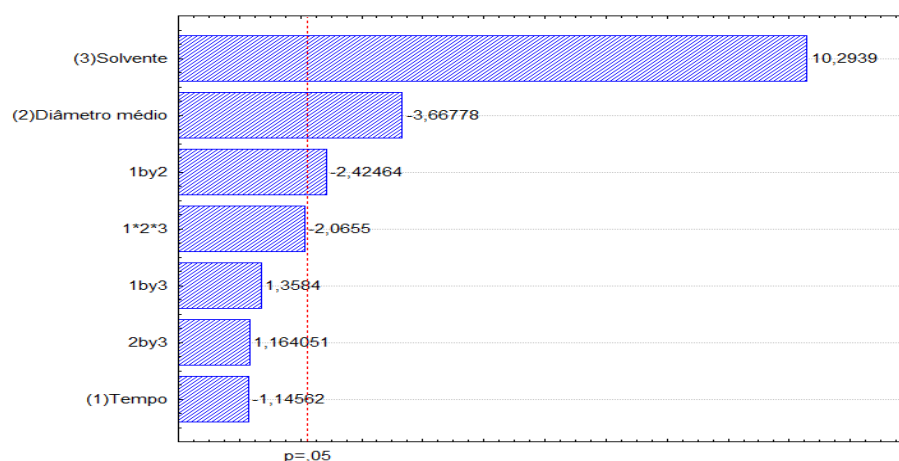
Fonte: Autor (2015).

O tempo não representou determinação sobre o rendimento, não sendo significativo, já que em 2 horas já havia sido extraído praticamente todo o óleo da amêndoa. O diâmetro médio de 1,015 mm proporcionou um aumento de 1,57% sobre a quantidade de óleo extraída

com 1,435 mm. O solvente etanol apresentou rendimento superior ao hexano em 4,42%, sendo esse, o fator solvente, o efeito de maior representatividade. Os demais fatores também alteraram o fator resposta, porém com menos intensidade que o solvente.

O efeito de interação deve ser determinado primeiramente com a construção das colunas de interações da matriz de planejamento. Essas colunas são formadas por meio da multiplicação das colunas dos efeitos principais. Os efeitos das interações assim como as demais estatísticas foram obtidos pela análise no *software* STATISTICA.

Figura 15 – Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados

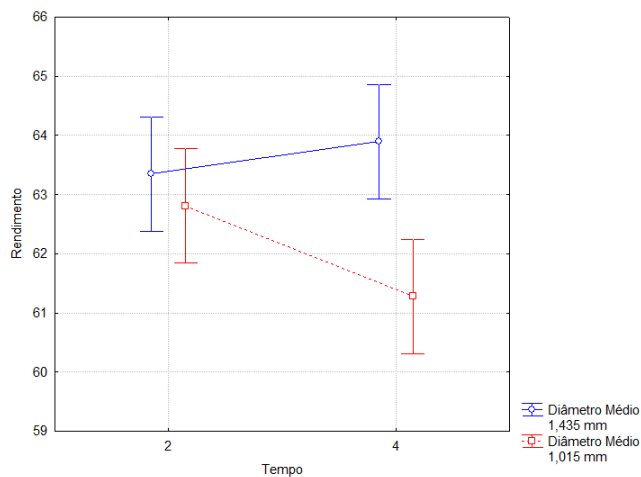


Fonte: Autor (2015).

Analisando o gráfico de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$ e a Tabela 12, nota-se que apenas três valores absolutos foram significativos para um intervalo de confiança de 95% (apresentam $p \leq 0,05$), pois se encontram à direita da linha vermelha do gráfico, indicando que os valores são aceitáveis. O solvente e o diâmetro médio foram as variáveis que mais contribuíram para aumento do rendimento da extração. A interação tempo/ diâmetro médio que reduziu o rendimento em 2,42% é considerada significativa.

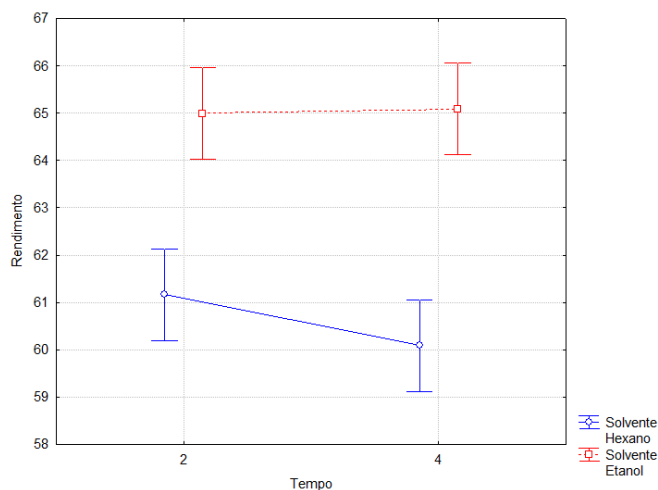
Este gráfico ilustrado na figura 16 mostra o comportamento dos diâmetros médios pelo tempo, apresentando que o diâmetro de 1,015 mm foi superior ao de 1,435 mm para os dois tempos, devido a maior área de contato com o solvente.

Figura 16 – Gráfico efeito do tempo versus o diâmetro médio sobre o rendimento



Fonte: Autor (2015).

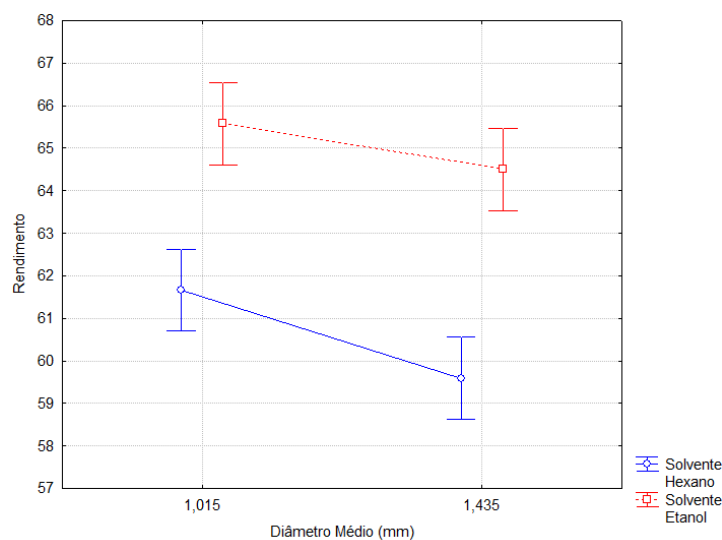
Figura 17 – Gráfico efeito do tempo versus o solvente sobre o rendimento



Fonte: Autor (2015).

O etanol foi superior ao hexano nos tempos predeterminados. Este fenômeno ocorreu devido ao óleo apresentar solubilidade maior no etanol (ANDRADE, 2014). O maior tempo de extração não possibilitou diferenças significativas na extração do óleo da amostra para os dois solventes, logo, o tempo de 2 horas é suficiente para a extração, pois duas horas a mais não se fez interessante já que se utiliza, além do tempo, da necessidade do uso de energia elétrica.

Figura 18 – Gráfico efeito do diâmetro médio versus o solvente sobre o rendimento



Fonte: Autor (2015).

O solvente etanol promoveu um rendimento superior para os dois diâmetros médios analisados. No entanto, a semente mais triturada (1,015 mm) favoreceu os processos de difusão e dissolução devido à maior superfície de contato entre solvente e o óleo que o diâmetro médio de 1,435 mm apresenta.

Para a análise de variância (ANOVA) e dos resultados obtidos dispõem-se os dados na Tabela 14.

Tabela 14 – Análise de variância para o rendimento da extração

Fonte de variação	Soma quadrática (SQ)	Nº de graus de liberdade	Média quadrática (MQ)
Regressão	94,23	5	18,84
Resíduos	19,30	18	1,07
Falta de ajuste	4,49	2	2,24
Erro puro	14,10	16	1,76
Total	132,12	23	
% de variação explicada	0,71		
% máxima de variação explicável	0,89		

Fonte: Autor (2015).

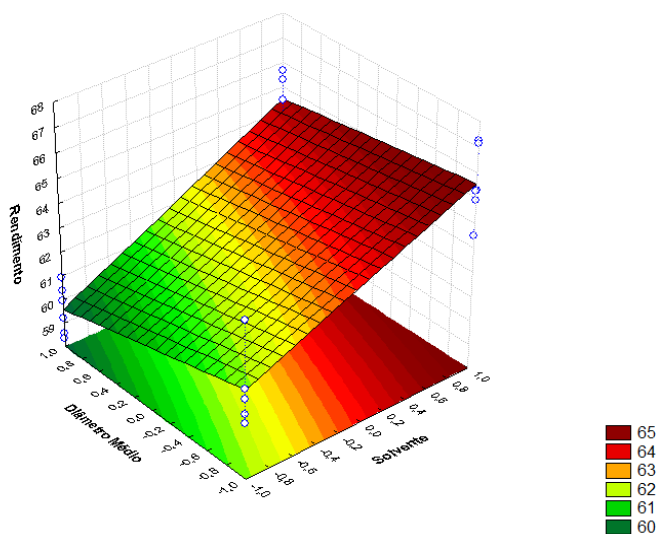
O modelo polinomial de terceira ordem da extração por solvente é dado segundo a Equação 15.

$$\text{Rendimento \acute{o}leo (\%)} = -1,571 * x_2 + 4,418 * x_3 - 1,0412 * x_1 * x_2 \quad (15)$$

Onde: x_1 = tempo, x_2 = diâmetro médio e x_3 = solvente.

A partir do modelo polinomial foi possível construir a superfície de resposta e as curvas de nível para o rendimento apresentadas na Figura 19.

Figura 19 – Gráfico de superfície para diâmetro médio x solvente

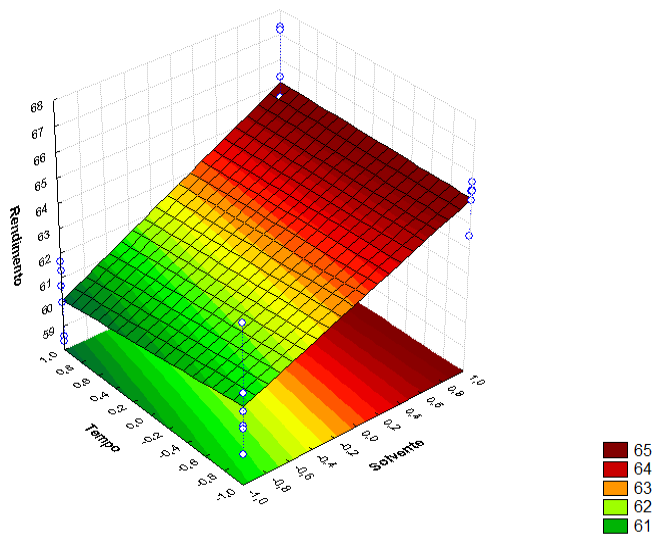


Fonte: Autor (2015).

Gráfico de superfície para três interações diâmetro médio/solvente apresenta que os diâmetros médios com o etanol apresentam os maiores rendimentos. O hexano em ambos os diâmetros foi menos significativo. E tende a extrair menos quanto maior for à partícula, o que é esperado. O gráfico solvente/tempo não apresentou significância no tempo.

O tempo não foi significativo para o rendimento (Figura 20), pois, no tempo de duas horas, já havia sido extraído praticamente todo o óleo da amêndoa, de duas para quatro horas não houve grande variação de massa de óleo, indicando não ser necessário o uso de tempo superior a duas horas, já que para isto são requeridas energia elétrica e mais solvente, acaso haja perda do solvente por volatilização no equipamento Soxhlet.

Figura 20– Gráfico de superfície para Tempo x Solvente



Fonte: Autor (2015).

Em geral, a metodologia de extração por solvente apresentou bom rendimento, pois óleo de ouricuri possui propriedades que facilitam a operação, baixa viscosidade e coloração clara, permitindo uma boa fluidez do óleo quando em contato com a amostra. Entretanto é um processo que produz resíduos químicos, utiliza energia e gera aquecimento tanto no óleo quanto na torta (CARVALHO, 2011; SANTOS, 2013).

5.3.2.2 Análise estatística de dados para os grãos inteiros

A matriz de planejamento para o fatorial 2^2 está representada na Tabela 15, em que x_1 é o tempo, x_2 é o solvente e y_i , o rendimento.

Tabela 15 – Resultados de um planejamento fatorial 2^2 utilizando grãos inteiros

Ensaio	Tempo (h) (x_1)	Solvente (x_2)	Média (y_i)
1	-1	-1	17,24 ± 1,59
2	1	-1	17,44 ± 2,9
3	-1	1	15,04 ± 1,00
4	1	1	23,95 ± 3,48

Fonte: Autor (2015).

O hexano apresentou melhores resultados em comparação ao etanol, para a extração no menor tempo e o etanol se comportou melhor para o maior tempo da extração. O hexano conseguiu extrair em média 17,34%, sendo 17,24% para o tempo de duas horas e 17,44% para 4 horas. A média das extrações com etanol foi de 19,49%, sendo 15,04% para o tempo de duas horas e 23,95% para 4 horas.

Quando o efeito de uma variável depende do nível de outra, como neste caso, diz-se que as duas variáveis interagem, e pode-se calcular o valor do efeito de interação entre elas. O efeito principal do tempo é por definição a média dos efeitos do tempo nos dois níveis do solvente. Usando a letra T para representar esse efeito, e sendo y_i a resposta média observada no i -ésimo ensaio, pode-se escrever:

$$T = \frac{(\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) + (\bar{Y}_4 - \bar{Y}_3)}{2} \quad (16)$$

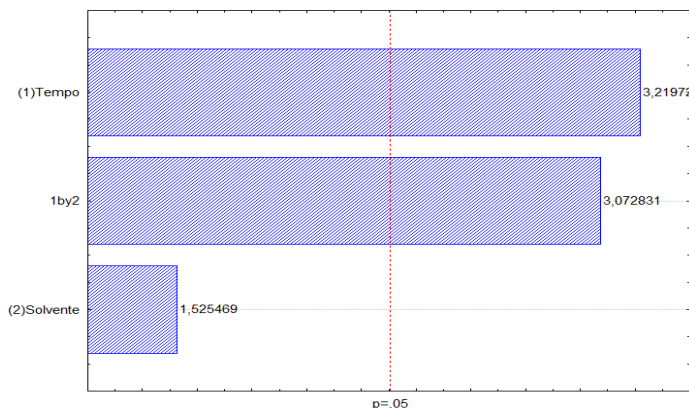
Este valor indica que o rendimento sobe 4,55%, em média, quando o tempo passa de seu nível inferior (2h) para o seu nível superior (4h). Esta conclusão, porém, está incompleta. Como se observa, o tempo e o solvente interagem, e não se deve falar do efeito do tempo sem dizer algo sobre o tipo de solvente. Precisamos, na verdade, interpretar os efeitos dos dois fatores conjuntamente, para não deixar dúvidas sobre a interação que existe entre eles.

Para o solvente, portanto, o efeito será segundo a equação:

$$S = \left(\frac{\bar{Y}_3 + \bar{Y}_4}{2} \right) - \left(\frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} \right) \quad (17)$$

Observa-se que o efeito é positivo. Quando trocamos o solvente hexano pelo etanol o rendimento cresce 2,16% em média. O efeito do tempo é +0,3% com o solvente do hexano, mas sobe para +8,9 % quando se usa o Etanol. Como na ausência de interação esses dois valores deveriam ser idênticos (a menos do erro experimental), a diferença entre eles é uma medida da interação entre os fatores T e S. Na verdade, por uma questão de consistência com a definição dos outros efeitos a metade da diferença é que é, por definição, o efeito de interação entre os dois fatores, logo, para representar esse efeito obteve-se 4,35%.

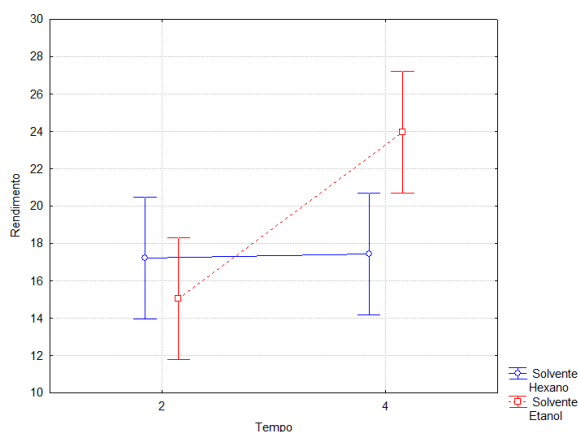
Figura 21 – Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados



Fonte: Autor (2015).

Analisando o gráfico de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$ e a Tabela 9, nota-se que apenas dois valores absolutos foram significativos para um intervalo de confiança de 95% (apresentam $p \leq 0,05$) pois se encontram à direita da linha vermelha do gráfico, indicando que os valores são aceitáveis. A interação Tempo/Solvente e o Solvente que foram as variáveis que mais contribuíram para aumento do rendimento da extração. O solvente não foi considerado significativo para o grão inteiro como efeito principal.

Figura 22 – Gráfico efeito do tempo versus o solvente sobre o rendimento



Fonte: Autor (2015).

O etanol foi superior ao hexano apenas no tempo de quatro horas. O maior tempo de extração não possibilitou diferenças significativas na extração do óleo da amostra para o hexano, logo, o tempo de 2 horas é suficiente para a extração, pois duas horas a mais não se fez interessante, pois no menor tempo já havia extraído praticamente todo o óleo possível através deste solvente.

Foi observado que o hexano apresentou melhor resultado para o menor tempo, no entanto, o etanol obteve resultado superior para maior tempo de extração.

A análise dos diâmetros médios para a extração por solventes foi significativa, mesmo apresentando baixa contribuição entre os tamanhos das partículas, no entanto, a extração por solvente dos grãos inteiros não é aconselhável, devido a sua baixa extração, que pode ter sido da dificuldade que o solvente encontrou para penetrar no interior do grão a fim de extrair todo o óleo, dificuldade que provavelmente se deu devido ao tegumento, necessitando de maiores investigações.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o ouricuri (*Syagrus coronata*) apresenta potencial para o desenvolvimento da região semiárida nordestina. Mediante a caracterização do fruto, os resultados obtidos da caracterização do óleo foram satisfatórios com relação à umidade, acidez e pH de acordo com norma da ANP 45/2015, no entanto o valor da densidade foi constatado acima do que esta resolução indica para a comercialização do óleo para fins de produção de biodiesel.

A caracterização da biomassa (casca, fibra e casca + fibra) foi bastante significativa quanto ao ART, tanto na utilização do pré-tratamento ácido quanto para o hidrotérmico para a fibra, indicando que a fibra pode passar por processos posteriores de hidrólise enzimática e fermentação para produção de etanol de segunda geração.

A caracterização do grão determinou que a altura média das amêndoas foi 13 mm, diâmetro médio de 9 mm e o peso médio é de 0,52 g.

A determinação da cinética de secagem da amêndoa do ouricuri foi satisfatória para os modelos de secagem utilizados, sendo que o melhor comportamento foi verificado com o modelo de Two Terms. Foi determinado um ajuste para o modelo de Overhults, denominado Soletti, que propôs um aumento do coeficiente de correlação para as temperaturas de 100 e 80 °C.

O estudo do processo de extração por prensagem mecânica realizado na prensa hidráulica conseguiu uma eficiência superior a 80% para as pressões avaliadas, onde a literatura reporta que esse processo consegue uma eficiência média de 85% (ANDRADE, 2014).

A pressão de 165 kgf/cm² a melhor, diante das menores perdas residuais e a pressão de 495 kgf/cm² a melhor em termos de volume, conseguindo a extração média de 52 ml em 100 g de amostra. No entanto, a pressão de 412,5 kgf/cm² apresentou tendência de superar a eficiência da pressão maior (495 kgf/cm²), pois conseguiu maior rendimento de óleo (46,10 g) e teor de óleo 55,57%, no entanto sofreu as maiores perdas residuais.

O estudo do processo de extração por prensagem mecânica realizado na prensa elétrica conseguiu uma eficiência média de 60% para as pressões avaliadas, sendo a pressão de 247,5 kgf/cm² a melhor, diante das menores perdas residuais, apresentando uma eficiência de aproximadamente 75%, este processo de extração é mais preciso do que o processo por prensa hidráulica por ser controlado por um controlador lógico programável (automação).

No estudo do processo de extração por solvente e avaliação dos solventes hexano e etanol verificou-se que o maior tempo de extração não possibilitou diferenças significativas na extração do óleo da amostra para os dois solventes, logo, o tempo de 2 horas é suficiente para a extração, pois o acréscimo de duas horas não se fez interessante por requerer a utilização de energia elétrica. O diâmetro médio de 1,015 mm proporcionou um aumento de 1,57% sobre a quantidade de óleo extraída com 1,435 mm. O solvente etanol apresentou rendimento superior ao hexano em 4,42%. O etanol apresentou melhores resultados em comparação ao hexano, a média das extrações com etanol foi 4,42% a mais que o hexano.

O estudo do processo de extração por solvente para os grãos inteiros o hexano apresentou melhores resultados em comparação ao etanol para a extração no menor tempo. O etanol se comportou melhor para o maior tempo da extração. O hexano conseguiu extrair em média 17,34%, sendo 17,24% para o tempo de duas horas e 17,44% para 4 horas. A média das extrações com etanol foi de 19,49%, sendo 15,04% para o tempo de duas horas e 23,95% para 4 horas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em vista dos resultados apresentados, sugere-se como continuidade deste trabalho:

- Obtenção da composição dos ácidos graxos do óleo e das amêndoas coletadas mensalmente em regiões de caatinga, zona da mata e litoral de Alagoas.
- Levantamento da viabilidade do plantio comercial do ouricuri (*Syagrus coronata*) no sertão alagoano.
- Estudo das pragas e doenças e métodos de controle da *Syagrus coronata*.
- Aproveitamento e uso da palha do ouricuri para a produção de móveis.
- Estudo da utilização da polpa do ouricuri para a alimentação animal no sertão de Alagoas.
- Desenvolvimento de método que veiculem a utilização da amêndoa do ouricuri para comercialização *in natura*;
- Implementação e avaliação do desempenho da produção comercial do óleo extra virgem de ouricuri.
- Estudo da viabilidade da fibra e casca do ouricuri para a produção de etanol de segunda geração;
- Estudo da viabilidade da fibra e casca do ouricuri para a produção de gás por biodigestor;
- Desenvolvimento de dispositivos físicos que auxiliem mecanicamente no pré-tratamento da *Syagrus coronata*;
- Análise da viabilidade econômica de implantação de uma usina de beneficiamento do ouricuri, com detalhamento de concentração de produção de produtos e resíduos, além da logística de produção.
- Analisar outras variáveis para o pré-tratamento dos resíduos do ouricuri, como temperatura, pressão, tempo de residência e concentração de ácidos.

REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, A.S.; UTHMAN, H.; AFOLABI, A.S; AWENEBE, O.L. **Extraction and optimization of oil from moringa oleifera seed as an alternative feedstock for the production of biodiesel**. Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources. 2011.

ABMACO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. **Compósitos I: materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências**. 2008. S. Paulo. 623 p.

AGBOR, V. B.; CICEK, N.; SPARLING, R.; LEVIN, D.B. Biomass pretreatment: fundamentals toward application. **Biotechnology Advances**, v. 29, p.675–685, 2011.

ALVARENGA, A. M. Coco: qual destino dar à casca. **A Lavoura**. ed. 690. Rio de Janeiro, 2012.

AOCS – American Oil Chemists’ Society. Determination of cis-, trans -, saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in vegetable or non-ruminant animal oils and fats by capillary GLC. **Official methods and recommended practices of the AOCS**. 5 ed. Official Method Ce 1h-05 . Champaign, 2005. Additions and revisions 1999-2006.

ANDRADE, B. K. S. A. **Estudo do processo da extração do óleo do pinhão manso**. 2014. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2014.

ANDRADE, B. K. S. A.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. **Extração por solvente 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.

AQUINO, R, C. **Desenvolvimento de Compósitos de Fibras de Piaçava da Espécie Attalea Funifera Mart e Matriz de Resina Poliéster**. 380 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campo dos Goitacazes. Rio de Janeiro. 2003.

BARBOSA, L. P.; OLIVEIRA, R. L.; SILVA, T. M. JESUS, I. B.; GARCEZ NETO, A. F.; BAGALDO, A. R. **Morfometria testicular de cabritos alimentados com óleo de Licuri (Syagrus coronata)**. In: ARQUIVO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, v. 64, n. 4, p. 804-809. Belo Horizonte, MG. 2012.

BARBOZA, G.P.G.; SOARES, E. V.; SANTOS, N. P. A.; DUARTE, S. C. T.; DAMASCENO, T. F.; SANTIAGO, D. **Síntese do biodiesel a partir do óleo de licuri**. In: 64ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2012, São Luís, MA. Disponível em:
<<http://prop.i.fto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4504/1352>> Acesso em: 8 jan. 2015.

BAUER, L. C.; DAMÁSIO, J. M. DO A.; DA SILVA, M. V.; SANTANA, D. A.; GUALBERTO, S. A.; SIMIONATO, J. I. **Chemical characterization of pressed and refined licuri (*Syagrus coronata*) oils.** *Acta Scientiarum. Technology*, v. 35, p. 771-776, 2013.

BEVILAQUA, G. **Produção de biodiesel etílico via catálise heterogênea.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. Campinas. 2011.

BRASIL. **Agencia Nacional de Vigilância Sanitária.** Resolução RDC nº 270, de 22 de set. 3005 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e gorduras vegetais e creme vegetal. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 25 set. 2005.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Instrução Normativa nº 191, de 24 de setembro de 2008. Aprova a Estrutura Regimental do IBAMA. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, 25 set. 2008. Disponível em: < http://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-191-2008_76905.html> Acesso em: 12 jan. 2015.

CABRAL, M. M. S. **Aproveitamento da casca do coco verde para produção de etanol de segunda geração.** Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2015.

CALLISTER, William. **Ciência e engenharia de materiais: - uma introdução.** Rio de Janeiro. LTC–Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2002.

CAPEK-MENARD, E.; JOLLEZ, P.; CHORNET, E. Pretreatment of waste paper for increased ethanol yields. *Biotechnology Letters*, v. 14, n. 10, p. 985-988, 1992.

CARVALHO, C. O. **Comparação entre métodos de extração do óleo de *Mauritia flexuosa* L.f. (Arecaceae - buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento tupé: rendimento e atividade antimicrobiana.** 2011. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) - Universidade do Estado do Amazonas. Manaus. Amazonas. 2011.

CARVALHO, R. F. **Compósito de fibra de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira.** 2005. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CAVALCANTE, P. A. W. **Estudo do Processo da Extração do óleo da Semente de Maracujá.** 2013. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2013.

CORREIA, D.; ROSA, M.F.; NORÕES, E.R.V.; ARAUJO, F.B.S. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 3, p. 557-558, 2003.

CORREIA, I. M. S.; **Extração e Pirólise do Óleo de Girassol (*Helianthus annus L.*) visando a Produção de Biocombustíveis**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. Rio Grande do Norte. 2009.

Creme Vegetal. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em: 2 jan. 2015.

CREPALDI, I. C.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. de.; RIOS, M. D. G.; PENTEADO, M. de V. C.; SALATINO, A. Composição nutricional do fruto de licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari) **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, 2001.

CREPALDI, I. ***Syagrus coronata e Syagrus vagans: Palmeiras economicamente importantes na caatinga baiana***. 119 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2001.

DRUMOND, M. A. **Licuri *Syagrus coronata* (Mart.) Becc.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 199).

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ – FIEC. **Briquete – alternativa rentável e ecológica**. 2003. Disponível em: <<http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/0603/default.asp?URL=8>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

FERNANDES, J. D.; **Análise técnica e econômica da adubação mineral e orgânica sob o cultivo da mamona e do pinhão manso**. Tese De Doutorado (Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. Paraíba, 2010.

FRANCO, F. J. P. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matrix epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra**. 2010. 77 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. Natal. 2010.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

GOMES NETO, R.J.; CARVALHO, A. S.; JESUS, D. S.; DUARTE, F. J. B.; VELOSO, M. C. C. **Extração e caracterização do óleo da amêndoa do licuri (*Syagrus coronata*)**. In: 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009, Fortaleza, CE. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T2055-1.pdf>> Acesso em: 8 jan. 2015.

GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M. Validação de metodologia para a caracterização química do bagaço de cana de açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.

- GRAZIOLA, F.; SOLIS, V. S.; CURI, R. **Estrutura química e classificação dos ácidos graxos**. In: Curi, Rui; Pompéia, Celine; Miyasaka, Célio K.; Procópio, Joaquim. (Org.). Entendendo a gordura - os ácidos graxos. Barueri: Manole, 2002, v. 1, p. 5-23.
- GUIMARÃES, P. I. C.; OLIVEIRA, R. E. C.; ABREU, R. G. **Extraindo óleos essenciais de plantas**. Química Nova na Escola. N.11, Mai. 2000.
- HUGHES, A.F.S.; LIMA, F.G.; LUCCHESI, A.M.; NETO, A.G.; UETANABARO, A.P.T. **Antimicrobial Activity of Syagrus coronata (Martius) Beccari**. In: Brazilian Archives of Biology and Technology, 2013, Curitiba, PR. vol.56 no.2, Mar./Apr.
- KIM S.; HOLTZAPPLE, M. T. Effect of structural features on enzyme digestibility of corn stover. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 583-591, 2006
- LA SALLES, K. T.S.; MENEGHETTI, S.M.P.; SALLES, W. F.; MENEGHETTI, M.R.; SANTOS, I.C.F.; SILVA, J.P.V.; CARVALHO, S.H.V.; SOLETTI, J.I. Characterization of Syagrus coronata (Mart.) Becc. oil properties of methyl esters for use as biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 6114-6117, 2010.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga**. In: Inara R. Leal, Marcelo Tabarelli, José Maria Cardoso da Silva. (Org.). Ed. Universitária da UFPE, p. IX, X, 10-17. Recife – PE, 2003.
- LOPES, U.G.C.; RIOS, P.A.F.; MOURA, F.B.P. **Tratamento para aceleração de germinação em sementes de Syagrus coronata (Mart) BECC**. In: X CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2011, São Lourenço, MG. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/xceb/resumos/1299.pdf>> Acesso em: 8 jan. 2015.
- LYND, L. R. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 21, p. 403-465, 1996.
- LYND, L. R.; WEIMER, P. L.; VAN ZYL, W. H.; PRETORIUS, I. S. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 66, n. 3, p. 506-577, 2002.
- MACEDO, A. L.; SANTOS, R. S.; PANTOJA, L.; SANTOS, A. S. Pequi cake composition, hydrolysis and fermentation to bioethanol. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 28, n. 01, p. 9-15, Jan - Mar, 2011.
- MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. G. C. **Beneficiamento da casca do coco verde**. Embrapa – Agroindústria Tropical, 2011.
- MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **ENGEVISTA**, v. 15, n.2, p.176-186, 2013.

MOCELIN, B.; OLIVEIRA JR., D. L.; CHIELLE, D. P.; TANABE, E. H.; BERTUOL, D. A.; SCHWAAB, M.; MEILI, L. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Papaya Seeds in a Tunnel Dryer Using Particle Swarm Optimization Method. **Particulate Science and Technology**, v. 32, p. 123-130, 2014.

MORETTO, E; FETT, R.; **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais na Indústria de Alimentos**. 1a. ed., Varela: São Paulo, 1998.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, n.6, p. 673 – 686, 2005.

NETO, R.J.G.; CARVALHO, A. S.; JESUS, D. S.; DUARTE, F J. B.; VELOSO, M. C. C. **Extração e caracterização do óleo da amêndoa do licuri (*Syagrus coronata*)**. In: 32^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009, Fortaleza, CE. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T2055-1.pdf>> Acesso em: 8 jan. 2015.

NUNES, M. U. C. Tecnologia para a biodegradação de casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro. **Circular técnica n.46**. Aracaju: Embrapa, 2007.

OLIVEIRA, L. C. P.; WANDERLEY, M. D.; PORTO, A. G.; SILVA, F. S.; SILVA, F. T. C.; NEVES, E. Estudo da extração e avaliação do rendimento de óleo de baru. **Revista Hestia Citino**, v.1, n.1, p.16 – 20. 2011.

OLIVEIRA, S. L. R.; **Aproveitamento da casca do coco verde (*Cocos nucifera L.*) para produção de celulases**. 2010. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará. Ceará. Fortaleza, 2010.

PARAÍSO, P. R., ZEMP, R. J. **Modelagem e Análise do Processo de Obtenção do Óleo de Soja**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. Campinas. 2001.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas – SP, 2007. Disponível em:< <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>>. Acesso em 15 jan. 2015.

PEREIRA, C. de S. S.; **Avaliação de diferentes tecnologias na extração do óleo do pinhão-manso (*Jatropha Curcas L.*)**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

PEREIRA, C. L. **Aproveitamento do resíduo do coco verde para a produção de compósitos destinados à construção rural**. 2012. 137p. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) – Departamento de Zootecnia, Universidade de São Paulo. Pirassununga. São Paulo. 2012.

PINHO, R. S.; OLIVEIRA, A. F. M.; SILVS, S. I. Potential oilseed crops from the semiarid region of northeastern Brazil. **Bioresource Technology** , v. 100, p. 6114-6117, 2009.

PINTO, L. F.; SILVA, D. I. S.; SILVA, F. R.; SANTOS, V. B.; SOLETTI, J.I.; CARVALHO, S. H. V. Assessment of the feasibility of different oil sources to biodiesel production. **Acta Scientiarum**. Technology (Online), v. 34, p. 227-231, 2012. Disponível em: < <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/11259/pdf> > Acesso em: 15 set. 2015.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, 2013.

Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2012, São Luís, MA. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/8975.htm> > Acesso em: 8 jan. 2015.

RISSI, R. N.; JÚNIOR, R. F. G. **Efeito de diferentes substratos para o crescimento inicial de licuri (*syagrus coronata* mart. Becc. - arecaceae)**. In: REVISTA ÁRVORE, v.30, n.3. Viçosa May/June, 2006 <<https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistabiologia/sumario/15/30042011081549.pdf> > Acesso em 15 ago. de 2014.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L., BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. V. Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde. **Comunicado Técnico 61**. Dezembro, 2001. Fortaleza, CE. 4p.

SANTOS NETO, J. R.; CAMANDAROBA, M. **Mapeamento dos sítios de alimentação da arara-azul-de-Lear *Anodorhynchus leari* (Bonaparte, 1856)**. Ornithologia (CEMAVE/IBAMA. Impresso), v. 3, p. 1-17, 2008.

SANTOS, B. P. T. **Otimização da extração de óleo de ouricuri para diferentes processos e solventes**. 2013. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2013.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativas do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 26p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. Paraíba. 2011.

SANTOS, J. J.; CRUZ, T. C. S.; DAMASCENO, T. F.; DUARTE, F. J. B.; SILVA, M. C.; CARVALHO, A. S. **Obtenção de biodiesel a partir do óleo de coco de licuri**. In: 64ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2012, São Luís, MA. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/8975.htm> > Acesso em: 8 jan. 2015.

SANTOS, M. L.; SANTOS, A. M.; JUNIOR, L. A. R.; SOLETTI, J. I.; S. CARVALHO, H. V. **Estudo da secagem da semente do pinhão manso**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, de 19 a 22 de setembro de 2010, Foz do Iguaçu (PR)

SANTOS, R. A. **Estudo cinético de fermentação etanólica do hidrolisado de farinha de mandioca utilizando complementação nutricional do mosto**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2013.

SANTOS, R. F. dos; BARROS, A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. de T.; REQUIÃO, L. E. G. Análise Econômica. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E.F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, 350 p.

SCHENK, P, M. THOMAS-HALL, S. R, STEPHENS E. Second generation biofuels: High-efficiency microalgae for biodiesel production. **Bioenergy Research**.1(1):20–43. 2008.

SEIXAS, K; LEAL, L.B; **Caracterização físico-química dos óleos de *Syagrus coronata* (Licuri) e *Syagrus cearenses* (Catolé)**. Disponível em: <http://www.contabeis.ufpe.br/propesq/images/conic/2011/conic/n_pibic/40/114031081SCNP.pdf> Acesso em: 8 jan. 2015.

SENHORAS, E. M. **Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta**. 2004. Disponível em: <http://www.urutagua.uem.br/005/22eco_senhoras.htm#_ftn1>. Acesso em: 2 jan. 2015.

SILVA, C. E. F. **Avaliação do potencial de uso de resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Alagoas. 2014.

SILVA, R. N.; MONTEIRO, V. N.; ALCANFOR, J. D. X.; ASSIS, E. M.; ASQUIERI, E. R. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 337-341, 2003.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 130f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade de São Paulo. São Carlos. São Paulo. 2003.

SILVA, R. V.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANI, J. R. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. **Composites Science Technology, Barking**, v.66, n.10, p.1328-1335, 2006.

SILVEIRA, **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador - BA**. 2008. 163p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Universidade Federal da Bahia. Salvador. Bahia. 2008.

SINGH, J.; BARGALE, P.C. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of food engineering**, v. 43, p. 75-82, 2000.490-4, 2000.

SOUZA O.; SCHULZ A. M.; FISCHER G. A. A.; WAGNER T. M.; SELLIN, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.915-921, 2012.

THOMAS, P. A.; POLWART, A. *Taxus baccata* L. **Journal of Ecology**, 91: 489-524. doi: 10.1046/j.1365-2745.2003.00783.x, 2003.