



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**ENGENHARIA DE ENERGIA**



**MATEUS MAIA FABRO**

**ANÁLISE IMEDIATA DO LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU**

**DOURADOS/MS**

**2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**ENGENHARIA DE ENERGIA**



**MATEUS MAIA FABRO**

## **ANÁLISE IMEDIATA DO LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia, sob a orientação do Prof. Me. Antonio Carlos Caetano de Sousa.

Área de concentração: 5.03.03.00-7  
Engenharia De Processamento De  
Produtos Agrícolas.

**DOURADOS/MS**

**2025**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:30 horas do dia 13 de JUNHO de 2025, realizou-se no(a) SALA 102, DO BLOCO D, DA UNIDADE 2, DA UFGD (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado ANÁLISE IMEDIATA DO LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

de autoria do(a) discente MATEUS MAIA FABRO, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado

O(A) discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

FAZER AS CORREÇÕES SOLICITADAS PELA BANCA

DISCENTE

Nome: MATEUS MAIA FABRO Assinatura: Mateus Maia

BANCA EXAMINADORA

Orientador: ANTONIO C.C. SOUZA Assinatura: Antonio C.C. Souza

Membro: BRUNO ARANTES MOREIRA Assinatura: Bruno Arantes Moreira

Membro: OMAR SEVE Assinatura: Omar Seve

# ANÁLISE IMEDIATA DO LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU.

Mateus Maia Fabro<sup>1</sup>; Antonio Carlos Caetano de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil ([mateus.maia01@hotmail.com](mailto:mateus.maia01@hotmail.com))

<sup>2</sup>Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Brasil ([antoniosouza@ufgd.edu.br](mailto:antoniosouza@ufgd.edu.br))

## Resumo.

Considerando o crescente interesse por fontes renováveis e o elevado potencial energético dos resíduos agroindustriais, este trabalho teve como objetivo analisar as propriedades físico-químicas do Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC), com foco em sua aplicação como biocombustível. Para isso, foi realizada uma análise imediata, determinando-se os teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. Os ensaios foram conduzidos em laboratório, utilizando balança, estufa, forno mufla e cadinho de porcelana, com base em metodologias consolidadas na literatura técnica. Os resultados obtidos indicaram um teor de umidade de 1,90% e um teor de materiais voláteis de 96,66%. Características desejáveis para a combustão eficiente da biomassa. O teor de cinzas teve um valor de 0,29%, evidenciando reduzida presença de resíduos inorgânicos após a queima, enquanto o teor médio de carbono fixo foi de 1,15%. Esses parâmetros indicam que o LCC apresenta características físico-químicas favoráveis para uso energético, recomendando-se, no entanto, a realização de análises complementares para confirmação de sua viabilidade energética e ambiental.

Palavras-chave: Biocombustível, Resíduos agroindustriais, Uso energético.

## Abstract.

Considering the growing interest in renewable sources and the high energy potential of agro-industrial residues, this study aimed to analyze the physicochemical properties of Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), focusing on its application as a biofuel. For this purpose, a proximate analysis was carried out to determine the moisture content, volatile matter, ash, and fixed carbon. The experiments were conducted in the laboratory using a balance, laboratory oven, muffle furnace, and porcelain crucible, following methodologies well established in the technical literature. The results indicated a moisture content of 1.90% and a volatile matter content of 96.66%, both of which are desirable characteristics for the efficient combustion of biomass. The ash content had a value of 0.29%, indicating a reduced presence of inorganic residues after combustion, while the average fixed carbon content was 1.15%. These parameters suggest that CNSL has favorable physicochemical characteristics for energy use; however, further analyses are recommended to confirm its energy and environmental viability.

Keywords: Agro-industrial residues, Biofuel, Energy use.

## 1. INTRODUÇÃO

A matriz energética global tem historicamente dependido principalmente de combustíveis fósseis e recentemente está começando a manifestar seu lado negativo, a principal desvantagem sendo seu impacto ambiental. O contínuo declínio das fontes de energia convencionais, como petróleo e carvão, impulsiona uma busca crescente por fontes de energia sustentáveis (Pereira, 2017). Com a crescente ênfase na descarbonização no mundo, o mercado global de biomassa para uso como combustível está em constante expansão. Para atender a essa crescente demanda em nações emergentes, como o Brasil, sugere-se a inclusão de resíduos agroindustriais, no mercado de combustíveis e pesquisas de produção de energia, pois desempenha um papel fundamental devido ao seu potencial energético. (Escobar, 2016).

A exploração e pesquisa de recursos energéticos são cruciais para a segurança energética de um país, como demonstrado com a crise do petróleo da década de 1970 no Brasil. Embora o país tenha criado o PROÁLCOOL, programa criado pelo governo brasileiro devido à crise de petróleo e incentivado a produção e utilização de etanol como combustível, para reduzir a dependência de combustíveis fósseis nos últimos anos, o foco voltou-se para a produção nacional de petróleo, com menor investimento em outras fontes renováveis, como a biomassa. O Brasil possui um vasto potencial de energia solar, eólica e biomassa, especialmente devido ao seu clima majoritariamente tropical e à grande produção agrícola. A exploração mais ampla dessas fontes alternativas é fundamental para garantir a sustentabilidade energética do país e reduzir sua vulnerabilidade à futuras crises energéticas (Souza et al., 2002).

A pesquisa sobre o aproveitamento da biomassa como biocombustível está ganhando reconhecimento em nível global, impulsionada pela crescente necessidade de fontes de energia renováveis. Os resíduos lignocelulósicos provenientes de matéria prima vegetal apresentam um notável potencial para a geração de bioenergia por meio da combustão, conferindo um valor adicional a esses materiais. Contudo, é de suma importância possuir um conhecimento aprofundado das propriedades físico-químicas de um material antes de utilizá-lo como biocombustível. Essas propriedades incluem um teor de umidade adequado, baixo teor de cinzas, elevado poder calorífico e boa disponibilidade no mercado. A composição química de um material exerce um impacto direto no seu desempenho energético, sendo que maiores proporções de lignina, celulose e carbono estão associadas a um maior poder calorífico e a uma combustão mais controlada e eficaz (Pires, 2013).

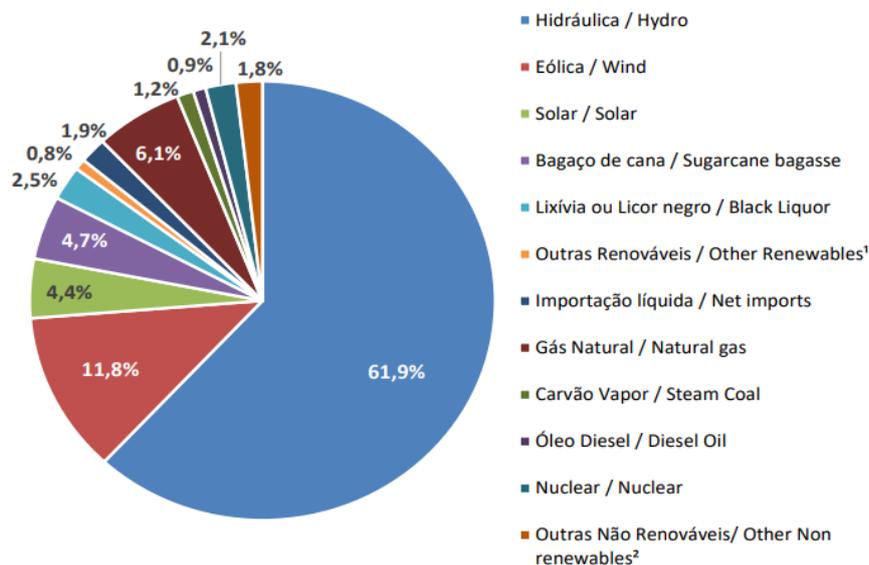
O Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC) pode ser considerado uma matéria-prima versátil com amplas aplicações na forma de revestimentos de superfície, tintas e vernizes, bem como na produção de polímeros. Nesse contexto, os constituintes químicos do LCC (ácido anacárdico, cardanol, 2-cardol e metilcardol) tornam-se promissores no desenvolvimento de novos componentes de materiais. Uma vez separado, o LCC pode ser utilizado na pesquisa e desenvolvimento de aditivos, surfactantes, produtos farmacêuticos, pesticidas, polímeros, resinas e outros. Sendo um subproduto, o LCC utilizado na preparação de novos materiais é caracterizado como uma verdadeira inovação tecnológica (Telascrêa et al., 2014).

A casca da castanha de caju apenas, por si só, não gera nenhum debate, pois não há nenhum fim comercial atualmente. O ponto crucial é a viabilidade econômica e uso prático. Com o uso do caju, fruto emblemático da região Nordeste do Brasil, gera-se um debate sobre o aproveitamento integral dos resíduos produzidos por essa fruta. Enquanto as amêndoas são amplamente comercializadas, a casca da castanha, rica em um líquido viscoso e escuro chamado LCC, começa a ganhar destaque graças à busca por biocombustíveis provenientes de resíduos que ainda não tem outro fim. Essa nova perspectiva, aliada ao fato de o Brasil ser um grande produtor de castanha-de-caju, abre um leque de oportunidades para a indústria nacional, que poderia agregar valor a um subproduto até então pouco explorado, reduzindo a necessidade de importações e impulsionando a economia regional (Mazzetto; Lomonaco, 2019).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Matriz Energética Brasileira

Desde a Revolução Industrial (1760-1840), observa-se a importância da energia para o desenvolvimento econômico e social dos países, além de ser um dos parâmetros de classificação do nível de desenvolvimento de um país, especialmente em um contexto global com crescente preocupação ambiental. O Brasil, com seus abundantes recursos energéticos renováveis, possui uma grande oportunidade para se destacar nesse cenário. No entanto, o país também enfrenta o desafio de garantir a segurança energética e a sustentabilidade ambiental para atender às demandas de sua crescente economia. Para aproveitar essa oportunidade e superar os desafios, é fundamental que o Brasil invista em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e em uma gestão eficiente de seus recursos energéticos (Tolmasquim; Guerreiro; Gorini, 2007). Como é possível visualizar na **Figura 1**, a matriz energética brasileira é diversificada e isso é uma vantagem em relação os países com poucas alternativas para a geração de energia.



**Figura 1:** Matriz energética brasileira em 2023 (Ministério de Minas e Energia, 2024).

O Brasil experimentou um aumento considerável de consumo de energia a partir da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), impulsionado pela urbanização, industrialização e expansão da infraestrutura. Entre 1940 e 2000, o consumo de energia primária quase triplicou, acompanhando o crescimento populacional, de uma população de 41 milhões de habitantes e consumo de energia primária de 15 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), para uma população de 170 milhões nos anos 2000 e um consumo de 190 milhões de TEP, com perspectiva de 238 milhões de brasileiros em 2030 consumindo cerca de 560 milhões de TEP. No entanto, o consumo per capita sempre foi baixo em comparação aos países desenvolvidos, indicando um grande potencial de crescimento. A projeção para os próximos anos aponta para uma demanda maior por energia, impulsionada pelo crescimento econômico e pela expansão da população, o que exige planejamento e investimento em fontes de energia mais eficientes e sustentáveis (Tolmasquim; Guerreiro; Gorini, 2007).

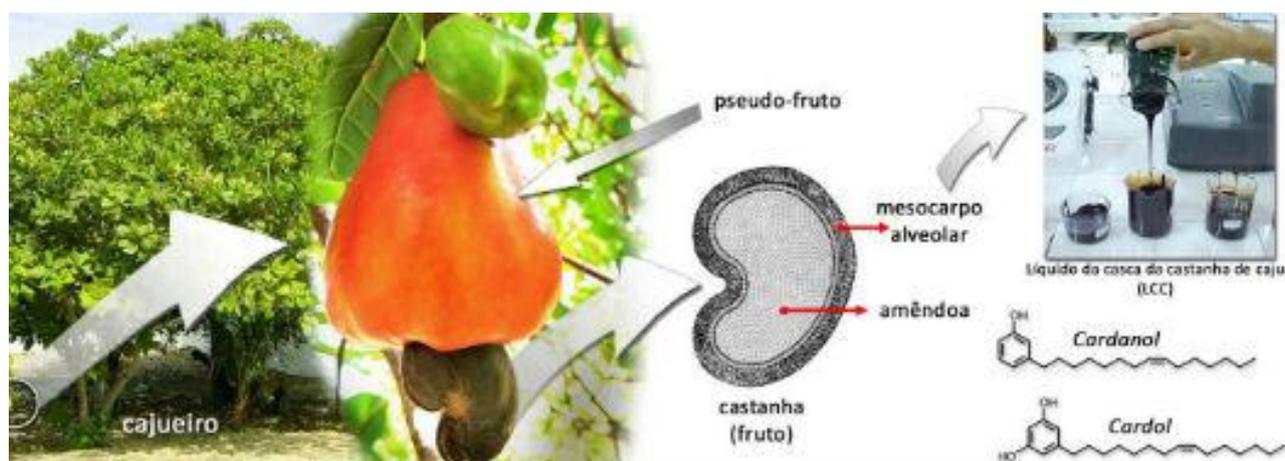
## 2.2. Biomassa

O uso da biomassa como fonte de energia renovável tem se mostrado cada vez mais promissor diante da necessidade de reduzir os impactos do aquecimento global. A matéria-prima vegetal é o material orgânico proveniente de plantas que aparece como uma alternativa aos combustíveis fósseis, especialmente em países em desenvolvimento. Nos últimos anos, avanços tecnológicos têm permitido a conversão de resíduos orgânicos em energia de forma mais eficiente e competitiva, tornando-a uma opção atrativa economicamente. A composição da biomassa varia de acordo com a espécie vegetal, sendo que plantas lenhosas e herbáceas possuem características distintas em termos de celulose, hemicelulose e lignina. Embora a massa biológica tenha um grande potencial para a produção de energia, é fundamental que seu uso seja acompanhado por práticas de reflorestamento e manejo sustentável para garantir a preservação dos recursos naturais e evitar impactos ambientais negativos. O terceiro mundo, que já utiliza esse material como fonte de energia tradicional, pode desempenhar um papel crucial nessa transição energética, enquanto os países desenvolvidos devem investir em tecnologias e políticas que incentivem a produção e o uso sustentável dos resíduos agroindustriais (McKendry, 2002).

Fontes de energia de origem vegetal apresentam-se como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. No entanto, é preciso considerar a importância de um manejo sustentável dos recursos naturais, garantindo a reposição das áreas utilizadas para o cultivo de matéria orgânica e evitando impactos negativos sobre a biodiversidade e os ecossistemas. A pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a conversão de resíduos vegetais em energia são essenciais para melhorar seu potencial e torná-lo uma fonte de energia cada vez mais competitivo e sustentável (McKendry, 2002).

## 2.3. Líquido da Casca da Castanha de Caju

O líquido da casca da castanha de caju representa 25% do peso da casca da castanha e está presente na região chamada de mesocarpo, na parte intermediária entre a amêndoa e a casca, com sua estrutura alveolada, atua como um reservatório natural de LCC, semelhante ao padrão observado em colmeias. Ela é uma substância rica em fenóis, compostos orgânicos com propriedades interessantes e que podem ser úteis para diversos fins. Extraído da região intermediária da casca da castanha de caju, o LCC possui um grande potencial para diversas aplicações (Mazzetto; Lomonaco, 2019). A **Figura 2** apresenta a castanha e o pseudofruto do caju, e é possível a visualização dos componentes como o pericarpo que é a camada mais externa, mesocarpo que é a intermediária e endocarpo que é a camada interna da casca castanha de caju.



**Figura 2:** Pseudofruto e castanha do caju (Mazzeto; Lomonaco, 2019).

O líquido da casca da castanha de caju é um resíduo agro-industrial da tostagem das castanhas de caju, sendo um recurso renovável que pode ser utilizado devido às suas características físico-químicas. Este líquido da exsudação, liberação de líquido do interior para o exterior da fruta, das cascas da castanha do caju no processo térmico (tostagem) possui baixo custo, grande disponibilidade e seu descarte inadequado podem representar riscos ambientais. As moléculas que constituem o LCC possuem composição definida e podem ser empregadas em diversas aplicações: polímeros, inibidores de corrosão, fabricação de laminados como aglutinantes livres ou modificados, visando melhorar a flexibilidade, entre outras aplicações (Voirin et al., 2014).

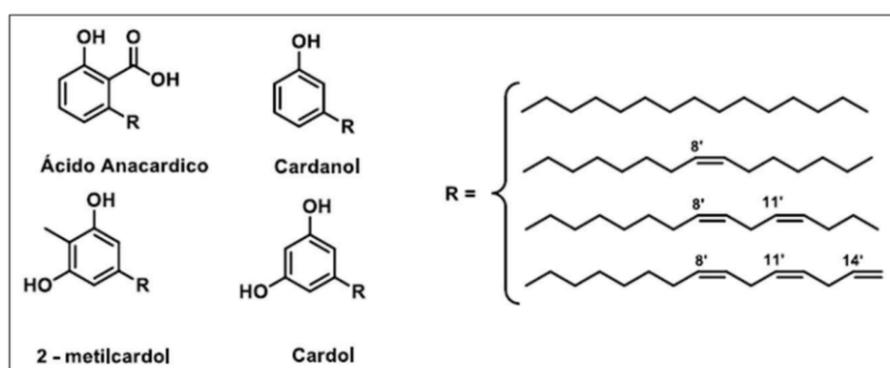
As moléculas da composição do LCC são fenóis lipídicos. Estes produtos de composição do LCC são produtos que podem ser valorizados devido à facilidade de conversão química a partir do núcleo aromático ou cadeias laterais alifáticas. Estas cadeias podem ser longas e contém insaturações para as modificações químicas. Estas estruturas moleculares devidamente modificadas podem oferecer diferentes propriedades, que pode ampliar o potencial de uso, principalmente, em aplicações comuns em produtos poliméricos, por exemplo, aglutinação, flexibilidade, propriedades hidrofóbicas, combustíveis e outras (Bloise et al., 2023).



**Figura 3:** Amostra do Líquido da Casca da Castanha do Caju.

#### 2.4. Estrutura da Biomassa

O líquido natural extraído da casca da castanha do caju (LCC) é um composto de consistência viscosa, representando aproximadamente 25% da massa da casca da castanha. O líquido é visto como um resíduo de baixo valor dentro da indústria e da cadeia produtiva do caju. Estudos indicam que essa substância (rica em fenóis lipídicos) é uma combinação de 4 (quatro) compostos fenólicos lipídicos: cardanol, cardol, ácido anacárdico e 2-metilcardol. Mostra-se na **Figura 4** os constituintes do LCC. A composição do LCC natural e LCCt são diferentes após o tratamento térmico (tostagem da castanha de caju na indústria; ocorrendo a descarboxilação da molécula do ácido anacárdico em cardanol) a 185°C; o LCC (rico em ácido anacárdico) transforma-se em LCCt (rico em cardanol) (Mazzeto; Lomanaco; 2009).



**Figura 4:** Estruturas moleculares de fenóis lipídicos do LCC antes e depois da tostagem (Moreira; Gaspar; Lucas, 1998).

Devido às características físico-químicas e biológicas do LCC e do seu potencial combustível, ele necessita de baixo tratamento térmico para a polimerização devido às características dos resíduos que são pré-polimerizados a partir do tratamento térmico na indústria.

## **2.5. Desafios do Uso de Cascas de Caju como Combustível**

O uso das cascas de caju como combustível industrial, apesar de seu alto poder calorífico, enfrenta diversos desafios. A presença de fenóis nessas cascas causa danos aos revestimentos dos fornos, reduzindo sua vida útil. Além disso, a queima da casca libera substâncias tóxicas e corrosivas, como o ácido anacárdico, prejudicando a saúde dos trabalhadores e o meio ambiente. A alta concentração de carbono contribui para a emissão de fumaça negra durante a combustão, especialmente em condições de baixa oxigenação. Por fim, o alto teor de óleo e a acidez das cascas dificultam o manuseio, exigindo cuidados especiais para evitar acidentes, como trabalhadores reportando sobre queimação na pele e até mesmo a pele descascar após o contato direto com o LCC (Steamax Envirocare, 2022).

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivos gerais**

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise imediata da composição do material bem como suas propriedades. Os testes devem ser feitos na intenção de garantir a segurança, qualidade e o desempenho do produto. Os resultados obtidos por estudos facilitam a tomada de decisão sobre seu uso, possibilitando tomadas de decisões mais precisas e eficientes, contribuindo para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis.

### **3.2. Objetivos específicos:**

Os objetivos específicos são:

- Realizar ensaios e caracterizações físico-químicas para análise das propriedades da matéria-prima; e
- Avaliar o potencial do LCC como matéria prima para diferentes fins como biocombustíveis.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Matéria-prima utilizada**

Líquido da Casca da Castanha do Caju (LCC) ou como é conhecido em inglês CNSL, (*Cashew Nut Shell Liquid*) estudado é proveniente do nordeste brasileiro. O LCC pode ser obtido tanto por extração mecânica quando por meio de processos com solventes. No método mecânico o material é inicialmente aquecido com vapor até atingir cerca de 80 °C. Em seguida, ela passa por um processo de prensagem, por meio do qual se extrai o Líquido da Casca da Castanha de Caju, restando uma torta com certa quantidade residual desse líquido. Esse resíduo é posteriormente extraído utilizando solventes como benzeno, tolueno, solventes de hidrocarbonetos de petróleo ou álcoois, ou a extração supercrítica usando uma mistura de CO<sub>2</sub> e álcool isopropílico são outras técnicas relatadas. Relatos de um descascador de castanha de caju elétrico também surgiram (Luby; Thachil, 2000).

### **4.2. Caracterização físico-química da biomassa**

Segundo a Associação Brasileira de Normas e Técnicas - ABNT a norma NBR 8112/83, já cancelada, foi usada como base para a realização dos ensaios. Apesar de essa norma ter sido criada para análise de material sólido, a ausência de uma norma específica ou uma que a substituísse para análise de líquidos e óleos fez dessa a única opção viável (ABNT, 1983).

#### **4.2.1. Teor de umidade**

O teor de umidade das matérias-primas foi determinado usando uma balança de umidade da marca Bioscale. O princípio de funcionamento é a pesagem do material antes de ser colocado no forno, após 24h o material é pesado

novamente, a diferença de massa é a quantidade de água que evaporou no processo, essa água é a umidade que estava presente no material.

$$TU = \frac{m_1 - m_0}{m_1} * 100 \quad (1)$$

Onde:

TU = teor de umidade (%)

$m_1$  = massa do cadinho + amostra inicial (g)

$m_0$  = massa do cadinho + massa da amostra desidratada (g)

Para realizar a análise, é utilizada uma pequena quantidade de biomassa (LCC) que será colocada em uma estufa com a temperatura regulada para 115°C. Nas **Figuras 5 e 6** são apresentados os instrumentos utilizados para realizar as medições.



**Figura 5:** Balança utilizada para realizar as pesagens.



**Figura 6:** Estufa utilizada para retirar a umidade da biomassa.

O teor de umidade está relacionado com a quantidade de água contida no material ao utilizar a biomassa como biocombustível. O teor de umidade pode afetar significativamente o poder calorífico da amostra, portanto, quanto menor o teor de umidade, menor a perda de calor durante a combustão do material (Vieira, 2012).

#### 4.2.2. Teor de materiais voláteis

O teor de materiais voláteis presentes na biomassa foi calculado seguindo a equação abaixo:

$$MV = \frac{M_1 - M_2}{M} * 100 \quad (2)$$

Onde:

MV = teor de material volátil (%)

$M_1$  = massa da amostra seca (g)

$M_2$  = massa final do cadinho com a amostra + massa da tampa do cadinho (g)

M = massa inicial do cadinho com a amostra + massa da tampa do cadinho (g)

Para determinar os valores necessários, utilizou-se LCC em um cadinho de porcelana e sua tampa. Após aquecer o forno mufla a 900°C, colocou-se o cadinho fechado com o líquido da casca da castanha de caju por sete minutos. Depois desse tempo, coloca-se o cadinho em dessecador preenchido com sílica gel. Segundo Vieira (2012) o conteúdo volátil é a fração da biomassa que evapora quando aquecida e é medida como a fração mássica da biomassa que se volatiliza durante o aquecimento da amostra. Este conteúdo está relacionado com a facilidade de queima da biomassa. Na **Figura 7** é mostrado o forno utilizado para a realização dos testes.



**Figura 7:** Forno usado nos ensaios.

#### 4.2.3. Teor de cinzas

Na análise do teor de cinzas da biomassa em estudo, utiliza-se uma amostra, que foi adicionada ao cadinho colocando-a em mufla a 600°C por 10 minutos. Após esse tempo, o cadinho é colocado em um dessecador até atingir a temperatura ambiente. O teor de cinzas é determinado pela seguinte relação:

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} * 100 \quad (3)$$

Sendo:

CZ = teor de cinzas (%)

$m_1$  = massa do cadinho + massa da tampa do cadinho + amostra após combustão (g)

$m_0$  = massa do cadinho + massa da tampa do cadinho (g)

m = massa da amostra inicial (g)

#### 4.2.4. Teor de carbono fixo

O cálculo para o teor de carbono fixo em uma amostra é realizado a partir da relação apresentada a baixo, considerando o teor de cinzas e o teor de materiais voláteis da amostra:

$$CF = 100 - (CZ + MV + TU) \quad (4)$$

Sendo:

CF= teor de carbono (%)

CZ = teor de cinzas (%)

MV = teor de materiais voláteis (%)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teor de umidade está relacionado à quantidade de água contida no material. Conforme destacado por Vieira (2012), quando a biomassa é utilizada como biocombustível, o teor de umidade tem um impacto negativo significativo, interferindo nas propriedades do poder calorífico da amostra, portanto, quanto menor o teor de umidade, menor será a perda de energia. Quando a taxa unitária de umidade da biomassa for superior a 14%, pode-se considerar que o material não trará retornos satisfatórios na conversão energética, pois a maior parte do calor gerado durante a combustão será utilizado para retirar a umidade do material e não poderá ser reutilizado. O conteúdo de substâncias voláteis é determinado a uma temperatura de 900°C.

Segundo Vieira (2012) o conteúdo volátil é a parte da biomassa que evapora como gás quando aquecida e é medido como a fração mássica da biomassa que volatiliza durante o aquecimento da amostra. Este conteúdo está relacionado à facilidade com que a biomassa queima. Neste tipo de análise podem existir impurezas presentes na biomassa que fazem com que os valores obtidos fiquem menos próximos. Devido ao alto teor de matéria volátil e baixa concentração de cinzas, quando a soma dos dois valores é subtraído do total, o teor de carbono fixo resultante é menor. Na **Tabela 1** são expostos os valores obtidos em laboratório após os testes para que os cálculos de cada uma das análises pudessem ser feitas.

**Tabela 1-** Massas obtidas em laboratório em gramas (g)

Amostra	Massa inicial	Sem umidade + tampa	Cinzas + cadinho + tampa
1	61,4489 + 2,0018	63,4242 + 34,6694	96,1207
2	61,1678 + 2,0026	63,1344 + 29,9519	91,1290
3	63,2380 + 2,0044	65,2038 + 30,2253	93,4756
4	60,7181 + 2,0051	62,6771 + 28,1113	88,8333
5	60,7465 + 2,0010	62,7043 + 29,9026	90,6562

Na **Tabela 2** são descritos os valores em gramas das amostras desconsiderando o recipiente nesse caso o cadinho de porcelana e sua tampa, resultando as massas das amostras.

**Tabela 2-** Valores calculados em gramas (g)

Amostra	Massa inicial	Massa seca	Após extração dos materiais voláteis	Teor de cinzas
1	2,0018	1,9753	0,0540	0,0024
2	2,0026	1,9666	0,0227	0,0093
3	2,0044	1,9658	0,0191	0,0123
4	2,0051	1,9590	0,0303	0,0039
5	2,0010	1,9578	0,0236	0,0071

**Tabela 3** são apresentadas as frações de biomassa em gramas, O desvio padrão médio foi aproximadamente  $\pm 0,00991$  g.

**Tabela 3-** Massa das frações de biomassa em gramas (g)

<b>Amostra</b>	<b>Massa da umidade</b>	<b>Massa dos voláteis</b>	<b>Massa do carbono fixo</b>	<b>Massa das cinzas</b>
1	0,0265	1,9213	0,0516	0,0024
2	0,0360	1,9439	0,0134	0,0093
3	0,0386	1,9467	0,0068	0,0123
4	0,0461	1,9287	0,0264	0,0039
5	0,0432	1,9342	0,0165	0,0071
MÉDIA	0,0381	1,9350	0,0229	0,0070

Na **Tabela 4** são disponibilizados os resultados em porcentagem de cada um dos testes para as cinco amostras após cálculos.

**Tabela 4-** Valores calculados em porcentagem (%)

<b>Amostra</b>	<b>Teor de umidade</b>	<b>Materiais voláteis sem umidade</b>	<b>Carbono fixo</b>	<b>Teor de cinzas</b>
1	1,3238	95,9786	2,5777	0,1199
2	1,7984	97,1076	0,6694	0,4246
3	1,9283	97,2475	0,3397	0,4846
4	2,3029	96,3483	1,3188	0,0300
5	2,1581	96,6230	0,8243	0,3946

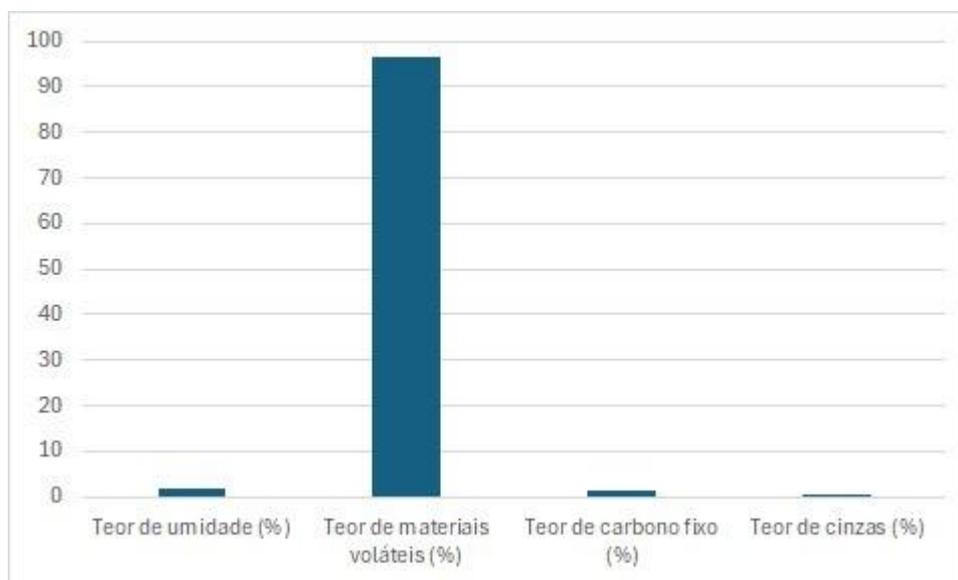
Na **Tabela 5** são apresentadas as médias dos resultados da análise físico-química do líquido da castanha do caju.

**Tabela 5 –** Resultado da análise imediata do líquido da casca da castanha de caju

<b>Teor de umidade (%)</b>	<b>Teor de materiais voláteis (%)</b>	<b>Teor de carbono fixo (%)</b>	<b>Teor de cinzas (%)</b>
1,9023	96,6610	1,1460	0,2907

No **Gráfico 1** mostra a distribuição média dos principais parâmetros físico-químicos obtidos na análise imediata do LCC. Observa-se uma diferença significativa entre os valores de cada componentes. Os valores do teor de umidade variaram entre 1,23% e 2,30%, com uma média de 1,90%. Esse resultado indicou que o LCC poderia ser utilizado em processos de combustão, por estar muito abaixo do limite de 14%, considerado problemático para a conversão energética, conforme indicado por Vieira (2012). O LCC apresentou variação entre 95,97% e 97,24% no teor de materiais voláteis, com uma média de 96,66%, um valor elevado que reforçou seu potencial como biomassa de alta reatividade térmica. De acordo com Vieira (2012), materiais com alto conteúdo volátil tendem a queimar com maior facilidade e eficiência. O teor de cinzas variou entre 0,03% e 0,48%, com média de 0,29%, sendo considerado extremamente baixo, com mínima formação de resíduos sólidos após a combustão. Isso implicaria uma menor necessidade de manutenção em caldeiras e sistemas de exaustão. Por fim, o carbono fixo variou entre 0,33% e 2,57%, com valor médio de 1,15%, considerado relativamente baixo, o que foi coerente com o alto teor de voláteis. Esse valor reforçou o perfil do LCC como um combustível de ignição rápida e combustão eficiente, adequado para processos que exigem combustão prolongada, com menor geração de resíduos.

**Gráfico 1** – Resultado da análise imediata do líquido da casca da castanha de caju



## 6. CONCLUSÃO

O teor de umidade das amostras indicou que este valor é adequado para os processos de combustão e produção de energia térmica, além também da disponibilidade e custo da matéria-prima. A análise imediata realizada com o Líquido da Casca de Castanha de Caju (LCC) demonstrou que a biomassa apresenta características físico-químicas relevantes para seu uso como biocombustível. Os resultados indicaram um baixo teor de umidade, o que deduz uma alta eficiência energética durante a combustão, além de um alto teor de materiais voláteis, associado a uma queima mais facilitada e reativa.

Apesar da ausência de comparação direta com dados de outros estudos similares, os resultados obtidos são promissores e contribuem para o entendimento do LCC como uma fonte de energia, principalmente em contextos onde a valorização de resíduos agroindustriais é uma prioridade. No entanto, algumas limitações precisam ser destacadas. A análise não contemplou ainda o poder calorífico superior (PCS) do LCC nem a característica dos gases emitidos durante a combustão, que são fatores essenciais para avaliar os impactos ambientais e o desempenho energético completo do material.

Sendo assim, para consolidar esses dados, recomenda-se a realização de estudos futuros que avaliem o PCS e as emissões de poluentes, garantindo uma análise mais abrangente da viabilidade técnica e ambiental do LCC. Além disso, seria interessante investigar métodos de pré-tratamento da biomassa para aperfeiçoar sua combustibilidade, bem como análises econômicas que comprovem sua competitividade frente a outras fontes de energia renovável, ainda uma análise detalhada da composição química, por cromatografia ou espectroscopia. Dessa forma, o LCC não apenas se consolidaria como uma alternativa energética sustentável, mas também como um impulsionador da economia circular no setor agroindustrial.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS – ABNT. NBR 8112/83. Rio de Janeiro-RJ.

BLOISE, Eremelinda; LAZZOI, Maria Rosaria; MERGOLA, Lucia; SOLE, Robeta de; MELE, Giuseppe. **Advances in nanomaterials based on Cashew Nut Shell Liquid**. Department of Engineering for Innovation, University of Salento, Lecce-Itália. *Nanomaterials* 2023, 13(17), 2486. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/13/17/2486> Acesso em 03 dez. 2024.

ESCOBAR, Javier Farago. **A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: o caso dos pellets de madeira**. São Paulo – SP. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

LUBI, Mary C.; THACHIL, Eby Thomas. 2000. **Cashew nut shell liquid (CNSL)-a versatile monomer for polymer synthesis**. *Designed Monomers and Polymers*, 3, 123-153. Department of Polymer Science and Rubber Technology, Cochin University of Science and Technology, Kochi, Índia.

MAZZETTO, Selma Elaine; LOMONACO, Diego. **Líquido da casca da castanha-de-caju: de subproduto do agronegócio a protagonista da química**. 2019. Disponível em: <https://agencia.ufc.br/liquido-da-casca-da-castanha-de-caju-de-subproduto-do-agronegocio-a-protagonista-da-quimica/>. Acesso em 02 dez 2024.

MCKENDRY, Peter. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. *Bioresource technology* 83(1), 37-46, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401001183#preview-section-snippets>. Acesso em 03 dez. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional 2024 base 2023 – Relatório Final**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2023/relatorio-final/ben2023.pdf/view>. Acesso em 03 dez. 2024.

MOREIRA, Luis Fernando B; GONZÁLEZ, Gaspar; LUCAS, Elizabete F., **Estudo da interatividade entre macromoléculas asfálticas e compostos estabilizantes: LCC e Cardanol**. *Polímeros* 8 (3), 1998.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A. **Correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels**. *Fuel* 84(5), 487-494, 2005.

PEREIRA, Arthur Santos. **Uso de pellets de madeira para fins energéticos: pesquisa de mercado**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2017. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/18979/1/2017\\_ArthurSantosPereira.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/18979/1/2017_ArthurSantosPereira.pdf). Acesso em 04 dez. 2024.

PIRES, Ariane Aparecida Felix. **Resíduos lignocelulósicos para biocombustível sólido: caracterização e termogravimétrica aplicada**. 2013. Sorocaba-SP, 2013. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis). Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1180/PIRES\\_Ariane\\_2013.pdf?sequence=1&isAllo wed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1180/PIRES_Ariane_2013.pdf?sequence=1&isAllo wed=y). Acesso em 05 dez. 2024.

SOUZA, Samuel N. M. de; SORDI, Alexandre; OLIVA, Carlos A.. **Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná**. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 2002. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022002000200042&lng=pt&nrm=is o&tlng=pt](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200042&lng=pt&nrm=is o&tlng=pt). Acesso em 02 dez. 2024.

STEAMAX ENVIROCARE. **Are Cashew by-products safe as fuel?** 2022. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/cashew-by-products-safe-fuel-steamax-envirocare/>. Acesso em 04 dez. 2024.

TELASCRIÊA, Marcelo; LEÃO, Alcides L.; FERREIRA, M. Z.; PUPO, H. F. F.; CHERIAN, Bibin Mathew; NARINE, Suresh. **Use of a Cashew Nut Shell Liquid Resin as a Potential Replacement for Phenolic Resins in the Preparation of Panels – A Review**. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 604(1), 222–232. 2014. Acesso em 04 dez. 2024.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno; GUERREIRO, Amílcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?lang=pt>. Acesso em 03 dez. 2024.

VIEIRA, Ana Carla. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Cascavel-PR, 2012. Dissertação (Mestrado em Energia da Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. [https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao\\_Ana\\_C\\_Vieira.pdf](https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf). Acesso em 01 dez. 2024.

VOIRIN, Coline; CAILLOL, Sulvain; SADAVARTE, Nilaksji V.; TAWADE, Bhausahed V.; BOUTEVIN, Bernard; WADGAONKAR, Prakash P.. **Functionalization of cardanol: towards biobased polymers and additives.** Polymer Chemistry 5, 3142-3162, 2014.