

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**JULIANA CRISTINA RODRIGUES DE ARAÚJO**

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE**  
*Eucalyptus* **PLANTADOS EM PERNAMBUCO**

**RECIFE-PE**  
**2024**

**JULIANA CRISTINA RODRIGUES DE ARAÚJO**

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE  
*Eucalyptus* PLANTADOS EM PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Rafael Leite Braz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A663c Araújo, Juliana Cristina Rodrigues  
Caracterização energética da madeira de quatro clones de Eucalyptus plantados em Pernambuco / Juliana Cristina Rodrigues Araújo. - 2024.  
39 f.

Orientador: Rafael Leite Braz.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2024.

1. Biomassa. 2. Florestas Plantadas. 3. Química imediata. 4. Potencial energético. I. Braz, Rafael Leite, orient. II. Título

CDD 634.9

---

JULIANA CRISTINA RODRIGUES DE ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE  
*Eucalyptus* PLANTADOS EM PERNAMBUCO**

Aprovado em: 08 de março de 2024.

Banca avaliadora:

---

**Dra. Elaine Cristina Alves da Silva**  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

---

**Prof. Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva**  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Orientador:

---

**Prof. Dr. Rafael Leite Braz**  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

RECIFE-PE  
2024

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor da minha trajetória e a minha mãe, que não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me abençoar sempre com coragem para enfrentar os desafios da vida, agradeço principalmente a minha mãe, Marineide da Silva, por sempre me motivar e acreditar no meu potencial, por todo apoio e incentivo esta jornada.

Agradeço ao meu irmão Giovanne Allan, por sempre lutar e cuidar tão bem de mim e pela parceria, apoio incontestável durante todos esses anos, por sempre me ouvir com atenção, me incentivando. Ao meu irmão Felipe Luis pelo apoio e dedicação de sempre.

A todos os meus professores, em especial aos do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE que me incentivaram a buscar a excelência profissional. Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Rafael Braz, o qual me orientou desde a iniciação científica até a produção deste trabalho, sempre incentivando para o melhor, demonstrando determinação frente às dificuldades e divergências.

Agradeço aos integrantes do Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE, em especial Irlan Campelo, pela paciência e compreensão, pela parceria e sempre me apoiando; Walison e Suzana por toda ajuda.

A todos os integrantes da Florar Consultoria Ambiental Jr. 2022, que tanto me ensinaram, me ajudaram a crescer. Agradecimentos especiais à Rubia Rafaela e Géssyca Sena, por toda a experiência, momentos felizes e descontraídos durante esta jornada.

Agradeço ao Laboratório de Dendrologia; Thiago, Manu e Marília, por toda orientação e ajuda durante a minha experiência no PAVI. A minha prima Cibelle Reis por todo incentivo durante a graduação e apoio. Mariane Oliveira e Marcio Faustino obrigada pela parceria, gratidão por todos os ensinamentos e a imensa ajuda. Agradeço a Maria Cristina Alpiano, por todo apoio e incentivo nesta jornada.

Gratidão a todos os colegas e amigos do curso de Engenharia Florestal e da Universidade Federal Rural de Pernambuco com quem tive a oportunidade de interagir. Vocês fazem parte dessa trajetória, pois sem vocês eu não teria chegado até aqui, obrigada pela jornada!

Gratidão a todos os amigos que de alguma forma contribuíram nessa caminhada até aqui.

## RESUMO

O Brasil tem como principal matriz energética as hidroelétricas, porém, nem todas as regiões conseguem alcançar os índices desejados de fornecimento de energia, sendo assim, a busca para diversificar a matriz energética utilizando os recursos disponíveis de cada região, está em ascensão. A matriz energética brasileira sempre utilizou a biomassa florestal para que fosse possível suprir parte das demandas, tendo como principal uso o carvão vegetal e a lenha. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização energética da madeira de quatro clones de *Eucalyptus*, sendo os híbridos *E. urophylla* x *E. Grandis* e o (*E. camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. Urophylla*, ambos com seis anos de idade, coletados no município de Paudalho na Zona da Mata de Pernambuco e dois clones de *Eucalyptus urophylla* com oito anos de idade, proveniente de um plantio experimental localizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) na chapada do Araripe, município de Araripina – PE. As análises foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, onde foram determinados o teor de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo da madeira conforme norma da ASTM. Com dos valores das variáveis obtidas, foram estimados o poder calorífico superior, inferior e útil. Os dados foram submetidos ao teste de Tukey ( $p = 5\%$ ) para a comparação de médias. De acordo com os resultados obtidos, os clones não apresentaram diferença em relação as variáveis analisadas, portanto todos seriam uma alternativa viável de matriz energética para a região. Recomenda-se o estudo de outras propriedades da madeira, inclusive as energéticas bem como das variáveis de crescimento do material, buscando obter mais informações para selecionar o melhor material genético visando a produção de biomassa para energia na região.

**Palavras-chave:** Biomassa, Florestas Plantadas, Química imediata, Potencial energético.

## ABSTRACT

Brazil's main energy matrix is hydroelectric plants, however, not all regions are able to achieve the desired energy supply rates, so the search to diversify the energy matrix using the available resources of each region is on the rise. The Brazilian energy matrix has always used forest biomass to be able to meet part of the demands, with charcoal and firewood as the main use. Thus, the present work aimed to carry out the energetic characterization of the wood of four clones of *Eucalyptus*, being the hybrids *E. urophylla* x *E. grandis* and the (*E. camaldulensis* x *E. grandis*) x *E. Urophylla*, both six years old, collected in the municipality of Paudalho in the Zona da Mata of Pernambuco and two clones of *Eucalyptus urophylla* with eight years of age, from an experimental plantation located at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in the Araripe plateau, municipality of Araripina – PE. The analyses were conducted at the Wood Technology and Anatomy Laboratory of the Department of Forest Science of the Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE, where the content of volatile materials, ashes, and fixed carbon of the wood was determined according to ASTM standards. Based on the values of the variables obtained, the upper, lower and useful calorific value were estimated. Data were submitted to Tukey's test ( $p = 5\%$ ) to compare means. According to the results obtained, the clones did not show any difference in relation to the analyzed variables, so all of them would be a viable alternative energy matrix for the region. It is recommended to study other properties of the wood, including the energetic ones, as well as the growth variables of the material, seeking to obtain more information to select the best genetic material for the production of biomass for energy in the region.

**Keywords:** Biomass, Planted Forests, Immediate Chemistry, Energy Potential.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo mundial de energia por fonte e estimativas de consumo até o ano de 2040... ..	15
Figura 2. Matriz Energética Brasileira (2021).....	16
Figura 3. Localização da Zona da Mata Norte no estado de Pernambuco.....	22
Figura 4. Plantio experimental localizado no Instituto Agronômico de Pernambuco, município de Araripina – PE... ..	22
Figura 5. Etapas dos procedimentos adotados para realização do teor de materiais voláteis: cadinho com amostra na borda interna da mufla (A); amostra ao término da análise (B); término da análise para ser pesado (C, D) .....	25

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Informações dos clones do gênero *Eucalyptus* coletados.  
.....21
- Tabela 2. Valores médios para densidade básica, teores de umidade (TU), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) avaliados na madeira de *Eucalyptus Eucalyptus* (*E. urophylla* x *E. grandis*) e o clone (*E. camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla*) e *Eucalyptus urophylla*  
.....28
- Tabela 3. Valores médios de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico útil (PCU) avaliados na madeira de *Eucalyptus Eucalyptus* (*E. urophylla* x *E. grandis*) e o clone (*E. camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla*) e *Eucalyptus urophylla* .....30

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica  
ASTM- American Society for Testing and Materials  
BEN - Balanço Energético Nacional  
Cz - Teor de cinzas  
Cf - Teor de carbono fixo  
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral  
IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
GEE - Gases de Efeito Estufa  
PCI - Poder Calorífico Inferior  
PCS - Poder Calorífico Superior  
PCU - Poder Calorífico Útil  
TU - Teor de Umidade  
H - Teor de hidrogênio considerado  
Mv - Teor de materiais voláteis

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
3.1 Matriz Energética .....	15
3.2 Biomassa Florestal .....	17
3.3 Florestas Energéticas .....	18
3.4 Poder Calorífico e Caracterização Química da Madeira .....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1 Material de estudo .....	21
4.2 Amostragem e Preparo das Amostras .....	23
4.3 Caracterização da madeira .....	23
4.4 Análise dos dados .....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
5.1 Densidade básica, Teor de Umidade, Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo. ....	28
5.2 Poder Calorífico, superior, inferior e útil. ....	30
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia é inerente ao desenvolvimento de cada região ou país, pois quanto maior for o desenvolvimento humano e tecnológico, tende a influenciar na alta demanda de energia utilizada. As fontes de energia são variadas sendo de fonte eólicas, hidroelétricas e de recursos naturais renováveis entre outras.

A matriz energética brasileira sempre utilizou a biomassa florestal tendo como objetivo suprir parte das demandas, também tendo como principal uso o carvão vegetal e a lenha. O uso dessas fontes contribui de forma positiva, pois, uma vez que é uma fonte limpa e renovável, permite assim a diminuição do consumo de combustíveis fósseis (Miranda, 2015).

No estado de Pernambuco, é alta a demanda de lenha para a geração de energia para suprir a indústria de gesso, cerâmicas e principalmente a cocção de alimentos. Neste contexto, surge a importância da caracterização da madeira de florestas plantadas, visando a geração energética em diferentes locais na região, buscando o desenvolvimento no contexto social e econômico. A madeira, enquanto recurso bioenergético, representa em média 8,7% da matriz energética brasileira (EPE, 2022) e pode ser produzida em florestas plantadas.

De acordo com Sartório (2014), o *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado para a implantação de florestas para fins energéticos, por apresentar grande plasticidade ambiental, altos índices de produtividade e características energéticas. O gênero tem sido apontado como uma das melhores opções para a produção de energia devido ao grande número de espécies e híbridos, pois possibilita uma ampla distribuição, favorecendo sua introdução em várias regiões com diferentes condições edafoclimáticas (Couto; Müller, 2008; Romão, 2011).

Para utilização da madeira como fonte energética, algumas características como densidade, poder calorífico, química imediata, teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (CZ) estão diretamente relacionados com o potencial energético do material.

A análise química imediata, considera-se muito importante, pois trata-se de um

quantificador dos teores de voláteis, cinza e também o carbono fixo da madeira, as quais possuem uma relação direta com o poder calorífico. Segundo McKendry (2002), o teor de voláteis representa a parte da biomassa, onde ocorre a evaporação como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, sendo assim, com influência na ignição da madeira, aumentando a velocidade de degradação da biomassa.

Neste contexto, a fonte de energia de biomassa renovável tem sua importância para a região, buscando ampliar o desenvolvimento local, tendo a necessidade da investigação das propriedades da madeira de diferentes clones do gênero *Eucalyptus* provenientes de florestas plantadas, buscando a sustentabilidade por meio da redução dos impactos ambientais, bem como contribuir para os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da organização das nações unidas (ONU), uma vez que atende a ODS 7 - Energia Limpa e Acessível que tem como objetivo assegurar o acesso a fontes de energia acessíveis, confiáveis, sustentáveis e modernas para todos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar a madeira de quatro clones do gênero *Eucalyptus* quanto ao potencial energético plantados em duas regiões no Estado de Pernambuco.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar a densidade básica da madeira dos clones de *Eucalyptus*;
- Determinar os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo da madeira;
- Estimar o poder calorífico da madeira;
- Identificar o melhor material genético com potencial energético;
- Identificar a melhor região de plantio;
- Densidade energética.

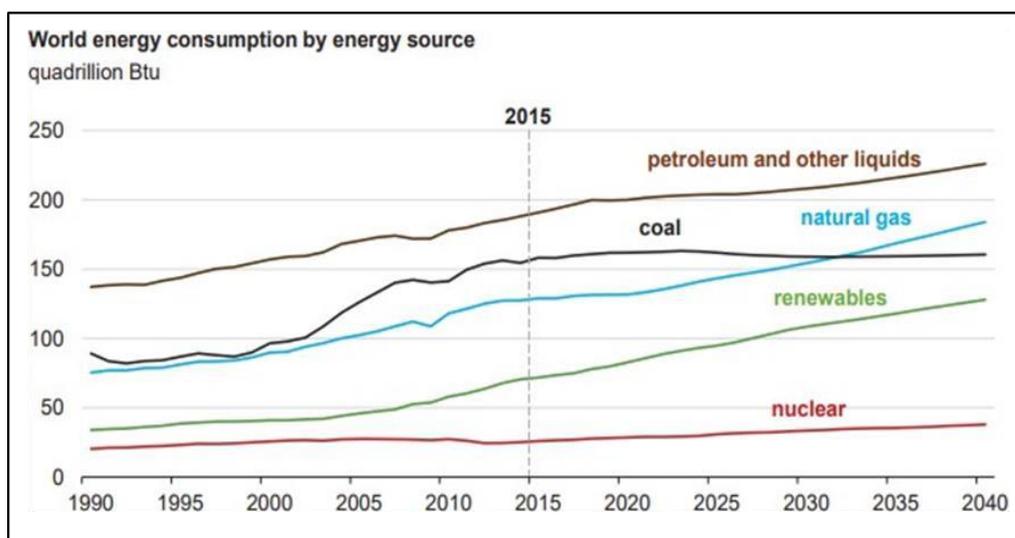
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Matriz Energética

De acordo com Ren (2022), a matriz energética mundial é baseada fortemente em uso de combustíveis fósseis, pois, em 2020, 78,5% do total de energia final consumida foi total proveniente de combustíveis fósseis, enquanto 12,6% corresponderam às energias renováveis modernas.

A figura 1 mostra a evolução do consumo primário de 1990 até os dias atuais e com previsões até o ano de 2040, apresentando que fontes como o petróleo vão continuar sendo consumidas em grandes quantidades, assim também como o gás natural e as fontes renováveis, (International Energy Agency, 2017). É válido ressaltar que esses dados ainda contemplam o uso da biomassa tradicional e moderno sendo na parcela das energias renováveis.

**Figura 1:** Consumo mundial de energia por fonte e estimativas de consumo até o ano de 2040.



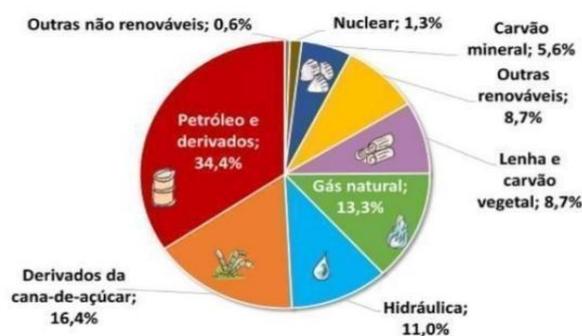
Fonte: International Energy Agency (2017)

Segundo BEN (2021), a matriz Energética Brasileira é muito diferente da mundial. Pois, usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. Sendo assim, somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana-de-açúcar e outras renováveis. Onde as renováveis do nosso país totalizam 44,8%, quase metade da nossa matriz.

O incremento de energias de fontes que sejam menos poluidoras é a grande premissa para o futuro. A diversificação da matriz energética pode contribuir positivamente para o abastecimento em regiões de difícil acesso, pois levando em conta o cenário local e trazendo desenvolvimento ambiental, social e econômico, além de amenizar o efeito poluidor dos gases e aperfeiçoar o uso dos recursos naturais.

De acordo com BEN (2021), a energia gerada pelas hidroelétricas é produzida em maior quantidade no Brasil, porém com a crise hídrica, outras matrizes energéticas fizeram com que começassem a se sobressair no mercado. A figura 2 mostra a dinâmica do uso de energias renováveis tendo como destaque derivados de cana-de-açúcar, carvão mineral, lenha e carvão vegetal e outras renováveis.

**Figura 2:** Matriz Energética Brasileira (2021)



Fonte: BEN, (2021).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2016), o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões em 37% abaixo dos níveis de 2005 até o ano de 2025, sendo que para isso, prometeu aumentar a participação para 45% de energias renováveis na composição da matriz energética com importante participação da bioenergia sustentável.

A obtenção da energia da biomassa também evoluiu bastante e passou a constituir parte significativa da matriz energética do mundo. De acordo com os dados da Agência Internacional de Energia, publicados no *Renewable Information Overview* em 2022, 6,7% da matriz energética mundial no ano de 2020 esteve relacionado ao uso tradicional de biomassa (International Energy Agency, 2022).

### 3.2 Biomassa Florestal

O Brasil é um país que tem sua matriz energética fortemente baseada em fontes renováveis, dentre elas a biomassa. A biomassa é advinda de materiais lignocelulósicos é uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos como a celulose, hemicelulose e lignina e pequenas quantidades de extrativos de cinzas, contidos na parede celular das plantas.

Segundo Vidal (2011), a biomassa pode ser considerada como uma importante fonte de energia renovável e, pode ser mais sustentável quando utilizada da maneira correta, sendo feita através da absorção do carbono na atmosfera pelas plantas, conhecido como ciclo do carbono. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as principais fontes da biomassa são as plantas e matérias-primas sacarídeas, oleaginosas e afins, além dos dejetos de animais e também de aterros sanitários.

A biomassa florestal tem sido apontada por diversos estudos, sendo como uma importante fonte de energia renovável, sendo avaliada como uma das alternativas, que aliada a outras fontes, pode suprir a demanda energética (Nogueira *et al.*, 2000).

De acordo com o Serviço Florestal Brasileiro (2023), a biomassa florestal poderá se destacar no país, ressaltando que o Brasil apresenta uma forte vocação florestal com quase 498 milhões de hectares de florestas naturais e plantadas, correspondente a cerca de 58,5% de seu território, dos quais 98% é representado por florestas naturais e 2% por florestas plantadas, sendo, portanto, considerada a segunda maior área com florestas no mundo, atrás da Rússia.

A biomassa florestal surge como um importante insumo a ser avaliado para aproveitamento energético, pois além do Brasil apresenta uma forte vocação florestal tanto no segmento de florestas plantadas, quanto nativas, pois produzindo biomassa transformada em cavacos ou como lenha para queima direta ou gerando resíduos que podem ser utilizados na produção de carvão vegetal, briquetes e *pellets*, onde os resíduos oriundos da biomassa ainda possuem como características baixo teor de cinzas e enxofre e grande quantidade de carbono, colaborando com a eficiência da queima durante o processo de combustão (Garcia *et al.*, 2021).

Segundo Saidur *et al.* (2011), a biomassa pode ser definida como qualquer matéria

orgânica, sendo de origem animal ou vegetal, que pode ser transformada e fornecer energia, na forma de calor ou eletricidade. Entende-se, portanto, que a biomassa pode ser considerada como um material orgânico oriundo de fontes vivas (Eom *et al.*, 2011), como por exemplo a cana-de-açúcar, madeiras, resíduos agroindustriais, dentre outros.

É importante ressaltar que o uso moderno da biomassa para geração de calor, vapor, eletricidade e biocombustíveis pode ser considerada como uma grande e importante estratégia para maximizar o uso de fontes renováveis na matriz energética mundial. Pois, o Brasil apresenta vantagens em relação a outros países para produção de energia e biocombustíveis a partir de diferentes biomassas, podendo até mesmo ocupar uma posição, fazendo com que se destaque na busca pela descarbonização dos processos industriais.

De acordo com Soares *et al.* (2006), a biomassa florestal pode ser utilizada sendo como fonte de energia em diferentes formas, sendo elas a queima direta, carvão vegetal, aproveitamento de resíduos da exploração, óleos essenciais, ácido pirolenhoso, alcatrão, dentre outros.

A biomassa junto com a geração eólica e solar será um dos tipos de energia que mais vai se desenvolver nos próximos anos, pois o setor deve receber 26 bilhões de dólares em investimentos no Brasil até 2040 (Energy Outlook, 2017).

A energia gerada pela biomassa está relacionada a dois conceitos extremamente importantes na atualidade: renovação das fontes energéticas e sustentabilidade. A renovação é uma característica da fonte de energia, enquanto a sustentabilidade é a forma como ocorre o manejo dessa fonte (Uhlig, 2008).

### **3.3 Florestas Energéticas**

Segundo Müller (2005), o propósito das florestas energéticas é exclusivamente gerar energia a partir da biomassa, sendo assim, tornando um ambiente mais sustentável, tendo um processo de produção que possa realizar o reaproveitamento da madeira e, por consequência, retornando as folhas, galhos e afins para o solo.

O desenvolvimento de florestas plantadas para fins energéticos em grande escala, ainda pode ser considerado desafiador, pois para ter esse plantio de forma única e exclusivamente voltado para esse fim, requer incentivos governamentais e principalmente investimentos em tecnologias voltadas para a produção e desenvolvimento.

De acordo com Berndes *et al.*, (2003), apontam que: a) florestas energéticas em larga escala apresenta rotação curta que geram possível degradação ambiental por conta da alta

exportação de nutrientes do solo; b) se os projetos de regeneração e recuperação das áreas forem bem feitos, através de procedimentos agroflorestais podem recuperar as áreas; c) existe um grande reconhecimento da precisão em relacionar a produção de energia florestal com o desenvolvimento rural (Berndes *et al.*, 2003).

Nesse sentido, tem-se as florestas energéticas como uma fonte de alternativa, apresentando um foco principal a geração de energia a partir da biomassa, através da produção de energia térmica a mais comum para este aproveitamento.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em relação às florestas plantadas para usos comerciais, apresentou dados referentes ao ano de 2021, indicando a existência de 9,5 milhões de hectares em área plantada, sendo as duas espécies principais o eucalipto e o pinus, apresentando 76,85% e 18,94% da área, respectivamente.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores – IBA (2023), a área de árvores plantadas totalizou 9,94 milhões de hectares no ano de 2022, um crescimento de 0,3% em relação ao ano anterior. O eucalipto, abrangendo 76% da área plantada no Brasil, permanece como a espécie sendo mais cultivada, totalizando 7,6 milhões de hectares. Na sequência, com 19%, está o pinus, que se manteve praticamente estável em relação a 2021, com 1,9 milhão de hectares.

O Brasil lidera o ranking global dos produtores de carvão vegetal, atingindo a marca de 7,0 milhões de toneladas produzidas em 2022, com quase totalidade da produção voltada para o mercado interno. Dentro desse total, 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal, onde foram obtidos a partir da madeira de florestas plantadas, o que representa um aumento de 15% nos últimos 5 anos. De acordo com informações do SINDIFER, o setor de Siderurgia e Aço produziu 7,8 milhões de toneladas de ferro-gusa a partir do carvão vegetal em 2022, totalizando 24,1% da sua produção total (32,4 milhões) originada de carvão vegetal (Iba, 2023).

### **3.4 Poder Calorífico e Caracterização Química da Madeira**

Segundo Miranda (2015), o poder calorífico de um combustível pode ser representado pela quantidade de energia térmica sendo liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou volume deste combustível. É expresso nas unidades kcal/kg ou kcal/m<sup>3</sup>.

O poder calorífico é dividido em poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). Sendo assim, no PCS a água formada durante a combustão é condensada e

seu calor latente é recuperado e então somado à energia mensurada, mostrando o máximo potencial de fornecimento energético. Já no PCI o calor de condensação da água não é considerado, pois ele é perdido na forma de vapor. Em termos de pesquisa e comparação de combustíveis, o poder calorífico superior é mais usual (Cintra, 2009).

De acordo com Santos *et al.* (2013), quanto maior for o poder calorífico da madeira, melhor será a sua utilização na queima direta, relacionando diretamente a quantidade de energia liberada na combustão com o rendimento energético.

A madeira possui poder calorífico variável para cada espécie. Pois as madeiras de coníferas possuem poder calorífico mais elevado do que a madeira das folhosas, isso ocorre porque a composição química (teores de lignina, cinzas e extrativos) varia entre as espécies (Trugilho, 2009).

As cinzas geralmente são compostas por todo material que não queima. É o resíduo no processo da combustão, é proveniente de substâncias inorgânicas do vegetal, ou podem ser incorporados à biomassa (terra, areia, pedras) nas operações florestais como colheita, transporte e armazenamento (Brand, 2010).

Quando a biomassa tem um alto nível de cinzas seu poder calorífico pode reduzir e por consequência seu rendimento energético também reduz. Sendo assim, o conhecimento do teor de cinzas do combustível é importante no planejamento dos sistemas para seu reconhecimento, sendo elas o resíduo do processo, portanto necessitam de um descarte adequado, evitando assim desgastes nos equipamentos (Brand, 2010).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material de estudo

Foram utilizados clones do gênero *Eucalyptus* plantados com objetivo a geração de energia por meio da lenha, coletados em duas regiões no estado de Pernambuco. Os clones dos híbridos *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus Grandis* e (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*) x *Eucalyptus Urophylla*, ambos com seis anos de idade, coletados no município de Paudalho na zona da mata de Pernambuco, oriundo de um plantio florestal de uma empresa do ramo sucroalcooleiro. E dois clones de *Eucalyptus urophylla* com 8 anos de idade, provenientes de um plantio experimental localizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) na Chapada do Araripe, município de Araripina – PE. ( Tabela 1).

**Tabela 1** – Informações dos clones de gênero *Eucalyptus* analisados.

tratamento	Híbrido	Espaçamento	Idade (anos)	Local
T1	<i>E. urophylla</i> <i>E. grandis</i>	3m x 2m	6	Paudalho
T2	( <i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i> ) x <i>E. urophylla</i>	3m x 2m	6	Paudalho
T3	<i>Eucalyptus urophylla</i>	3m x 2m	8	Araripina
T4	<i>Eucalyptus urophylla</i>	3m x 2m	8	Araripina

A Zona da Mata de Pernambuco (Figura 3), ocupa uma área de aproximadamente 8.738 km<sup>2</sup> correspondente a 8,9% do território do Estado. Ela é composta por 43 municípios, com uma população de 1.207.274 habitantes, sendo equivalente a 15,2% do contingente estadual. Esta região possui um clima tropical quente e úmido com precipitação anual 2007 milímetros. A umidade relativa varia de 70% a 95% e a sua temperatura média anual é de 24,1 °C, (Promata, 2010). Com precipitações acima de 2.000 mm sendo anual, as coordenadas geográficas apresentam: Latitude: 8° 35' 57" sul e Longitude: 35° 15' (Silva, 2010).

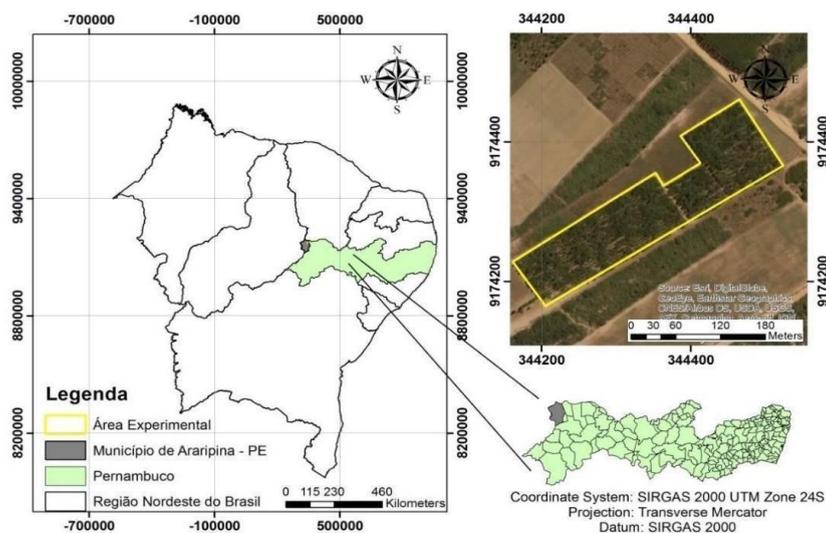
**Figura 3** – Localização da Zona da Mata Norte no estado de Pernambuco.



Fonte: Lorena, E. M. G. et al (2017).

O município de Araripina (Figura 4), se encontra localizado na mesorregião do Sertão e na Microrregião Araripina apresentando um percentual de 1,93% do Estado de Pernambuco. Pois, a sede encontra-se aproximadamente a 683,2 km da capital, tem uma altitude em média de 622 metros e coordenadas geográficas de 07°34'34" S e 40°29'54" W. O clima da região é classificado por Koppen, sendo do tipo BSh (semiárido quente e seco), apresentando assim uma temperatura média anual de 24° C e sua pluviosidade média anual de 719 mm com chuvas concentradas no período entre os meses de dezembro a abril (Beltrão *et al.*, 2005; Climadata, 2019).

**Figura 4** - Plantio experimental localizado no Instituto Agrônomo de Pernambuco, município de Araripina – PE.



Fonte: Araújo (2019).

## **4.2 Amostragem e Preparo das Amostras**

Foram derrubadas três árvores para cada material genético, das quais foram retiradas discos na posições longitudinais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% em relação a altura comercial (diâmetro mínimo de 5 cm) e na altura do DAP (1,30 m de altura acima do solo), de aproximadamente 5 cm de espessura. As amostras foram transportadas ao Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE, campus sede para preparação e caracterização das propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira.

De cada disco foram obtidos quatro cunhas, das quais duas foram utilizadas para a determinação da densidade da madeira e as outras duas cunhas foram secas em estufa de secagem à  $65^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  por 48-72 horas, até atingirem o peso constante. Depois de seco, o material foi triturado e posteriormente moído em um moinho do tipo Willey para a determinação das propriedades químicas e energéticas. Para essa análises foi realizada uma mistura da serragem gerada em cada árvore dando origem a uma amostra composta por tratamento.

## **4.3 Caracterização da madeira**

### **4.3.1 Densidade da madeira**

Para a determinação da densidade da madeira foi utilizada duas cunhas opostas retiradas dos discos, obtida pela relação da massa seca com o volume completamente saturado dos corpos de prova. Utilizando-se o método da medição indireta do volume (balança hidrostática), sendo assim, empregando-se a norma NBR 7190 (ABNT,1997).

### **4.3.2 Composição química imediata**

Na caracterização da composição química imediata do material, foram determinados o teor de materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo da madeira, feitas em duplicatas e seguiram a normatização da American Society for Testing and Materials (ASTM) D1762 – 84 (2007), com adaptações.

#### **4.3.1.1 Teor de Umidade**

Para o teor de umidade, utilizou-se a fração de serragem que passou na peneira de

20 mesh e ficou retida na de 40 mesh. Pesou-se 1g do material em umidade ambiente e levou-o para estufa, onde permaneceu até a massa constante. A porcentagem do TU foi obtida pela seguinte equação:

$$TU = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

Onde:

A = massa úmida (g);

B = massa seca a 105°C (g).

#### 4.3.1.2 Teor de Materiais Voláteis

Para a determinação do teor de materiais voláteis do resíduo as amostras de serragem trituradas foram classificadas através de peneiras de 60 Mesh e 100 Mesh, utilizando o material que se encontra entre as duas granulometrias, ou seja, sobre a peneira de 100 Mesh. Em seguida foi-se pesado, aproximadamente, 1g do resíduo, isento(a) de umidade. A amostra foi depositada em um cadinho de louça previamente seco e tarado. O cadinho foi tampado e colocado na borda externa do forno elétrico tipo mufla, previamente aquecido a 950°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ), por 2 minutos, passado esses 2 minutos o cadinho foi levado colocado na borda interna interior da mufla, onde permaneceu por mais 3 minutos. Passado esse tempo ele foi colocado no interior da mufla com a tampa fechado, onde permaneceu por 6 minutos. Após esfriar, o cadinho foi pesado para obter o teor de materiais voláteis. Foram realizadas duas repetições para cada amostra dos resíduos. O teor de voláteis é determinado pela seguinte equação:

$$Mv = \frac{(m2 - m3)}{m} \times 100$$

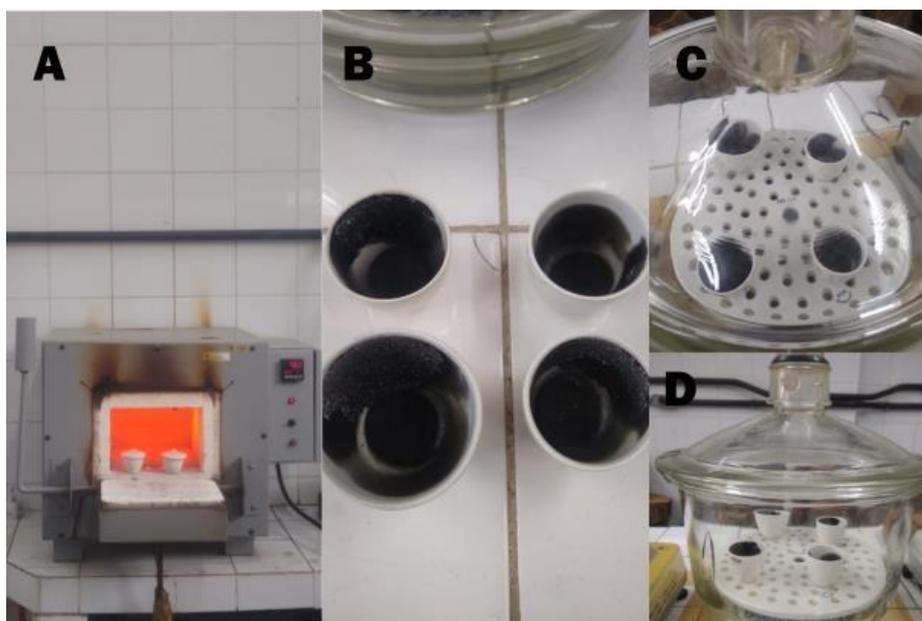
Sendo:

Mv = teor de materiais voláteis (%)

m2 = massa inicial do cadinho + amostra (g)

m3 = massa final do cadinho + amostra (g) m = massa da amostra (g)

**Figura 5** - Etapas adotados dos procedimentos para realização do teor de materiais voláteis: amostra no cadinho foram peneirada e pesada; cadinho com amostra na borda interna da mufla (A); amostra finalizada da análise (B); amostra no dessecador para o esfriamento, termino da análise para ser pesado (C, D).



**Fonte:** Autoria própria, (2024).

#### 4.3.1.3 Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, a serragem obtida foi classificada através de uma peneira de 100 Mesh, utilizando o material que passou pela peneira. Em seguida foi pesado, aproximadamente, 1g do resíduo isento de umidade. A amostra foi depositada em cadinho de louça previamente seco e tarado, e levado a um forno tipo mufla previamente aquecido a 750°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ). O cadinho permaneceu na mufla até que o resíduo queimasse completamente, aproximadamente 6 horas. Após a queima, o cadinho foi retirado e pesado para obter, assim, o teor de cinzas. Foram realizadas 2 repetições para cada resíduo. As cinzas obtidas foram pesadas e o teor das mesmas foi determinado pela equação:

$$Cz = \frac{(m1 - m0)}{m} \times 100$$

Sendo:

Cz = Teor de Cinzas (%)

m1 = massa do cadinho + resíduo (g)

$m_0$  = massa do cadinho (g)

$m$  = massa da amostra (g)

#### 4.3.1.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de Carbono Fixo foi obtido em função dos de materiais voláteis e cinzas, o sendo determinado pela seguinte equação:

$$Cf = 100 - (Cz + Mv)$$

Sendo:

$Cf$  = Teor de carbono fixo (%)

$Cz$  = Teor de cinzas (%)

$Mv$  = Teor de materiais voláteis (%)

#### 4.3.1.5 Estimativa do Poder calorífico

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi estimado por meio dos valores obtidos para o Teor de Materiais Voláteis, Teor de Cinzas e Carbono Fixo. A partir dos valores obtidos para o PCS, foi e obtido o Poder Calorífico inferior (PCI) e o útil (PCU), considerando o teor de umidade do ponto de saturação das fibras de 28%. As variáveis foram obtidas por meio das equações propostas por Parikh, Channiwala e Ghosal (2005).

$$PCS \text{ (kcal/kg)} = 84,5104 \times (\% CF) + 37,2601 \times (\% MV) - 1,8642 \times (\% CZ)$$

$$PCI \text{ (kcal/kg)} = PCS - (600 \times 0,09 \times \% H)$$

$$PCU \text{ (kcal/kg)} = (PCI \times (1 - (0,01 \times \% TU))) - (600 \times 0,01 \times \% TU)$$

Sendo:

PCS = Poder calorífico superior (kcal/kg)

PCI = Poder calorífico inferior (kcal/kg)

PCU = Poder calorífico útil (kcal/kg)

$Cf$  = Teor de carbono fixo (%)

Cz = Teor de cinzas (%)

Mv = Teor de materiais voláteis (%)

H = Teor de hidrogênio considerado de 5,99%

#### 4.3.1.6 Densidade Energética

A densidade energética foi obtida pelo produto do poder calorífico superior direto pela massa específica básica.

### **4.4 Análise dos dados**

Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) pelo teste F e quando estabelecidas diferenças significativas, foi realizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade básica, Teor de Umidade, Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo.

Na Tabela 2 verifica-se os valores médios para densidade básica, teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo dos tratamentos analisados.

**Tabela 2** - Valores médios para densidade básica, teores de umidade (TU), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) avaliados tratamentos ( T1,T2,T3 e T4) na madeira de *Eucalyptus*, (*E. urophylla* x *E. grandis*) (*E. camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla*) e *Eucalyptus urophylla*.

TRATAMENTOS	VARIÁVEIS (%)				
	DB (g/cm <sup>3</sup> )	TU	MV	CZ	CF
T1	0,512 a	9,12	81,11	0,53	18,36
T2	0,528 a	9,87	81,47	0,70	17,91
T3	0,626 a	9,72	82,03	1,03	16,94
T4	0,628 a	9,87	81,12	0,32	18,56
F	-	-	0,70	4,10	1,79
MÉDIA	0,573	9,64	81,43	0,64	17,94
DESVIO PADRÃO	0,062	0,3570	0,4320	0,300	0,721
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	10,83	3,702	0,503	46,52	4,021

\*Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) pelo teste F e quando estabelecidas diferenças significativas, foi realizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

O valor médio na densidade básica avaliados para os quatro tratamentos, que foram analisados foi de 0,573 g cm<sup>-3</sup>, variando de 0,512 g cm<sup>-3</sup> a 0,628 g cm<sup>-3</sup>. As maiores médias foram verificadas nos tratamentos T3 e T4, com 0,628 e 0,626 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Todavia, os resultados que foram analisados independentes dos tratamentos obtidos, apresentam estar dentro da faixa considerada como satisfatória para produção de carvão vegetal (0,4 g cm<sup>-3</sup> a 1,2 g cm<sup>-3</sup>) (Brito; Barrichello; Seixas, 1983; Carneiro et al., 2014; Trugilho et al., 2001).

O valor que foi observado para o teor de umidade foi de 9,12% (T1), 9,87% (T2), 9,72% (T3) e 9,87% (T4). O valor encontra-se dentro do recomendado pela literatura. A umidade da madeira apresenta uma característica importante que influencia negativamente na produção de calor por unidade de massa do material. Para que a madeira apresenta boas condições para produção de energia, deve apresentar uma umidade abaixo de 25% (Vale et

al., 2000).

Os quatro tratamentos avaliados, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, não diferiu significativamente nos tratamentos ( $p \geq 0,05$ ).

De acordo com os resultados obtidos, os materiais voláteis variam entre 81,11 para 82,03 e os teores de cinzas 0,32 a 1,03. Todos apresentam valores médios dentro do esperado para o gênero *Eucalyptus*, apenas o tratamento T3 exibiu levemente acima de 1% para o teor de cinzas.

Segundo Brito; Barrichelo (1978), nos seus estudos, afirmam que se as cinzas é o material residual da combustão, sendo composto por substâncias inorgânicas. Sendo assim já nos materiais voláteis os quatro clones apresentaram um bom resultado, 81,11% (T1), 81,47% (T2), 82,03% (T3), 81,12% (T4). Geralmente correspondem a parte do combustível que evapora quando o mesmo é submetido a elevadas temperaturas, apresentando uma faixa aceitável para a biomassa entre 75% e 85%. Onde para biomassa a faixa aceitável está entre 75% e 85% (Brito; Barrichelo, 1978; Chaves *et al.*, 2013) e Arriel(2017).

O valor encontrado nas análises do presente trabalho também está próximo aos valores encontrados por Machado *et al.* (2014), e de acordo com a literatura, onde Nogueira e Lora (2003) indicam que são interessantes valores de materiais voláteis que apresentam um valor acima de 80%, uma vez que, o elevado valor de materiais voláteis acarreta em um baixo teor de carbono fixo.

Os resultados obtidos para o tratamento T1 de teor de cinzas foram 0,53 g/cm<sup>3</sup> e 0,70% g/cm<sup>3</sup> para o tratamento T2, para o tratamento T4 0,32 g/cm<sup>3</sup>. Apenas para o tratamento T3 apresentou o valor de 1,03% g/cm<sup>3</sup>. respectivamente. Com base nos resultados, entre os quatro tratamentos, três tratamentos apresentaram um resultado ideal. As cinzas é um material residual da combustão, sendo composto por substâncias inorgânicas, são bastante presentes nas espécies de *Eucalyptus*, em baixos teores (menores que 1%).

Já o carbono fixo apresentou resultado satisfatório para os quatro tratamentos, sendo 18,36% (T1), 17,91% (T2), 16,94% (T3) e 18,56% (T4). No que diz respeito ao teor de carbono fixo, foi encontrado o valor para o tratamento T4 de (18,56), apresentando maior potencial, todos os tratamentos apresentam um bom resultado para o teor de carbono fixo. resultado encontrado coincide com os que foram encontrados por Juízo *et. al.* (2017). Um alto teor de carbono fixo influencia de forma diretamente ao processo de queima, pois quanto maior o teor de carbono fixo, maior será o tempo de queima.

Com exceção do tratamento T3 (*E. urophylla*) os demais apresentaram comportamento semelhantes para o teor de carbono fixo e teor de cinzas, todos apresentam valores médios sendo esperado para o gênero *Eucalyptus*, apenas o taratamento T3 exibiu levemente acima de 1% para o teor de cinzas.

## 5.2 Poder Calorífico, superior, inferior e útil.

Os valores estimados do poder calorífico superior, inferior e útil estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Valores médios de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico útil (PCU) avaliados nos tratamentos ( T1,T2,T3 e T4) na madeira de *Eucalyptus*, (*E. urophylla* x *E. grandis*), (*E. camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla*) e *Eucalyptus urophylla* e densidade energética.

TRATAMENTOS	VARIÁVEIS			
	PCS	PCI	PCU	DE
	kcal kg <sup>-1</sup>			kcal m <sup>-3</sup>
<b>T1</b>	4573,05	4249,59	3807,39	2341,40
<b>T2</b>	4548,02	4224,56	3747,89	2401,35
<b>T3</b>	4485,93	4162,22	3708,09	2808,19
<b>T4</b>	4590,88	4267,42	3781,44	2883,07
<b>F</b>	1,45	1,45	5,67	-
<b>MÉDIA</b>	4549,47	4226,01	3751,21	2608,50
<b>DESVIO PADRÃO</b>	45,863	45,863	42,977	276,597
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)</b>	1,008	1,085	1,142	10,605

\*Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) pelo teste F e quando estabelecidas diferenças significativas, foi realizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

No trabalho realizado, os teores apresentaram um resultado satisfatório, sendo assim, apresentou o poder calorífico superior de 4573,05 kcal/kg<sup>-1</sup> (T1) e 4548,02 kcal/kg<sup>-1</sup> (T2), 4485,93 kcal/kg<sup>-1</sup> (T3) e 4590,88 kcal/kg<sup>-1</sup> (T4). (Tabela 3).

O poder calorífico superior e inferior apresentam o mesmo comportamento, com o tratamento. Os tratamentos analisados, todos apresentaram poder calorífico superior acima do valor recomendado por Rocha e Klitzke (1998) (4.500 kcal kg<sup>-1</sup>).

Silva et al. (2015) e Castro et al. (2016), ao avaliarem clones de *Eucalyptus* com 5 anos e 7 anos de idade respectivamente, obtiveram resultados superiores para o PCS e PCI.

O poder calorífico representa ter o potencial para combustão de cada matéria orgânica analisada, porém ele depende de vários fatores, tais como, densidade, umidade,

voláteis, cinzas e carbono fixo da madeira.

Na literatura é possível encontrar valores de poder calorífico superior para espécies florestais entre 4630 kcal/kg<sup>-1</sup> e 4547 kcal/kg<sup>-1</sup> (Oliveira *et al.*, 2010; Soares, 2014). Esses valores são próximos aos que foram encontrados nos tratamentos realizados neste trabalho, qualificando assim o resíduo madeireiro analisado como apto para uma ótima utilização como geração de energia. Todavia, os quatro tratamentos avaliados apresentam poder calorífico superior ao valor recomendado, sendo 4.500 kcal kg<sup>-1</sup> de acordo por Rocha e Klitzke (1998).

Para o poder calorífico inferior foi de 4249,59 kcal/kg<sup>-1</sup> (T1) e 4224,56 kcal/kg<sup>-1</sup> (T2), 4162,47 kcal/kg<sup>-1</sup> (T3) e 4267,42 kcal/kg<sup>-1</sup> (T4) e o poder calorífico útil de 3807,39 kcal/kg<sup>-1</sup> (T1) e 3747,89 kcal/kg<sup>-1</sup> (T2), 3708,09 kcal/kg<sup>-1</sup> (T3) e 3781,44 kcal/kg<sup>-1</sup> (T4) apresenta um resultado ideal.

De acordo com Silva (2012), foram encontrados valores de poder calorífico inferior de 4376,38 kcal/kg<sup>-1</sup> e 4318,24 kcal/kg<sup>-1</sup> para madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora*, sendo assim, através dos dados próximos ao encontrando neste estudo. Sendo assim, apresentam resultados aproximados.

No Poder Calorífico (PC) pode ser estimada a energia que tem na biomassa, sendo assim, de toda a energia térmica que é liberada na combustão completa de 1 kg de biomassa. Pois, quando relacionamos o PC com a idade, entende-se que quanto mais velha for a espécie da árvore, o seu PC tende a ser maior (Iniciativa Para o Uso da Terra, 2015).

Os quatros tratamento para o poder calorífico inferior, apresentaram comportamento semelhantes para o poder calorífico superior, inferior e útil.

Os clones apresentaram baixa variação em relação aos resultados de PCI e PCS que podem estar relacionados com o teor de umidade. O teor de cinzas em amostras de origem florestal normalmente é baixa, sendo um ponto positivo, podendo influenciar diretamente na corrosão para os equipamentos de conversão energética, (Santos *et al.*, 2011).

Entre as variáveis utilizadas para as estimativas dos parâmetros para avaliação da qualidade da madeira para fins energéticos, temos o PCS, que tem sido umas das mais estudadas (Silva *et al.*, 2012). Sendo assim, considerada também, a propriedade físicoquímica mais importante na hora da escolha para um processo termoquímico (Dal-bó, 2016).

Segundo Vieira (2012), o PCS pode ser obtido através de duas maneiras, sendo elas: por bomba calorimétrica, a qual consiste em colocar “n” quantidade de biomassa dentro de uma bomba calorimétrica, ou pela análise elementar, pois através desta é possível relacionar do PCS de uma biomassa com a quantidade de ligações químicas, sendo assim, envolvendo

seus elementos, conhecendo-se a fração mássica dos componentes da biomassa, então consequentemente é possível calcular o PCS.

O conhecimento de características da biomassa como: teor de umidade, densidade, composição química elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio) e macromolecular (celulose, lignina, hemiceluloses, extrativos), composição imediata (carbono fixo, material volátil, cinza) são muito importantes para a utilização da biomassa, e como fonte de energia, pois influenciam bastante no poder calorífico (Vale et al. , 2011).

O Poder calorífico útil representa a quantidade de calor útil, sendo liberada na combustão, sendo assim utilizado para que ocorra a troca térmica e a geração de vapor. Dos quatro tratamentos realizados, os teores apresentaram um resultado aceitável, sendo assim, apresentou o poder calorífico útil de 3807,39 kcal/kg<sup>-1</sup> (T1) e 3747,89 kcal/kg<sup>-1</sup> (T2), 3708,09 kcal/kg<sup>-1</sup> (T3) e 3781,44 kcal/kg<sup>-1</sup> (T4).

Os valores obtidos dos quatro tratamentos avaliados para a densidade energética, foram de 2.341,40 kcal m<sup>-3</sup> que variam a 2.883,07 kcal m<sup>-3</sup>. Para fins energéticas são requeríveis carvões que apresentam com altas DE, pois apresenta o potencial energético do combustível.

Segundo Barros et al. (2019), a densidade energética é extremamente importante, pois demonstra a quantidade de calor em um volume representado de biomassa, sendo assim, estimando o seu desempenho do material como combustível.

## 6. CONCLUSÃO

Para as variáveis analisadas, os materiais genético avaliados não apresentaram diferenças, portanto, os quatros tratamentos são indicados para a matriz energética.

Dentre as características da madeira, avaliadas os tratamentos (T1,T2,T3 e T4) apresentaram bons parâmetros energéticos. Referente as análises energéticas, teor de umidade, teor de cinzas, voláteis, carbono fixo, pode-se concluir , com base nos tratamentos avaliados, dos resultados obtido, estatisticamente os tratamentos não apresentaram diferença em relação as variáveis analisadas, portanto todos seriam uma alternativa de matriz energética para a região.

Com esse estudo recomenda-se avaliar outras propriedades da madeira inclusive as energéticas bem como das variáveis de crescimento do material, buscando obter mais informações para selecionar o melhor material genético, sendo assim, visando a produção de biomassa para energia na região.

## 7. REFERÊNCIAS

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília. 2002. Pg. 51 a 61. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf). Acesso: 05/02/2023.

Annual Energy Outlook 2017. **With projections to 2050**. January 5, 2017. Disponível em: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf). Acesso em: 06/02/2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. São Paulo. p. 71. 2004.

BRASIL. Lei Federal nº 11.284, de 02 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 mar. 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm). Acesso em: 22 set. 2023

BEN - **Balço Energético Nacional**. 2020/2023. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PSZmeFLgVYJ:https://ben.epe.gov.br/+&cd=3&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=dehttp>. Acesso em: 05/02/2023.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131f.

BARROS, M. L.; SILVA, R. G. C.; PADILHA, M. C. S.; SÁ, A. **Caracterização energética de Eucalyptus sp. provenientes de dois tratamentos do solo em alagoas**. Congresso Brasileiro de Eucalipto, 2019, Alagoas. Anais... p. 4.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. IPEF, 1978.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: densidade da madeira x densidade do carvão**. IPEF, n. 20, p. 101-113, 1980.

CAMPOS, M. **Crise energética no Brasil**. Mundo Educação, 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/crise-energetica-no-brasil.htm>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

CARNEIRO, A. de C. O. et al. **Potencial energético da madeira de Eucalyptus sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos**. Revista Árvore, v. 38, p. 375-381, 2014.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema. SP. 2009.** 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba- SP.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. **Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp.** Enciclopédia biosfera, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

CHOHFI, F. M.; DUPAS, F. A.; LORA, E. E. S. **Balanco, análise de emissão e sequestro de CO<sub>2</sub> na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro.** 2004. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá- MG. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100031&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100031&script=sci_arttext). Acesso em: 06/02/2023.

DAL-BÓ, V. **Potencialidades para o aproveitamento de biomassa de casca de café robusta para a geração de energia.** 109 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário mineral 2006.** p. 304, 2006.

EMBRAPA. 2014. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda.** 1ª ed., Brasília: Embrapa, 2014. 12p.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2021.** Disponível em: BEN 2021.pdf (epe.gov.br). Acessado: 10 de outubro de 2023.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (2022). **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022: ano base 2023.** Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>.

EOM, I. Y. et al.. **Characterization of primary thermal degradation features of lignocellulosic biomass after removal of inorganics metals by diverse solvents.** Bioresource Thecnology, v. 102, n. 03, p. 3437-3444, Mar, 2011.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal.** 73 f. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FOELKEL C. **Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade.** EUCALYPTUS ONLINE BOOK. 2016. Disponível em: [www.eucalyptus.com.br](http://www.eucalyptus.com.br). Acesso em: 07/02/2023.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Métodos para**

**determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas.** Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 1971. Disponível em: <http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap04.pdf>. Acesso em: 05/02/2023.

GARCIA, A.; SILVA, A. P. S.; MENDONÇA, M. A.; ALVES, V. R. S. Caracterização de biomassas para o processo de pirólise rápida. *In: CONGRESSO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS*, 2021, Sorocaba, São Paulo. **Anais [...]**. [S.l.: s. n], 2021. 12 p.

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). **Sixth Assessment Report**. Disponível em: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (ipcc.ch)*. Acessado em: 27 de outubro de 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Gasification of biomass and waste**. Task 33 Database. Disponível em: [http://task33.ieabioenergy.com/content/thermal\\_gasification](http://task33.ieabioenergy.com/content/thermal_gasification). Acesso em: 05 outubro 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of hydrogen**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The\\_Future\\_of\\_Hydrogen.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf). Acesso em: 02 setembro 2023.

INPUT (Iniciativa Para o Uso da Terra). **Relatório oportunidades para florestas energéticas na geração de energia no Brasil**. Disponível em: *OportunidadesPara-Florestas-Energéticas-Na-Geração-De-Energia-No-Brasil-1.pdf* (inputbrasil.org). Acessado em: 16 de setembro de 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Relatório IBA 2020**. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Relatório IBA 2023**. 2023.

MIRANDA, M. A. S. **Potencial da Biomassa Florestal para Produção de Energia Térmica Industrial**. 2015. 61 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

MARQUES, G. **Estudo teórico de um dispositivo de captação de energia das ondas**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-MoutaLiz/publication/323153791\\_Guilherme\\_Marques\\_Mouta\\_Liz\\_Estudo\\_Teorico\\_de\\_um\\_Dispositivo\\_de\\_Captacao\\_de\\_Energia\\_das\\_Ondas\\_Monografia\\_em\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA/links/5a8371daaca272d6501eb86a/Guilherme-Marques-MoutaLiz-Estudo-Teorico-de-um-Dispositivo-de-Captacao-de-Energia-das-OndasMonografia-em-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-MoutaLiz/publication/323153791_Guilherme_Marques_Mouta_Liz_Estudo_Teorico_de_um_Dispositivo_de_Captacao_de_Energia_das_Ondas_Monografia_em_EFICIENCIA_ENERGETICA/links/5a8371daaca272d6501eb86a/Guilherme-Marques-MoutaLiz-Estudo-Teorico-de-um-Dispositivo-de-Captacao-de-Energia-das-OndasMonografia-em-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf). Acesso em 22 novembro de 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Acordo de Paris**. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 06 out. 2023.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. *Bioresource technology*, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MÜLLER, Marcelo Dias. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** Viçosa/MG, 2005.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

NUNES, L. J. R. **A Utilização de Biomassa como Alternativa Energética para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria Portuguesa.** 2015. 24 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão Industrial). Covilhã: UBi – Engenharia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190** - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. BESSETTE, A. E.; HOYLE R. J. (1985).

PAREYN, F. G. C. **Os Recursos Florestais Nativos e sua Gestão no Estado de Pernambuco – O Papel do Manejo Florestal Sustentável.** 2ª. Edição: 2010. 99 a 113 pg. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília-DF.

PROMATA. **Contratação de prestação de serviços de consultoria para implementação do modelo de gestão do projeto de saneamento rural da zona da mata de Pernambuco, no âmbito do programa de apoio ao desenvolvimento sustentável da zona da mata de Pernambuco – PROMATA, parcialmente financiado pelo banco interamericano de desenvolvimento – BID.** PROMATA, 2010.

REN21. **Renewables Global Status Report.** Paris: REN21, 2022. 309 p. Disponível em: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf). Acesso em: 05 setembro. 2023.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de Eucalyptus grandis x Eucalyptus camaldulensis para energia.** Dissertação. (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

S, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria, Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais.** Viçosa- MG. 2013.

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e Modelagem do Crescimento de Florestas Energéticas de Eucalipto Plantadas em Diferentes Densidades.** 2007. 137 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba- PR.

SAIDUR, R. et al.. A review on a biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, June, 2011.

SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. **Propriedades da madeira de Eucalyptus benthamii para produção de energia.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SILVA, G. C. **A representação sócio-econômica da cana de açúcar para a região da Zona da Mata de Pernambuco.** Revista Eletrônica do curso de Geografia. n.14. 2010.

SILVA, E. **Biomassa cultivada para produção de energia: estudo comparativo entre capim-elefante e eucalipto com a incorporação de energia solar na secagem**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia, Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2012. 93 pp.

SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. **Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de Pinus taeda**. Floresta, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, 2012.

TRUGILHO, P. F. **Energia da Biomassa Florestal**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais- MG. 2009. Disponível em: <http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>. Acesso em: 07/02/2023.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo-SP. Disponível em: [www.acendebrasil.com.br/medias](http://www.acendebrasil.com.br/medias). Acesso em: 06/02/2023.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V. F.S. **Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de Pinhão Manso (Jatropha curcas)**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDES Setorial 33, p261-314, 2011.

VIEIRA, A.C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. 2012. 56 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

WORLD WILDLIFE FUND. **Unidades de conservação no Brasil: Quanto o Brasil tem em unidades de conservação?** 2019. Disponível em: [https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/factsheet\\_uc\\_tema03\\_v2.pdf](https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/factsheet_uc_tema03_v2.pdf). Acesso em: 05 setembro 2023.