

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAURA MARTINS SZEKUT

**PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE
GALHOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

DOIS VIZINHOS

2023

LAURA MARTINS SZEKUT

**PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE
GALHOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Flavia Alves Pereira.

Coorientador(a): Marcos Aurélio Mathias de Souza.

DOIS VIZINHOS

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LAURA MARTINS SZEKUT

**PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE
GALHOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22 de junho de 2023

Flavia Alves Pereira (Orientadora)
Doutora em Ciência Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Helena Cristina Vieira
Doutora em Engenharia Florestal
Universidade do Estado de Santa Catarina

Felipe Rodrigues Alcides
Mestre em Ciências Florestais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2023

AGRADECIMENTOS

Dedico esta página de agradecimentos a todos que estiveram presente comigo e tornaram esse trabalho realizado.

Agradeço a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

Um obrigada especial ao meu pai Gilberto, minha mãe Lucimar e também aos meus irmãos Roberta e Nathan, que mesmo com a distância sempre me apoiaram e seguraram minha mão para que eu não caísse.

Agradeço a minha orientadora, Prof. Dra^o Flavia Alves Pereira, que esteve comigo em todas as etapas desse processo e, ao meu coorientador, Prof. Dr^o Marcos Aurélio Mathias de Souza, que também foi de grande importância para esse trabalho. Sem vocês eu não conseguiria.

Gostaria de deixar registrado também meu agradecimento à meus amigos, em especial a Luana Medeiros, Wellington Dzindzik, Ana Brito, Sabrina Zaluski, Amanda Marcos e Mayara Yukari, por sempre estarem presente na minha vida e por me apoiarem em qualquer decisão.

Enfim, a todos que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SZEKUT, M. L. **Propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de galhos de erva-mate**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos. 36f.

A determinação das propriedades das madeiras contribui para aumentar a utilização destes materiais e ampliar a oferta de produtos disponibilizados ao mercado. Antes da chegada dos portugueses, o território brasileiro era repleto de florestas e matas virgens, e a madeira foi um dos materiais mais versáteis e mais utilizados da história e é de grande importância o conhecimento sobre suas propriedades, pois poderão definir se o produto final será positivo ou negativo em relação a sua funcionalidade, já que são as propriedades da madeira que definem sua qualidade. A erva-mate é uma das principais espécies exploradas dentro do setor de extrativismo vegetal não madeireiro no Brasil. A madeira de erva-mate tem uso secundário, utilizada tanto serrada ou roliça, e na fabricação de lâminas para produção de painéis. Diante disso, o presente trabalho visa determinar as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira dos galhos dessa espécie. A composição química da madeira poderá ditar seu uso e as propriedades físicas da madeira expressam a qualidade desse material, principalmente para fins industriais. A avaliação da qualidade da madeira para energia é muito importante quando o objetivo é uma melhor conversão energética do material, tanto para a queima direta ou para produção de carvão vegetal, com baixo custo e alto rendimento. Para a realização desse estudo, foi utilizada a madeira da espécie *Ilex paraguariensis* St. Hill. O material está localizado no município de Capitão Leônidas Marques – PR. Os testes e ensaios foram realizados no laboratório de Tecnologia da Madeira, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos. Para cada análise foi realizado três repetições e, através disso foi possível obter resultados de a.s%, teor de umidade, lignina, teor de extrativos, holocelulose, densidade básica e aparente, retratibilidade, teor de voláteis, cinzas e carbono fixo. Alguns desses resultados, como densidade básica, retratibilidade e outros, foram compatíveis quando comparados com estudos sobre erva-mate. Com isso, foi possível concluir que os teores de extrativos, lignina insolúvel e solúvel e holocelulose indicam potencial energético. No entanto, os altos teores de cinzas e os altos teores de umidade podem dificultar alguns usos. Ressalta-se que esses resultados são específicos para galhos e podem variar em relação ao tronco da árvore.

Palavras-chave: Madeira de galhos; Retratabilidade; Holocelulose, Lignina; Extrativos.

ABSTRACT

SZEKUT, M. L. **Chemical, physical and energetic properties of yerba mate twig wood.** 2023. Completion of course work – Forestry Engineering, Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhos. 36f.

Determining the properties of wood contributes to increasing the use of these materials and expanding the range of products available to the market. Before the arrival of the Portuguese, the Brazilian territory was full of forests and virgin forests, and wood was one of the most versatile and most used materials in history and it is of great importance to know about its properties, as they will be able to define whether the final product will be positive or negative in relation to its functionality, since it is the properties of the wood that define its quality. Yerba mate is one of the main species explored within the non-timber plant extractivism sector in Brazil. Yerba mate wood has a secondary use, used either sawn or rounded, and in the manufacture of veneers for the production of panels. Therefore, the present work aims to determine the chemical, physical and energetic properties of the wood from the branches of this species. The chemical composition of wood may dictate its use and the physical properties of wood express the quality of this material, mainly for industrial purposes. The evaluation of wood quality for energy is very important when the objective is a better energy conversion of the material, either for direct burning or for the production of charcoal, with low cost and high yield. To carry out this study, wood from the species *Ilex paraguariensis* St. Hill. The material is located in the municipality of Capitão Leônidas Marques – PR. The tests and tests were carried out in the Wood Technology laboratory, at the Federal Technological University of Paraná – Campus Dois Vizinhos. Three repetitions were performed for each analysis and, through this, it was possible to obtain results for a.s%, moisture content, lignin, extractive content, holocellulose, basic and apparent density, shrinkage, volatile content, ash and fixed carbon. Some of these results, such as basic density, shrinkage and others, were compatible when compared with studies on yerba mate. Thus, it was possible to conclude that the contents of extractives, insoluble and soluble lignin and holocellulose indicate energy potential. However, high ash contents and high moisture contents can make some uses difficult. It should be noted that these results are specific for branches and may vary according to the tree trunk.

Keywords: Wood from branches; Retractability; Holocellulose, Lignin; Extractives.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO	14
2.1.	Objetivo geral	14
2.2.	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.	Descrição da espécie	14
3.2.	Composição Química da Madeira	16
3.2.1.	Celulose	16
3.2.2.	Poliose (Hemicelulose)	17
3.2.3.	Lignina	18
3.2.4.	Extrativos	20
3.3.	Propriedades Físicas da Madeira	20
3.3.1.	Teor de Umidade	20
3.3.2.	Massa específica básica	21
3.3.3.	Massa específica aparente	21
3.3.4.	Retratibilidade	22
3.3.5.	Coeficiente de anisotropia	22
3.4.	Propriedades Energéticas da Madeira	22
4.	METODOLOGIA	24
4.1.	Material	24
4.2.	Análise Química da Madeira	24
4.2.1.	Preparo das amostras	24
4.2.2.	Determinação de Extrativos Totais	26
4.2.3.	Determinação do teor de Lignina	27
4.2.4.	Determinação do teor de Holocelulose	28
4.3.	Características Físicas	28
4.3.1.	Preparo do Material	28
4.3.2.	Determinação da Densidade	28
4.3.3.	Teor de Umidade	29
4.3.4.	Retratibilidade	30
4.4.	Características Energéticas	30
4.4.1.	Voláteis	30
4.4.2.	Cinzas	31

4.4.3.	Carbono Fixo.....	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um tecido proveniente do xilema secundário das árvores, com função de sustentação mecânica, e um importante produto mercantil florestal. É versátil, com diversas utilizações como na fabricação de móveis, laminados, painéis compensados, casas, embarcações e fins estruturais (VIDAURRE et al. 2012).

No Brasil, a madeira foi protagonista em boa parte da história de sua colonização. Antes da chegada dos portugueses, o território era repleto de florestas e matas virgens, e foi um dos materiais mais versáteis e mais utilizados da história (TORA BRASIL, 2021). A madeira contribuiu para o desenvolvimento das civilizações, sendo utilizada na produção de calor e para proteção, e hoje é matéria-prima em produtos como celulose, papel, bioplásticos, nanofibras, bio-óleos, carvão vegetal, pellets, briquetes.

A determinação das suas propriedades contribui para aumentar a utilização e ampliar a oferta de produtos disponibilizados ao mercado. As propriedades físicas da madeira são decisivas para a produção de madeira sólida, as características químicas afetam a produção de polpa e papel e as características anatômicas estão ligadas a todos os processos de beneficiamento e podem variar de acordo com o lenho da madeira, juvenis e adultos (VIDAURRE et al. 2012). Diante disso, a definição destes parâmetros pode limitar ou definir seu uso ou atestar sobre a qualidade final de um determinado produto.

Segundo o IBGE (2012), a erva-mate é uma das espécies mais exploradas dentro do setor de extrativismo vegetal não madeireiro no Brasil e seu principal uso é nas indústrias de alimentos, destinadas, por exemplo, para produção de chimarrão, terere, chás e alimentos. A madeira de erva-mate tem uso secundário, tanto serrada quanto roliça, na fabricação de lâminas para produção de painéis (CARVALHO, 2015).

Pesquisas relacionadas à caracterização de madeiras são relevantes quando se objetiva-se conhecer o potencial de uso, aplicação em diferentes produtos, novas técnicas de processamento, ampliação de demanda. A erva mate é uma espécie bem conhecida em relação ao uso de suas folhas, mas pesquisas direcionadas à sua madeira podem ampliar ainda mais a demanda e utilização desta espécie.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Determinação das propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de galhos de erva-mate.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar o teor de extrativos, lignina (solúvel e insolúvel) e holocelulose da madeira de galhos de erva-mate;
- Determinar a massa específica básica e aparente da madeira de galhos de erva-mate;
- Determinar o teor de umidade, contração e anisotropia presente na madeira de galhos de erva-mate;
- Determinar o teor de cinzas, teor de voláteis e teor de carbono fixo da madeira de galhos de erva-mate;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Descrição da espécie

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill) é uma árvore de crescimento lento, necessitando de temperaturas médias anuais entre 17 e 21°C (MACCARI JUNIOR, 2000). Em seu habitat natural, essa espécie pode chegar até 15 metros de altura, porém, nas plantações (ervais) é recomendado que não passe de 7 metros por conta das podas que são realizadas. Tem um porte vertical e copa arredondada, seu tronco atinge de 20 a 25 centímetros de diâmetro e sua casca é lisa e de cor cinza (MAZUCHOWSKI, 1989).

A erva-mate tem sua origem da América do Sul e sua classificação botânica se deve ao naturalista francês Auguste de Saint-Hilaire, que a descreveu como angiosperma (plantas que apresentam flores e frutos), dicotiledônea (que possui dois cotilédones na semente), da família Aquifoliaceae, do gênero *Ilex* e sua espécie chamada de *Ilex paraguariensis* A. St. Hill.

A espécie possui grande ocorrência, atingindo aproximadamente 540.000 Km². A erva-mate ocorre no nordeste da Argentina, leste do Paraguai e noroeste do Uruguai e do Brasil (VALDUGA, 1994). No Brasil a erva-mate pode ser encontrada principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, sendo este o maior produtor do país com cerca de 87,4% da produção nacional, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

De acordo com Berger et al. (2006), alguns estudos sobre a erva-mate se difundiram com os jesuítas, que perceberam que as sementes dessa planta não germinavam naturalmente. A partir daí, iniciou-se o desenvolvimento de estratégias de plantio, colheita e publicação de trabalhos envolvendo essa cultura. Em 1990, somente os três estados do sul do Brasil produziam a erva-mate, mas, a partir dos anos 2000, o estado do Mato Grosso do Sul passou a desenvolver técnicas de plantio fazendo com que a produção da erva-mate no país aumentasse ainda mais (ESMELINDRO et al. 2002).

A erva-mate possui importância social e econômica por ser uma cultura explorada principalmente por pequenos produtores (SIGNOR et al. 2015), além da geração de empregos ao longo de sua cadeia produtiva, presente em aproximadamente 180 mil propriedades rurais, com cerca de 600 empresas e 700 mil empregos no Brasil (BONFATTI JÚNIOR et al. 2020).

A exploração da erva-mate é um meio de manter os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista e garantir renda aos agricultores detentores desses remanescentes (BONFANTTI JÚNIOR et al. 2020). Além de ser economicamente viável, a erva-mate traz consigo inúmeros benefícios à saúde que são atribuídos por seu consumo (DE SOUZA, 2021). Algumas pesquisas feitas, revelam que a erva-mate possui grande capacidade antioxidante, tendo também efeitos estimulantes, antimicrobianas e diuréticas (BERTÉ, 2011).

Os produtos derivados dessa planta (Figura 1) são consumidos no mundo inteiro. Na Alemanha e Estados Unidos, por exemplo, a erva-mate é utilizada como chá e como fonte de cafeína para produção de bebidas energéticas (DE SOUZA, 2021). Países como Espanha, França, Rússia e Itália também já fazem o consumo dos produtos oriundos da erva-mate (JUNIOR; MORAND, 2016).

Figura 1: Erva-Mate



Fonte: A autoria própria (2022).

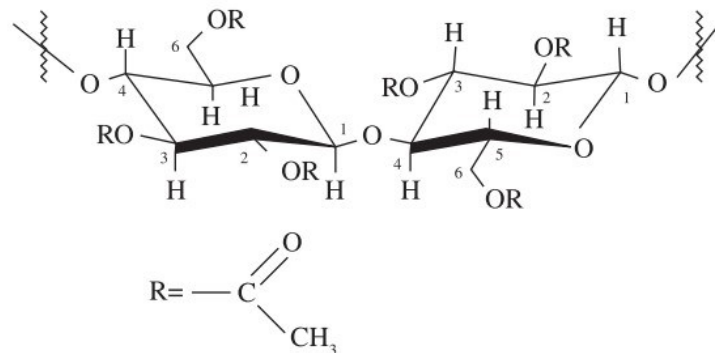
3.2. Composição Química da Madeira

A composição química da madeira é muito importante para entendermos o comportamento desse material ou composto natural (KLOCK, ANDRADE, 2013) e fundamental para a definição do uso correto do material, sendo caracterizada pela presença de componentes fundamentais (celulose, hemicelulose e lignina) e acidentais (extrativos e as cinzas) (DANTAS, 2018).

3.2.1. Celulose

Classificada como homopolissacarídeo, a celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ é um polímero de cadeia longa (Figura 2) de uma só glicose (monômero) que compõe uma grande parte dos seres vivos e que pode também ser produzida por algumas bactérias (LAVOINE et al. 2012). Apresentando uma elevada massa molar e ligações glicosídicas β -1,4 (onde cada unidade de glicose contém três hidroxilas livres ligadas aos carbonos 2, 3 e 6 respectivamente (ARRUDA, 2021) em sua forma, a celulose é um material estrutural na formação das fibras, auxiliando na sustentação dos vegetais (RIGOLETTO et al. 2022), e nesses vegetais ela está presente na folha, caule, fruta entre outras partes.

Figura 2: Estrutura da Celulose



Fonte: CERQUEIRA (2010)

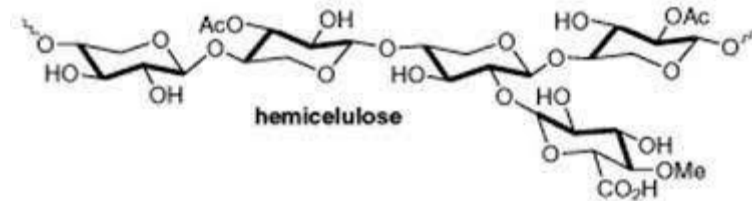
A celulose faz parte da parede celular e é encontrada na forma de microfibrila. Ela garante rigidez já que forma um grande sistema de fibras entrelaçadas. Na madeira aproximadamente 36 moléculas individuais de celulose formam a fibrilas elementares, que por sua vez constituirão as microfibrilas (HABIBI; LUCIA; ROJAS, 2010).

Segundo Brinchi et al. (2013), a celulose é uma das fontes naturais renováveis de maior abundância no mundo, portanto, é a fonte de matéria-prima com maior utilização, principalmente pelas indústrias. Ainda, esse polímero pode ser alterado para a extração de produtos industrializados (ARRUDA, 2021), como na área da medicina, farmácia, produção de polpa e papel, indústrias alimentícias e indústria têxtil (FIDALE, 2010).

3.2.2. Poliose (Hemicelulose)

Com uma associação com a celulose e lignina, a hemicelulose (Figura 3) é um heteropolissacarídeo de baixo peso molecular. Sua cadeia principal pode ser formada por apenas um tipo de homopolímero (açúcar) no caso das xilanas que são formadas somente por uma unidade de xilose e pode ser formada também por dois ou mais tipos de açúcares, conhecido por heteropolímero, por exemplo as glucomananas, que são constituídas por glucose e manose (MOREIRA, 2016). A hemicelulose é formada por ligações glicosídicas entre diferentes monossacarídeos (GUIMARÃES, 2013).

Figura 3: Estrutura da Hemicelulose



Fonte: HUEBRA (2016)

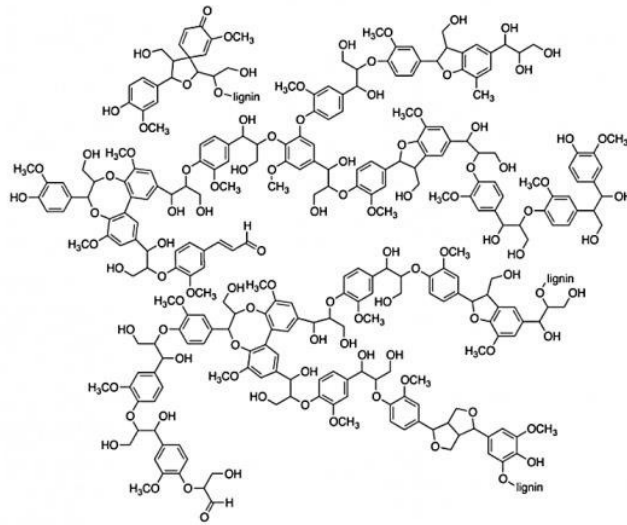
A principal diferença com a celulose é que a hemicelulose possui ramificações com cadeias curtas laterais e, comparando com a celulose, elas são polímeros facilmente hidrolisáveis (HUEBRA, 2016).

Por serem amorfas e adesivas por natureza, as hemiceluloses na secagem acabam perdendo sua elasticidade, ou seja, elas endurecem e ficam inacessíveis à água e aos agentes comuns de intumescimento (GUIMARÃES, 2013).

As hemiceluloses representam de 20 a 30% da massa da madeira e, diferente da celulose e lignina, sua função na madeira não é tão óbvia assim. Essas moléculas podem servir como um intermédio entre a celulose e a lignina, o que facilita a incrustação das microfibrilas (MOREIRA, 2016).

3.2.3. Lignina

Formada por um anel aromático macromolecular, a lignina, representada na figura 4, é gerada através da polimerização desidrogenativa de três álcoois fenilpropanos, p-cumarílico, coniferílico e sinapílico (VIEIRA, 2016).

FIGURA 4: Estrutura da Lignina

Fonte: MENEZES et al., (2022)

A lignina é um importante componente da parede celular das plantas e está presente em todo o reino vegetal, nas sementes, madeira, cascas entre outras partes (CRESTINI et al. 2010). Ela é responsável pela resistência mecânica das plantas e também pelo transporte interno de água além de atuar na proteção contra ataques de micro-organismos. A lignina pode ter diferentes formas de estruturas, variando de acordo com a planta e com o processo de extração (CRESTINI et al. 2010).

Assim como a celulose, a lignina é um dos polímeros naturais mais abundantes da natureza e nos processos industriais (GALDINO, 2021). A molécula de lignina é o terceiro componente mais abundante encontrado na madeira, correspondendo de 15 a 35% do seu peso. Pode-se dizer que a lignina é resultante do metabolismo da planta, pois quando é feito o processo de lignificação, coincide com a morte da célula, formando assim o tecido de resistência (MENEZES et al. 2022).

A lignina tem como papel biológico formar, nas plantas vivas, um tecido de resistência e durabilidade, juntamente com a celulose e outros carboidratos. A lignina também reduz a permeabilidade da parede celular à água, facilitando o transporte longitudinal na planta (MOREIRA, 2016).

3.2.4. Extrativos

Os extrativos são metabólitos secundários produzidos pela espécie em função de alguma necessidade da planta, muitas vezes, produzidos para servir como um mecanismo de proteção contra os predadores que desejam consumir os componentes existentes na parede celular. Muitas vezes são responsáveis por dar características à madeira, como: a cor, o cheiro, gosto, entre outras (MOREIRA, 2016).

Esses extrativos estão presentes na madeira podendo apresentar baixa ou média massa molecular e são classificados conforme a sua polaridade e solubilidade em diferentes solventes, além de englobarem em pequenas quantidades os óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos (OLIVEIRA, 2019). A quantidade dos compostos e a composição dos extrativos dependem de fatores como espécie, idade, região de origem e etc.

3.3. Propriedades Físicas da Madeira

A madeira é um material ortotrópico devido a sua estrutura interna, ou seja, suas propriedades, tanto físicas como mecânicas, se diferem nas três direções sendo elas longitudinal, radial e tangencial (FIGUEROA, 2012).

As propriedades físicas da madeira expressam a qualidade desse material, tanto para tecnológicos quanto industriais, possibilitando determinar o uso adequado (FIGUEROA, 2012).

3.3.1. Teor de Umidade

A umidade da madeira é influenciada principalmente pela espécie, massa específica, características anatômicas, cerne e alburno e, portanto, é uma das propriedades físicas da madeira mais importante para o seu aproveitamento, tanto na produção de carvão e lenha como para papel, celulose e painéis de madeira (DE JESUS EUFRADE-JUNIOR et al. 2021).

O teor de umidade indica a quantidade de água presente na madeira. Para usar a madeira adequadamente, é importante que a umidade da mesma esteja em equilíbrio com o ambiente, pois esta varia de acordo com a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente (CHAVES, 2022).

3.3.2. Massa específica básica

A massa específica da madeira é uma informação útil sobre sua qualidade e para classificação. Ela reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou do volume de espaços vazios em dada madeira (MARQUES et al. 2012).

A massa específica básica é um dos parâmetros físicos mais importantes e está relacionado com a estrutura anatômica e com a composição química da madeira, incluindo a resistência mecânica, estabilidade dimensional e qualidade da superfície usinada (LOPES et al. 2011). REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI (1995), afirmam que a massa específica básica é influenciada por diversos fatores como a espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos, origem de semente, condições edafoclimáticas, sistema de implantação e condução da floresta e varia em função da taxa de crescimento, do local de origem, do espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca.

3.3.3. Massa específica aparente

A massa específica aparente da madeira é uma quantificação de matéria lenhosa por unidade de volume, sendo o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos e está diretamente ligada com o seu teor de umidade em função das alterações de massa e volume. Essa propriedade pode apresentar valores distintos entre espécies e, em geral, madeiras de maior densidade são mais resistentes, rígidas e duras em relação as que são mais leves (OLIVEIRA et al. 2022). A partir da massa específica aparente, é possível estimar outras propriedades de resistência e de rigidez da madeira (ALMEIDA et al. 2014).

A massa específica é uma das propriedades mais importantes da madeira para diversos usos e uma das propriedades físicas mais estudadas, pela facilidade e rapidez de seus resultados em relação à outras propriedades e características tecnológicas da madeira. Além de afetar a resistência mecânica e sua variação dimensional, ela também está diretamente relacionada à anatomia da madeira, uma vez que é reflexo das dimensões das fibras e traqueídeos (MARQUES et al. 2012).

3.3.4. Retratibilidade

A retratibilidade tem um papel primordial quando se trata do potencial uso da madeira. A variação dimensional começa a ocorrer quando esta ganha ou perde umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras, por conta deste ser higroscópico, ou seja, apresentam a propriedade de adsorver água até estar em equilíbrio com o ambiente (DE REZENDE, 2003).

A retração da madeira se difere de espécie para espécie, conforme a condução da secagem e do próprio comportamento do material, podendo gerar alterações na forma e haver formação de fendas e empenamentos (FARIAS, 2020). Através da retratibilidade da madeira, é possível prever o quanto um material irá contrair ou inchar, considerando o teor de umidade de equilíbrio, e evitar futuros problemas funcionais do produto industrializado (MORESCHI, 2005).

3.3.5. Coeficiente de anisotropia

Também conhecido como coeficiente de Lankford, o coeficiente de anisotropia mede o grau de anisotropia de um material sob condições de deformação plástica. A anisotropia pode ser considerada como a diferente resposta do material quando conhecidos seus planos e direções (PAES et al. 2019).

A madeira é um exemplo de material anisotrópico com propriedades que dependem das suas fibras. O coeficiente de anisotropia é a relação entre as contrações tangencial e radial. Esse coeficiente é um parâmetro de avaliação de qualidade da madeira que considera sua variação dimensional.

Apesar da importância do coeficiente de anisotropia na classificação da madeira quanto a sua estabilidade dimensional, ele é apenas um indicativo, que não deve ser avaliado de maneira isolada. É preciso sempre considerar, nas avaliações, os valores individuais das contrações tangencial e radial (AMORIM; PAES; NICÁCIO, 2021).

3.4. Propriedades Energéticas da Madeira

A madeira é considerada um combustível essencial principalmente em processos de secagem, cozimento, fermentação e produção de eletricidade, em diversas regiões do mundo (CARVALHO, 2018). Para usar a madeira de forma mais

efetiva e eficiente é preciso ter o conhecimento sobre suas características e atributos.

A avaliação da qualidade da madeira para energia é muito importante quando o objetivo é uma melhor conversão energética do material, tanto para a queima direta ou para produção de carvão vegetal com baixo custo e alto rendimento. O conhecimento acerca destas características, possibilita intensificar o potencial das espécies, selecionando aquelas com maior quantidade de energia para usos específicos. A falta de conhecimento é um fator limitante quanto a sua utilização com maior eficiência.

A produtividade florestal das espécies é um fator determinante quando se pensa em produção de biomassa para fins energéticos, entretanto outras características como massa específica básica, teores de carbono fixos, composição elementar, poder calorífico, materiais voláteis e cinzas são critérios chave para esta seleção (SCHIMIDT et al. 2018). A composição química da madeira influencia diretamente na eficiência energética, principalmente os teores de lignina e extrativos. Carvalho (2018) afirma que o rendimento energético da madeira, depende de sua constituição química.

Madeiras com um teor de cinzas inferior a 1% são consideradas boas para usos energéticos. As cinzas não sofrem combustão, mas fazem parte da massa total do combustível quando este está em processo de queima, então, quanto maior o seu teor, menor será o poder calorífico superior da biomassa. Também, altos teores de materiais voláteis ocasionam a produção de fumaça durante a queima e uma menor eficiência energética, então, quanto maior o teor de materiais voláteis na madeira, menor é o teor de cinzas, pois o material que é volatizado não resulta em resíduos sólidos após a combustão, o teor de carbono fixo e o poder calorífico se relacionam negativamente com o teor de materiais voláteis, contudo, quanto mais baixo o teor de carbono fixo, menos eficiência energética a madeira terá (KOASKI et al. 2019). No campo energético a madeira é tradicionalmente chamada de lenha e sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos. Hoje a madeira continua participando da matriz energética mundial, com maior ou menor intensidade, dependendo da região considerada (KLOCK e ANDRADE, 2013).

4. METODOLOGIA

4.1. Material

Para a realização desse estudo, foram utilizadas madeiras de galhos de *Ilex paraguariensis*, coletadas no município de Capitão Leônidas Marques – PR (Figura 5). O erval onde foram coletados os materiais possui cerca de 30 anos e as árvores são cultivadas a pleno sol. O município possui latossolo vermelho predominante e tem um Clima subtropical úmido (Classificação climática de Köppen-Geiger: Cfa).

Foram coletados 10 galhos, com circunferência entre 10 e 20 cm. As cascas não foram utilizadas nas análises. Para cada análise forem feitas três repetições.

Figura 5: Local da Coleta



Fonte: Autoria própria (2022).

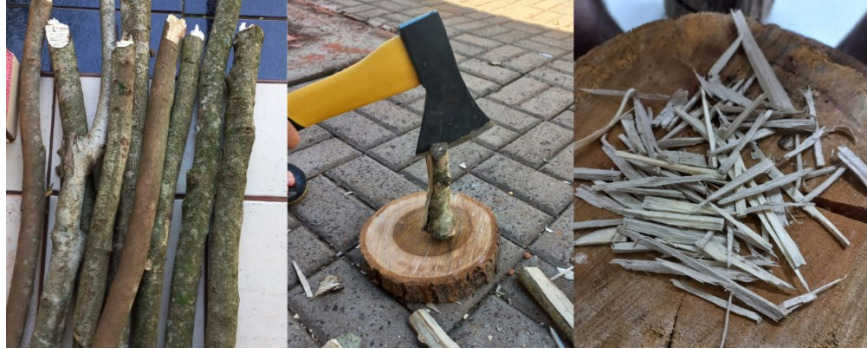
4.2. Análise Química da Madeira

4.2.1. Preparo das amostras

Para o preparo das amostras, seguiu-se a metodologia descrita na norma NBR 14660 (2004) (Madeira – Amostragem e preparação para análise). As madeiras foram transformadas em lascas, com o auxílio de um facão, e esse processo foi repetido até a espessura de palitos de fósforos (Figura 6). Em seguida,

foram secos ao ar, na sombra, e moídos em um moinho tipo Wiley, com tela de 10 mesh. O material moído passou por um classificador de movimentos de vibração, com peneiras, para chegar à condição de serragem, através de uma peneira de 40 e 60 mesh. Para as análises químicas e energéticas, foi utilizada a fração retida na peneira de 60 mesh. Estas serragens foram armazenadas em sacos plásticos identificados.

Figura 6: Material coletado e preparado



Fonte: Autoria própria (2023).

Para determinação da porcentagem absolutamente seca (% a.s) e teor de umidade (TU), uma placa de petri foi pesada em uma balança analítica, com precisão de 0,1 mg, e adicionados 1 g de serragem. Após essa pesagem, a serragem foi seca em estufa a 105 +/- 2 C, até o peso constante e, em seguida, levada a um dessecador para determinação do peso seco, conforme figura 8. O % a.s. foi determinado pela equação 1.

Equação 1: % a.s.

$$\% a. s = \frac{PS}{PU} \times 100$$

Em que: % a.s = porcentagem absolutamente seca; PS = peso seco em gramas;
PU = peso úmido em gramas;

4.2.2. Determinação de Extrativos Totais

Os extrativos totais foram determinados segundo a norma TAPPI T204 cm-97 (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 1997), com adaptações. Aproximadamente, 2,2 g de serragem seca foram adicionados à cartuxos de extração, e transferida para o extrator Soxhlet. Para a determinação do peso equivalente, foi utilizado a equação 2 abaixo.

Equação 2: Peso equivalente.

$$\text{Peso equivalente} = \frac{2,2 \text{ g de serragem}}{100} \times \% \text{ a. s}$$

Em que: % a.s. = porcentagem absolutamente seca;

A extração foi realizada em duas etapas. Num primeiro momento, foi adicionado uma mistura de álcool-tolueno, em uma proporção 1:2, por 8 horas. Em seguida, realizou-se a segunda extração com álcool 95, durante 6 horas.

Depois do término da extração, a amostra foi colocada em um bequer com 400ml de água destilada e levada para o banho maria a 100° C, por uma hora. Posteriormente, essa amostra foi lavada com 100ml água destilada quente e filtrada com um cadinho de vidro sintetizado n°2, com auxílio de uma bomba de vácuo. Em seguida, a amostra foi levada até a estufa a 105 +/- 2° C para secar por 24 horas. O teor de extrativos foi obtido pela equação 3, a seguir.

Equação 3: Teor de extrativos (%E).

$$\% E = \frac{\text{peso dos extrativos}}{2 \text{ g de serragem}} \times 100$$

Em que: % E = teor de extrativos, %;

4.2.3. Determinação do teor de Lignina

O teor de lignina foi determinado a partir da metodologia descrita por Gomide e Demuner (1986). Foram pesados 0,3 g de serragem livre de extrativos e colocadas em um béquer de 100 ml. Foram adicionados 3 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 72% na amostra e, em seguida, levada ao banho maria à 30°C, por 1 hora.

A amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 250 ml, usando para isso 84 ml de água destilada para diluir o ácido sulfúrico. A solução foi fervida por 4 horas e, após esse processo, deixada em repouso por 24h, para a decantação da lignina. Em seguida, efetuou-se a filtragem com cadinho de vidro sintetizado n°2. Ressalta-se que o cadinho de vidro foi pesado anteriormente para determinação da lignina insolúvel.

A amostra foi lavada com 700 ml de água destilada, quando filtrada. O cadinho foi para a estufa por 24h para realizar a secagem. Os cadinhos já secos foram dispostos em dessecadores e realizada a pesagem, para a determinação da lignina insolúvel. Após filtrado, o líquido foi transferido para um balão volumétrico de 1 litro, ajustando o volume desde até 1 litro. A partir dessa solução, foram retiradas três amostras e armazenadas em recipientes para em seguida ser feita a análise desta solução que foi filtrada. Essas três amostras foram analisadas em um espectrofotômetro com comprimentos de onda de 215 nm e 280 nm e então foi feita a determinação de lignina solúvel. O teor de lignina insolúvel e solúvel foram obtidos pelas equações 4 e 5, respectivamente.

Equação 4: Porcentagem de lignina insolúvel.

$$\% L \text{ insolúvel} = \frac{\textit{peso resíduo}}{0,3 \text{ g}} \times 100$$

Equação 5: Porcentagem de lignina solúvel.

$$\% L \text{ solúvel} = \frac{(4,53 * A215) - A280}{(300 * P)} \times 100$$

Em que: % L solúvel = teor de lignina solúvel; A215 = absorvância obtida no comprimento de onda de 215 nm; A280 = absorvância obtida no comprimento de onda de 280 nm; P = peso absolutamente seco (g) da amostra utilizada na determinação de lignina insolúvel.

4.2.4. Determinação do teor de Holocelulose

A Holocelulose foi calculada por meio da diferença, conforme a equação 6 abaixo.

Equação 6: Porcentagem de holocelulose.

$$\% \text{ holocelulose} = 100 - (\text{Extrativos (\%)} + \text{Lignina insolúvel (\%)})$$

4.3. Características Físicas

4.3.1. Preparo do Material

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de 10 galhos, sendo retirados 5 corpos de prova de cada um deles.

4.3.2. Determinação da Densidade

A massa específica aparente foi determinada a partir da norma NBR 7190-3 com adaptações. Os corpos de prova foram retirados com uma seção transversal retangular com dimensões nominais de 2,0 x 3,0 cm e o comprimento variou de um corpo de prova para outro. Após a climatização ($\pm 12\%$ de teor de umidade), a massa e o volume foram determinados com paquímetro. A densidade aparente foi obtida pela equação 7.

Equação 7: Densidade aparente.

$$P_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

Em que: P_{ap} = densidade aparente; m_{12} = massa, em quilogramas da madeira a 12% de umidade; V_{12} = volume da madeira a 12% de umidade em m^3 .

A massa específica básica foi determinada através do método de imersão, conforme a norma NBR 11941 (2003), até que a mesma atingisse seu peso constante e o volume da madeira foi obtido através do deslocamento de água. A densidade básica foi obtida pela equação 8.

Equação 8: Densidade básica.

$$p_{bas} = \frac{ms}{V_{sat}}$$

Em que: p_{bas} = densidade básica em g/cm^3 ; ms = massa seca da madeira em gramas; V_{sat} = volume da madeira saturada em cm^3 .

4.3.3. Teor de Umidade

Para a determinação do teor de umidade, a norma utilizada foi a NBR 7190-3. Os corpos de prova foram pesados e em seguida levados a estufa a $103 \pm 2^\circ C$, até atingir o peso constante. Posteriormente, permaneceram no dessecador por 40 minutos e foram pesados novamente. O teor de umidade foi obtido através da equação 9 abaixo.

Equação 9: Teor de umidade (TU).

$$TU = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Em que: TU = teor de umidade %; Pi = peso inicial em g; Pf = peso final em g.

4.3.4. Retratibilidade

A variação volumétrica dos corpos de prova foi determinada de acordo com a NBR 7190-3 com adaptações e a retratibilidade total foi obtida através da equação 10.

Equação 10: Retratibilidade total.

$$R = \frac{Vv - Vap}{Vv} \times 100$$

Em que: R = retratibilidade total %; Vv = volume da amostra na umidade de saturação em m³; Vap = volume da amostra na umidade considerada (0%) em m³.

4.4. Características Energéticas

4.4.1. Voláteis

A porcentagem de materiais voláteis foi determinada segundo a norma D-1762-84 (ASTM, 2007). A mufla foi aquecida à 950°C e, com a porta da mufla aberta, os cadinhos foram postos, por 2 minutos na parte externa, sobre a porta, numa temperatura de aproximadamente 300°C. Em seguida, os cadinhos foram colocados na beira da abertura da mufla ainda com a porta aberta, por 3 minutos, numa temperatura aproximada de 500°C. Por fim, as amostras foram para o fundo da mufla, por seis minutos, com a porta fechada. Posteriormente, as amostras foram colocadas no dessecador por 40 minutos para esfriar e em seguida realizou-se a pesagem. A determinação da matéria volátil se deu por meio da equação 13.

Equação 13: Porcentagem de matéria volátil (%MVt).

$$\% MVt = \frac{m2 - m3}{m2} \times 100$$

Em que: MVt = matéria volátil total %; m2 = massa do cadinho + massa de carvão depois de retirada umidade na estufa em g; m3 = massa de cadinho + massa de carvão depois de retirada da determinação de voláteis em g.

4.4.2. Cinzas

A porcentagem de cinzas foi determinada a partir da norma D-1762-84 (ASTM, 2007). O procedimento consistiu em colocar os cadinhos de porcelana com as amostras na mufla a 750°C, durante 6 horas para a incineração. Depois disso, os cadinhos foram colocados em um dessecador para o resfriamento e depois a pesagem. O teor de cinzas foi obtido através da equação 14.

Equação 14: Porcentagem de cinzas.

$$\% \text{ cinzas} = \frac{\text{massa de cinza (m4)}}{\text{massa da amostra (m3)}} \times 100$$

Em que: m3 = massa do cadinho + massa de carvão depois de retirada da determinação de voláteis em g; m4 = massa do cadinho + massa de carvão depois da determinação de cinzas em g.

4.4.3. Carbono Fixo

A determinação do carbono fixo foi feita através de cálculo de diferença, em que depois de calculado a porcentagem de cinzas e de material volátil, se obteve o carbono fixo. O carbono fixo foi obtido através da equação 15.

Equação 15: Porcentagem de carbono fixo.

$$\% CF = 100 - (\% MVt + \% Cinzas)$$

Em que: CF = carbono fixo; MVt = matéria volátil total.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de extrativos, lignina insolúvel e solúvel e a holocelulose da madeira de erva-mate foram determinados e são apresentados na Tabela 1.

O %a.s., ou seja, o quanto de material lenhoso está presente na amostra (madeira), foi de 91% e considerados na determinação das propriedades químicas.

O teor de extrativos da madeira de erva-mate foi de 9,33%. CARVALHO et al. (2015) observaram valores de extrativos em torno de 6% para erva-mate sem casca, como no caso desse estudo, provavelmente, por este se tratar de galhos e não de tronco, o teor de extrativos foi maior, já que alguns desses desempenham um papel no metabolismo das células vivas na árvore, fonte de energia e reserva funcional e outros são produzidos para a defesa da planta e o acúmulo desses extrativos são mais observados em espécies afetadas por estresse (ALMEIDA et al. 2014).

Os valores médios de lignina insolúvel e solúvel foram de 30,37% e 4,68%, respectivamente. Os resultados observados de lignina insolúvel, foram maiores quando comparado ao de CARVALHO et al. (2015) que encontrou um valor de 21,8%, porém, esse estudo não foi realizado com galhos, o que se torna considerável nessa diferença. Este autor ainda verificou porcentagens de lignina solúvel de 3,26% em madeira de erva-mate, valor semelhante ao encontrado neste trabalho. Outro estudo que encontrou valores semelhantes foi o de MORI et al, (2004) em madeiras de *Eucalyptus spp.*, com resultados que variaram entre 3 a 5%.

O teor médio de holocelulose da madeira de galhos de erva-mate foi de 60,30%. Valor este semelhante ao que foi encontrado por SANTOS e NETO (2019) que encontrou cerca de 52,06% de holocelulose em madeiras de erva-mate. E quando comparado com outras espécies como o *Eucalyptus grandis*, estudado por SILVA et al. (2005), que encontrou valores médios de holocelulose de 68,69%, estes teores também foram semelhantes.

A holocelulose foi determinada após a remoção da lignina, entretanto, Klock (2005) afirma que esse procedimento, para ser ideal, deveria retirar 100% da lignina da madeira, porém, ainda não existe nenhum procedimento que satisfaça esse requerimento.

Tabela 1. Valores médios do por cento absolutamente seco (%a.s), teor de extrativos, teor de lignina insolúvel e solúvel e teor de holocelulose da madeira de galhos de erva-mate

a.s.%	91
Teor de extrativos %	9,33
Teor lignina insolúvel %	30,37
Teor lignina solúvel %	4,68
Holocelulose %	60,3

Fonte: Autoria própria (2023)

As propriedades físicas da madeira de galhos de erva-mate são apresentadas na tabela 2, com descrição dos valores médios de massa específica básica e massa específica aparente, teor de umidade e retratibilidade volumétrica.

O conhecimento da densidade da madeira, tanto aparente quanto básica, é importante para otimizar a exploração da madeira, assim como para aplicar novas técnicas e métodos para facilitar os levantamentos do potencial madeireiro da espécie estudada (DA SILVA, DO VALE e MIGUEL, 2015).

A massa específica aparente da madeira dos galhos de erva-mate foi de 0,468 g/cm³, resultado semelhante ao trabalho de RUSCH et al. (2020) com médias de 0,450 g/cm³, porém essas análises foram feitas com palitos de erva-mate. Entretanto, estes valores foram menores que os apresentados por Carvalho (2003), que estudou a madeira do tronco de erva-mate e observou médias de 0,600 g/cm³.

A massa específica básica dos galhos de erva-mate foi 0,37 g/cm³. De acordo com GONÇALVES SOBRINHO et al. (2014), que encontrou teor de densidade básica médio de 0,40 g/cm³ em galhos de erva-mate, madeiras com mais idade tendem a ter uma maior densidade básica que madeiras jovens. A massa específica pode variar em relação à altura na árvore, pela idade, tratamentos silviculturais.

O teor de umidade dos galhos foi de 8,69%. Em um estudo com resíduos de erva-mate, DAVIES (2021) encontrou um valor de 9,994% para teor de umidade, nota-se que não houve uma diferença significativa. O teor de umidade da madeira depende da temperatura e da umidade relativa do ambiente. Jankowsky et al. (1986) analisaram o teor de umidade de madeiras em oito cidades do sul do Brasil e observaram que os valores de umidade de equilíbrio da madeira variaram entre 13,2 a 18,6%.

O valor médio de retratibilidade volumétrica foi de 0,67%. O termo retratibilidade volumétrica refere-se à perda total de água desde a amostra

totalmente saturada até a sua secagem completa em estufa, o que significa que quanto menor este valor, mais estável a madeira é. Portanto, a madeira estudada é considerada estável.

tabela 2. Valores médios de massa específica básica e massa específica aparente, teor de umidade, retratibilidade volumétrica da madeira de galhos de *Ilex paraguariensis*

Densidade aparente g/cm ³	0,468
Densidade básica g/cm ³	0,37
Teor de umidade %	8,69
Retratibilidade %	0,67

Fonte: Autoria própria (2023)

Os teores de voláteis, teor de cinzas e carbono fixo são observados na tabela 3, com valores médios de 78,85%, 3,97% e 17,18%, respectivamente. O teor de voláteis define a facilidade de queima do material e o valor médio encontrado neste trabalho foi semelhante aos valores encontrados no trabalho de ARAUJO e GUIOTOKU (2010), com a erva-mate.

Segundo Klock (2005) a porcentagem de teores de cinzas em madeiras de zonas temperadas pode variar entre 0,2 a 0,5%, já em madeiras tropicais é comum encontrar teores de cinzas mais altos. Esses teores foram semelhantes aos observados por GONÇALVES SOBRINHO et al. (2014), em que os autores pesquisaram sobre o potencial energético dos resíduos da erva-mate depois da colheita e obtiveram teores de 4,05%. Quando comparados a outras espécies (Tabela 3), verifica-se que estes teores foram mais altos aos observados por Medeiros, Oliveira e Paes (2014). Quando os teores de cinzas são muito elevados, é necessária uma maior limpeza em fornalhas ou em outros sistemas que são utilizados para a queima da madeira como fonte de energia, o que pode provocar danos nos equipamentos.

Uma característica comum entre espécies de eucalipto é o baixo teor de cinza da madeira sendo, geralmente, menor que 1%. Observa-se que o teor de cinzas de cinco diferentes espécies de eucalipto estudadas por PEREIRA et al. (2016) e JUIZO, LIMA e DA SILVA (2017) foram menos que 1%, enquanto os clones de eucalipto, estudados por COSTA (2019), obtiveram valores um pouco mais altos, de 2,75% e 2,21%.

O teor carbono fixo dos galhos de erva-mate foi de 17,18%, valores estes próximos aos observados para as espécies de eucalipto. Ressalta-se que este

gênero é o mais utilizado como biomassa energética, como na produção de carvão vegetal e lenha.

Tabela 3. Valores de teor de voláteis, teor de cinzas e carbono fixo dos galhos de erva-mate e de diferentes espécies de eucalipto

Espécie	Teor de voláteis %	Teor de cinzas %	Carbono fixo %	AUTORES
Galhos de <i>Ilex paraguariensis</i>	78,85	3,97	17,18	AUTORIA PRÓPRIA, 2023
<i>Eucalyptus sp.</i> (tratam. 250°C)	81,64	0,31	18,06	PEREIRA, 2016
<i>E. salyigna</i>	82,24	0,35	17,42	JUIZO, LIMA e DA SILVA, 2017
<i>E. grandis</i>	85,19	0,35	14,47	JUIZO, LIMA e DA SILVA, 2017
<i>E. dunii</i>	83,32	0,53	16,15	JUIZO, LIMA e DA SILVA, 2017
<i>E. globulus</i>	83,75	0,58	15,67	JUIZO, LIMA e DA SILVA, 2017
<i>E. robusta</i>	80,76	0,36	18,89	JUIZO, LIMA e DA SILVA, 2017
<i>Cavaco de eucalipto</i>	79,32	1,36	19,31	COELHO e DEL PIERRO, 2022
Clone <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>grandis</i>	82,44	2,75	14,88	COSTA, 2019
Clone <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>camaldulensis</i>	79,04	2,21	18,75	COSTA, 2019

Fonte: Autoria própria (2023).

6. CONCLUSÃO

A madeira de galhos de erva-mate pode ser utilizada em diversas aplicações industriais. Os teores de extrativos, lignina insolúvel e holocelulose indicam que este material tem potencial para uso energético, no entanto, a massa específica básica foi considerada baixa. Os altos teores de cinzas podem dificultar alguns usos.

Mais estudos são necessários para explorar plenamente o potencial da madeira de erva-mate e entender como suas propriedades podem ser aplicadas de forma eficiente em diferentes setores industriais. Ressalta-se que esses resultados são específicos para galhos e podem variar em relação ao tronco da árvore.

REFERÊNCIAS

- A importância da madeira e seu uso ao longo da história. **Tora Brasil**, 2021. Disponível em: <https://torabrasil.com.br/pt/a-importancia-da-madeira-e-seu-uso-aolongoda-historia/>. Acesso em: 09 set. 2022.
- ALMEIDA, Diego Henrique de et al. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Revista Árvore**, v. 38, p. 203-207, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. **D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**, 2007.
- AMORIM, Erick Phelipe; PAES, Juarez Benigno; NICÁCIO, Marcos Alves. **Anisotropia da contração e inchamento da madeira: uma abordagem tecnológica**. 2021.
- ARAUJO, Laíne Furlanetto; GUIOTOKU, Marcela. **Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate**. 2010.
- ARRUDA, Marcela Daniela Muniz. **Caracterização da lignina das folhas de *Crataeva tapia* e seu potencial em formulações medicinais e cosméticas**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7190-3**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2004.
- BERGER, Gabriel et al. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.)**, no município de Nova Prata, RS. 2006.
- BERTÉ, Kleber Alves dos Santos. **Tecnologia da erva-mate solúvel**. 2011.
- BONFATTI JÚNIOR, E. A.; LENGOWSKI, E. C.; MACHADO, P.; CUNHA DICKOW, K. M. Avaliação econômica por projeção financeira de um adensamento de ervamate. **Agropecuária Catarinense**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 44-49, 2020. DOI: 10.52945/rac.v33i1.492. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/492>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- BRINCHI, L. et al. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: technology and applications. **Carbohydrate polymers**, v. 94, n. 1, p. 154-169, 2013.
- CARVALHO, Amelia Guimarães et al. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, v. 39, p. 209-214, 2015.

CARVALHO, Ana Carolina de. **Potencial energético da madeira de espécies florestais em área sob manejo sustentável, após corte raso, no Rio Grande do Norte**. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

CARVALHO, PER. Erva-mate: *Ilex paraguariensis*. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 2003.

CERQUEIRA, Daniel A. et al. Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por ¹H-RMN. **Polímeros**, v. 20, p. 85-91, 2010.

CHAVES, Débora de Sousa. **Análise do teor de umidade no processo de fabricação de MDF**. 2022.

COELHO, Pedro Souza; DEL PIERO, Whates Castelo. **Gaseificação e caracterização da biomassa cavaco de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar pela análise imediata e análise do gás de síntese gerado**. 2022.

COSTA, Ana Carolina Lopes Amaral. **Caracterização físico-química da biomassa de tocos e raízes de clones de eucalipto para fins energéticos**. 2019.

Crestini C, Crucianelli M, Orlandi M, Saladino R. Oxidative strategies in lignin chemistry: A new environmental friendly approach for the functionalisation of lignin and lignocellulosic fibers. **Catalysis Today**, 2010;156:8–22.
doi:10.1016/j.cattod.2010.03.057.

DA SILVA, Carlos José; DO VALE, Ailton Teixeira; MIGUEL, Eder Pereira. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

DANTAS, Fernanda Cinthia Fernandes. **Caracterização química e física do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)**. 2018.

DAVIES, Felipe Souza et al. **Análise, Desenvolvimento e Comparações de Briquetes de Resíduos de Podas de Árvores de Foz do Iguaçu e de Erva Mate**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.

DE JESUS EUFRADE-JUNIOR, Humberto et al. **Predição do teor de umidade de toras longas de madeira de *Eucalyptus urophylla* estocadas em pilhas ao ar livre**, 2021.

DE REZENDE, Marcos Antonio. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribæa* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 120-127, 2003.

DE SOUZA, Cesar Augusto Laus; BARRETA, Lilian da Roza. **Erva-mate (*Ilex paraguariensis* saint hillaire) e seus benefícios à saúde**. 2021.

Erva-Mate. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, 2021.
Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=Erva-mate>.
Acesso em: 23 ago. 2022.

ESMELINDRO, Maria Carolina et al. Caracterização físico-química da erva mate: Influência das etapas do processamento industrial. **Food Science and Technology**, v. 22, p. 199-204, 2002.

FARIAS, Daniel Tavares de. **Caracterização macroscópica e física da madeira de cinco espécies da caatinga**. 2020.

FIDALE, L. D. Biopolímeros modificados: aspectos de derivatização de celulose sob condições homogêneas de reação. 2010. 249f. **Tese (Doutorado em química orgânica)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GALDINO, Dannylo Araújo. **Efeito da adição de lignina nas propriedades reológicas de ligantes asfálticos**. 2021.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado**. O Papel, v.47, n.8 p.36-38, 1986.

GUIMARÃES, Cleide de Castro Justino. **Determinação da relação siringila/guaiacila de lignina de *Eucalyptus spp.* por pirólise analítica**. 2013.

GONÇALVES SOBRINHO, M. B. et al. **Adubação fosfatada e intervalo de colheita no potencial energético do resíduo da colheita da erva-mate**. 2014.

HABIBI, Y.; LUCIA, L. A.; ROJAS, O. J. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, SelfAssembly, and Applications. **Chemical Reviews**, v. 110, n. 6, p. 3479–3500, 9 jun. 2010.

HUEBRA, Lorena da Silva. Avaliação da utilização da casca de café para a produção de um derivado celulósico. **Monografia de Conclusão de Curso** – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE**. Produção da extração vegetal e da silvicultura. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2012. Disponível em: < [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_\[anual\]/2011/pevs2011.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_[anual]/2011/pevs2011.pdf) > Acesso em: 23 set. 2022.

JANKOWSKY, I.P. et al. Estimativas da umidade de equilíbrio para cidades da região sul do Brasil. **IPEF**, Piracicaba – SP n. 32, p.61-64, 1986.

JUIZO, Claudio Gumane Francisco; LIMA, Marcos Ramos; DA SILVA, Dimas Agostinho. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 386-390, 2017.

JUNIOR, Euclides Lara Cardozo; MORAND, Christine. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health—A review. **Journal of Functional Foods**, v. 21, p. 440-454, 2016.

KLOCK, Umberto et al. Química da madeira. **Fupec, Curitiba**, 2005.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de. Química da Madeira. **4º Edição revisada**. Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 2013.

KOASKI, Danieli et al. **Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2019.

LAVOINE, N. et al. Microfibrillated cellulose - Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 2, p. 735–764, 2012.

LOPES, Camila Santos Doubek et al. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 315-322, 2011.

MACCARI JUNIOR, A. Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-Mate. Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate. Curitiba: **PADCT**, 2000. Série PADCT III, n.1, 160p.

MARQUES, Sinval dos Santos et al. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) nativa e de reflorestamento. **Revista Árvore**, v. 36, p. 373-380, 2012.

MAZUCHOWSKI, J.Z. A Cultura da Erva-mate. Curitiba: **Emater**, p. 5-7, 1989.

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó de; OLIVEIRA, Elisabeth de; PAES, Juarez Benigno. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 484-493, 2014.

MENEZES, Anderson Lima de et al. **Efeito catalítico da zeólita HZSM-5 e do ácido nióbbico HY-340 para a pirólise rápida de lignina Kraft torrificada**. 2022.

MOREIRA, Alessandro. Caracterização e Desenvolvimento de Produtos Florestais. **IPF Florestal**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br>. Acesso em: 01 de set de 2022.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades da Madeira**. 1º Edição, Curitiba, 2005.

MORI, Cláudia Lopes Selvati de Oliveira et al. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, p. 123-132, 2004.

OLIVEIRA, Arielle Kathyelen de Oliveira et al. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 8 anos**. 2022.

OLIVEIRA, Gliciane Ramos Azevedo. **Composição química de extrativos lipofílicos de madeira de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. 2019.

PAES, André Luís Gomes et al. **Avaliação Estatística dos dados de Ensaio para a Determinação da Anisotropia Plástica em Amostras de Alumínio**. 2019.

PEREIRA, Matheus Perdigão de Castro Freitas et al. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 36, n. 87, p. 269-275, 2016.

REZENDE, MA de; SAGLIETTI, José Roberto Corrêa; GUERRINI, Ivan Amaral. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **Revista IPEF**, v. 48, n. 49, p. 133-141, 1995.

RIGOLETTO, M.; CALZA, P.; GAGGERO, E.; LAURENT, E. Materiais Híbridos para remoção de poluentes emergentes na água: classificação, síntese e propriedades. **Chemical Engineering Journal Advances**, vol 10, 2022.

RUSCH, Fernando et al. Propriedades físicas de painéis de alta densidade (HDP) de pinus, bambu e coparticipação de erva-mate. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e436974022-e436974022, 2020.

SANTOS, K. S.; NETO, AR SENA. Caracterização do resíduo da erva-mate para utilização como reforço em compósitos. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, 2019.

SCHIMIDT, SAILA LISBOA et al. **PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth.) DE OCORRÊNCIA EM CURITIBANOS, SC**. 2018.

SIGNOR, Paulo; GOMES, Gabriela Schmitz; WATZLAWICK, Luciano Farinha. Produção de erva-mate e conservação de Floresta com Araucária. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, pág. 199-208, 2015.

SILVA, José de Castro et al. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, p. 455-460, 2005.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI - T 204 cm-97: Solvent extractives of wood and pulp: Standards Regulations and Style Guidelines**. Atlanta: TAPPI Press, 1997b.

VALDUGA, E. **Caracterização estrutural e química da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) e das espécies utilizadas na adulteração**. 1994.

VIDAURRE, Graziela Baptista et al. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2012.

VIEIRA, C. F. S. Seleção e melhoramento de leveduras capazes de fermentar pentoses através de engenharia evolutiva. 2016. 111 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, 2016.