

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**WELLINGTON MATEUS RIBEIRO DZINDZIK**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, ENERGÉTICAS E QUÍMICAS DE MADEIRA DE *Cordia trichotoma* Arrab.ex Steud SUBMETIDAS A DIFERENTES ADUBAÇÕES**

**DOIS VIZINHOS**

**2023**

**WELLINGTON MATEUS RIBEIRO DZINDZIK**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, ENERGÉTICAS E QUÍMICAS DE MADEIRA DE *Cordia trichotoma* Arrab.ex Steud SUBMETIDAS A DIFERENTES ADUBAÇÕES**

**PHYSICAL, ENERGY AND CHEMICAL PROPERTIES OF WOOD FROM *Cordia trichotoma* Arrab.ex Steud SUBJECTED TO DIFFERENT FERTILIZATION**

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).  
Orientadora: Prof. Dra. Flávia Alves Pereira  
Coorientador: Prof. Dr. Felipe Rodrigues Alcides

**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.

**WELLINGTON MATEUS RIBEIRO DZINDZIK**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, ENERGÉTICAS E QUÍMICAS DE MADEIRA DE *Cordia trichotoma* Arrab.ex Steud SUBMETIDAS A DIFERENTES ADUBAÇÕES**

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/novembro/2023

---

Flavia Alves Pereira  
Doutorado em Ciências Florestais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcos Aurélio Mathias de Souza  
Doutorado em Ciências Florestais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Mauricio Romero Gorainstein  
Doutorado em Recursos Florestais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS**

**2023**

Dedico este trabalho à minha família e  
minha namorada, pelos momentos de  
ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pois sem ele jamais teria concluído esta importante etapa da graduação.

Agradeço a minha namorada Gabriely dos Santos Fonseca que me apoiou, encorajou auxiliou e acompanhou nos incontáveis dias e noites para realização deste trabalho.

Aos meus pais Genoir e Roseli, aos meus irmãos Julia e Lucas Dzindzik que em momento algum hesitaram em me apoiar tanto na realização deste trabalho como na trajetória do curso.

Aos meus colegas e amigos, Mateus Rosante, Vitoria Betim, Laura Szekut, Luana Medeiros, Nilson Costa que ajudaram neste trabalho, mas acima disso propiciaram momentos felizes e descontraídos durante esta jornada.

A minha orientadora Professora Doutora Flavia Alves Pereira, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

Ao meu coorientador Felipe Alcides por coletar o material para realizar este projeto e apoiar sempre que necessário.

Ao grupo de pesquisa GPSIS por ceder o louro -pardo.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O uso da madeira sempre esteve presente na vida do ser humano, sendo utilizada para diversos fins, como para energia, produção de papel e celulose, nas indústrias siderúrgicas, produção de painéis, construção civil e movelaria. Desta forma, é indispensável estudos com espécies madeireiras para que cada vez mais seus usos e finalidades sejam aprimorados. O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira de *Cordia trichotoma* submetida a diferentes níveis de fertilização mineral. Para as análises químicas o preparo das amostras se baseou na metodologia descrita na NBR 14660; Já para teor de extrativos e lignina utilizou-se as normas TAPPI T204 cm-97 (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 1997) e metodologia descrita por Gomide e Demuner (1986), respectivamente. Para realização dos testes físicos foi utilizada a norma NBR7190. O teor de voláteis, cinzas e carbono fixo, foi determinado a partir do uso da norma D-1762-84 (ASTM, 2007). Os resultados obtidos nas diferentes adubações foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando constatada diferença, submetido ao teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software Rbio. Nenhuma propriedade física testada sofreu modificação nas diferentes adubações. O teor de extrativos aumentou com o aumento da adubação. O carbono fixo diminuiu e o teor de voláteis aumentou com maiores doses de adubação.

Palavras-chave: Extrativos; Adubação; Lignina; Holocelulose.

## ABSTRACT

The use of wood has always been present in human life, being used for various purposes, such as energy, paper and cellulose production, in the steel industry, panel production, civil construction and furniture making. Therefore, studies with wood species are essential so that their uses and purposes are increasingly improved. The objective of the work was to evaluate the physical, chemical and energetic properties of *Cordia trichotoma* wood subjected to different levels of mineral fertilization. For chemical analysis, sample preparation was based on the methodology described in NBR 14660; For extractives and lignin content, the TAPPI T204 cm-97 standards (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 1997) and the methodology described by Gomide and Demuner (1986), respectively, were used. To carry out the physical tests, the NBR7190 standard was used. The content of volatiles, ash and fixed carbon was determined using the D-1762-84 standard (ASTM, 2007). The results obtained in the different fertilizations were subjected to analysis of variance (ANOVA) and when a difference was found, they were subjected to the Tukey test at a 5% probability of error, using the Rbio software. No physical properties tested changed in the different fertilizations. The extractive content increased with increasing fertilization. Fixed carbon decreased and volatile content increased with higher fertilizer doses.

Keywords: Extractives; Fertilizing; Lignin; Holocellulose.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Valores médios de extrativos (%) em madeiras de <i>Cordia trichotoma</i> submetida a diferentes níveis de adubação com resultado do teste Tukey.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 2: Valores médios referente a contração Radial (CR), contração tangencial, (CT), contração longitudinal (CL) e contração volumétricas e a anisotropia(A) da madeira de <i>Cordia trichotoma</i> submetido a diferentes tratamentos de adubação (T.).....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 3: Valores médios de massa específica básica, massa específica aparente, submetida a diferentes tratamentos de adubação. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 4: Média dos teores de voláteis nos diferentes níveis de adubação. ....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 5: Valores médios referente ao teor de cinzas em diferentes tratamentos de adubação.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 6: Valores médios referente ao teor de carbono fixo da madeira de <i>Cordia trichotoma</i> submetida a diferentes adubações. ....</b>	<b>36</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição da espécie</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Propriedades Físicas da madeira</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Densidade da madeira</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Coefficiente de Anisotropia</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Retratibilidade</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6</b>	<b>Teor de Umidade</b> .....	<b>20</b>
<b>3.7</b>	<b>Teor de Lignina</b> .....	<b>20</b>
<b>3.8</b>	<b>Propriedades Energéticas da madeira</b> .....	<b>21</b>
3.8.1	Poder Calorífico Superior .....	21
<b>3.9</b>	<b>Rendimento Gravimétrico Da Carbonização</b> .....	<b>22</b>
<b>3.10</b>	<b>Adubação x Propriedades da madeira</b> .....	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Material</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimentos</b> .....	<b>24</b>
4.2.1	Análise Química da Madeira .....	24
4.2.2	Determinação de Extrativos Totais .....	25
<u>4.2.2.1</u>	<u>Determinação do Teor de Lignina</u> .....	<u>27</u>
<u>4.2.2.2</u>	<u>Determinação do teor de Holocelulose</u> .....	<u>28</u>
4.2.3	Características Físicas .....	28
<u>4.2.3.1</u>	<u>Determinação da Massa específica aparente</u> .....	<u>28</u>
<u>4.2.3.2</u>	<u>Determinação da massa específica básica</u> .....	<u>28</u>
<u>4.2.3.3</u>	<u>Contração Linear Total</u> .....	<u>29</u>
<u>4.2.3.4</u>	<u>Contração Volumétrica</u> .....	<u>29</u>
<u>4.2.3.5</u>	<u>Anisotropia</u> .....	<u>29</u>
<u>4.2.3.6</u>	<u>Análise química imediata</u> .....	<u>30</u>
<u>4.2.3.7</u>	<u>Voláteis</u> .....	<u>30</u>
<u>4.2.3.8</u>	<u>Cinzas</u> .....	<u>30</u>
<u>4.2.3.9</u>	<u>Carbono Fixo</u> .....	<u>30</u>

<b>4.3</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise Química.....</b>	<b>31</b>
5.1.1	Extrativos .....	31
5.1.2	Lignina e Holocelulose .....	32
<b>5.2</b>	<b>Análise Física .....</b>	<b>32</b>
5.2.1	Contrações e anisotropia .....	32
5.2.2	Massa Específica Básica e Aparente. ....	33
<b>5.3</b>	<b>Análise Química Imediata .....</b>	<b>34</b>
5.3.1	Teor de Voláteis .....	34
5.3.2	Teor de Cinzas.....	35
5.3.3	Carbono Fixo .....	36
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é amplamente usada pelo homem para as mais diversas finalidades, entre elas, para fins energéticos. Com o aumento da utilização de combustíveis fósseis e com o apelo por sustentabilidade, observa-se uma pressão de órgãos ambientais para que o uso de recursos não renováveis e emissão desses poluentes fossem cada vez menores. Dessa forma, a busca por combustíveis que poluíssem menos aumentou e a procura pela biomassa, um bem renovável, cresceu (CARNEIRO, 2014).

No Brasil, a utilização da madeira para produção de energia é expressiva, tanto elétrica como em forma de vapor, em caldeiras ou fornos, sendo da queima direta da lenha como combustível alternativo em empresas ou a partir da queima de carvão vegetal em fornos siderúrgicos para redução de ferro gusa (BRASIL, 2011). No ambiente residencial a situação é parecida, em que cerca de 26,1% do país utiliza a lenha como fonte de energia, tendo em vista que a bioenergia tem se tornado cada vez mais viável em parâmetros econômicos (EPE, 2017).

A madeira da espécie *Cordia trichotoma*, nativa do Brasil, é caracterizada por compreender pouca distorção entre cerne e alborno, possuir uma massa específica moderada e ser de simples trabalhabilidade, sendo utilizada como madeira serrada e roliça por possuir uma boa resistência mecânica, com recomendação para fabricação de móveis de luxo e pequenas embarcações. Porém, para fabricação de papel e celulose, a espécie não é indicada, por apresentar características químicas e anatômicas indesejáveis para tais fins (CARVALHO, 2003; ZIMMERMANN *et al.*, 2017).

O crescimento de espécies florestais nativas pode ser acelerado, ou ainda melhorado, ao se utilizar adubação mineral adequada, com redução da mortalidade e a aplicação de tratamentos silviculturais, gerando conseqüentemente um decréscimo de custos (ANTONELLI, 2015).

A determinação das propriedades físicas de uma madeira é importante para seu emprego adequado, pois poderá limitar seu uso ou mesmo inviabilizá-la. Assim, estudos que relacionem tais características com sua adubação, e seu potencial energético, poderão ampliar a utilização do louro pardo.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira de *Cordia trichotoma*.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar a massa específica básica e aparente da madeira de *Cordia trichotoma*;
- Determinar o teor de carbono fixo, teor de voláteis e teor de cinzas da madeira de *Cordia trichotoma*;
- Determinar a composição química da madeira de *Cordia trichotoma* nas diferentes adubações;
- Avaliar o efeito das diferentes adubações nas propriedades físicas e químicas e energéticas da madeira de *Cordia trichotoma*.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Descrição da espécie

A espécie *Cordia trichotoma* conhecida popularmente por louro pardo, pertence à família Boraginaceae e é uma das espécies nativas do Brasil, ocorrendo do Ceará ao Rio Grande do Sul. A espécie está presente nas florestas pluviais atlânticas, semideciduais e também no Cerrado. Fora do Brasil, ocorre nos países da América do Sul, como na Argentina, Paraguai e Bolívia (PEREIRA, 2017; LORENZI, 1992).

O louro-pardo é uma espécie monóica, possuindo os dois órgãos sexuais na mesma flor, com folhas simples e alternadas. Seu principal vetor de polinização são as abelhas. A floração acontece conforme onde a espécie está inserida, variando para cada estado. No Paraná, acontece entre janeiro e março, enquanto no Rio Grande do Sul é de dezembro a maio, e a frutificação acontece entre agosto a setembro (CARVALHO, 2003).

Segundo o mesmo autor, a espécie ocorre naturalmente em áreas onde a precipitação média anual varia entre 800 mm a 3.700 mm, considerando que a deficiência hídrica é nula ou moderada, tendo estação seca de dois a cinco meses.

Quanto à temperatura, a média anual é de 16,6°C a 26,6° C, sendo altamente sensível a temperaturas baixas e eventos de geada tardias, quando estão com brotação de folhas novas.

A espécie nativa *Cordia trichotoma* é uma das mais promissoras para o plantio, tendo rápido desenvolvimento, possuindo uma madeira de qualidade e com alta taxa de regeneração após o corte. É importante que o louro pardo seja cultivado em áreas com solos profundos e bem drenados, com média a alta fertilidade, e quando plantadas em áreas com teores elevados de pH, recomenda-se adicionar e incorporar calcário e matéria orgânica para um bom manejo do solo (PEREIRA, 2017).

A utilização da madeira serrada e roliça do louro pardo é um dos principais componentes de utilização, por apresentar uma resistência mecânica média, sendo usada para móveis de luxo, vigas, caibros, obras internas, ripa entre diversas finalidades, com base nestas utilidades torna-se desinteressante o uso para fins energéticos tendo em vista o menor retorno financeiro que quando comparado as demais finalidades (CARVALHO, 2003). Além disso, o louro pardo pode ser utilizado para recomposição de áreas degradadas e destinadas a áreas de preservação permanente (LORENZI, 1992).

O uso de espécies florestais nativas em sistemas de integração é pouco explorado no Brasil, por conta de possuir um crescimento mais lento em comparação a outras espécies como o eucalipto. Porém, pesquisas mostram que há potencial para essas madeiras, com alta densidade, destinadas muito das vezes a produção de móveis de luxo como o louro-pardo (ANTONELLI, 2015).

A madeira do louro pardo é moderadamente pesada, sendo de fácil manuseio, grande durabilidade quando mantidos em ambientes secos, entretanto sensível ao apodrecimento quando exposta a ambientes úmidos (LORENZI, 1992). O louro-pardo tem uma exigência maior em relação ao solo, preferindo aqueles profundos com fertilidade média a alta e com boa drenagem (CARVALHO, 2002).

No sistema agroflorestal é recomendada por sua arquitetura de copa, sendo usada no consórcio de culturas perenes que necessitam de um maior sombreamento. Em um trabalho realizado por Radomski *et al.* (2012), a autora afirma que mesmo que a espécie tenha um crescimento lento a moderado, pode apresentar bons resultados em sistemas integrados. Floss *et al.* (2008), afirmam que em um trabalho realizado de erva-mate no consórcio com louro pardo, houve maior produtividade em função do consórcio, tornando uma espécie atrativa para a integração de produção.

Segundo Carvalho (2003), a espécie pode apresentar até 35 metros de altura e 45 cm de diâmetro na altura do peito (DAP). O autor Nogueira (2005) a considera como sendo uma madeira pesada, por ultrapassar  $0,72 \text{ g/cm}^3$ .

A utilização do louro pardo em plantios econômicos mostra-se viável, sobretudo por possuir boas características da madeira, como boa trabalhabilidade, mesmo sendo moderadamente pesada e dura, e de boa durabilidade em ambientes secos (TRIANOSK; IWAKIR, 2018). Sua produtividade volumétrica anual em solo de média fertilidade é acima de  $20 \text{ m}^3$ , considerando o primeiro corte aos 15 anos (FAGANELLO *et al.*, 2015).

### 3.2 Propriedades Físicas da madeira

As propriedades físicas da madeira compreendem as características inerentes da espécie tais como teor de umidade, densidade, coeficiente de anisotropia, propriedades térmicas e acústicas e condutividade elétrica.

A madeira de *Cordia trichotoma* apresenta aparência agradável e características de retratibilidade e resistência medianas. Por isso, possuem finalidades na confecção de móveis, revestimentos decorativos e lâminas faqueadas para fins nobres (INOUE, 1984). Também, podem ser utilizadas na construção civil para vigas, caibros, ripas, persianas, caixilhos, guarnições e tabuado. Já na parte interna, é usado na construção de tonéis, marcenaria e carpintaria, régua, torneados, leves embarcações, chapas, esculturas e freios de locomotiva (CARVALHO, 2003).

Seu cerne possui coloração pardo-claro-amarelado, é uniforme ou com listras levemente escurecidas, Seu alburno é distinto e apresenta coloração roxa, bege-pardacenta; superfície uniforme ou com listras mais escuras, é lustrosa e levemente áspera ao tato, textura grosseira; A madeira possui cor pardo-claro-amarelada, é medianamente dura e flexível, de cor pardo-claro-amarelada e possui cheiro e gosto característicos de essências de madeira, acentuado mas agradável (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011).

O louro-pardo possui problemas por apresentar baixa resistência a organismos xilófagos. Esses seres podem causar manchas ou ainda decompor a madeira por completo. Assim, podem ser classificados como emboloradores, apodrecedores e manchadores. Também possui dificuldade para absorver produtos preservantes, o que faz com que a madeira, mesmo tendo uma boa resistência à

umidade, seja sensível quando exposta às intempéries (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011; ROCHA, 2001).

### 3.3 Densidade da madeira

A massa específica é uma variável importante pois a maioria das propriedades físicas e tecnológicas dependem dela, servindo de referência para classificar uma madeira quanto a sua dureza e/ou resistência mecânica. De modo geral, diz-se que as madeiras mais densas, são também as mais resistentes, duras e elásticas. Em contrapartida, possuem uma maior variabilidade e uma difícil trabalhabilidade (MORESCHI, 2012).

A massa específica é característica de interesse das indústrias que produzem celulose, papel e madeira para serraria e energia. A partir desta é possível fazer uma pré-avaliação da qualidade da madeira e do produto a ser gerado (TSOUMIS, 1991; LARSON *et al.*, 2001).

Por ser de fácil determinação, e possuir herdabilidade alta, a massa específica é a propriedade mais analisada em laboratórios de tecnologia da madeira e produtos florestais. Indica a qualidade da madeira e influencia na retratibilidade, higroscopicidade e nas propriedades de resistência mecânica, elétricas e acústicas (PANSHIN; ZEEUW, 1980).

Conforme Vidaurre *et al.* (2012), quanto maior é a massa específica da madeira, maior é a energia contida por unidade de volume, estimulando o interesse em espécies que apresentam madeira de maior densidade para queima. Contudo, Trugilho (2012) e Almeida *et al.* (2015) afirmam que para selecionar indivíduos para um uso, não se pode avaliar a densidade básica de maneira isolada, principalmente quando se trata de classificação para fins energéticos. Neste caso, deve ser considerado juntamente com a produtividade volumétrica de madeira para a determinação da produção de massa seca da madeira (ROCHA, 2011).

A massa específica obtida a um conhecido teor de umidade é chamada de: Massa específica aparente da madeira. Para isso, tem-se teores de umidade referenciais, sendo eles: 0%, 12% e 15%. O teor a aproximadamente 0% trata-se da madeira seca em estufa. A 12%, refere-se ao equilíbrio de teor de umidade da madeira seca às condições climáticas padronizadas (20°C e 65% de umidade relativa do ar);

a 15%, representa um teor de equilíbrio médio da madeira em muitas das regiões do Brasil (MORESCHI, 2012).

Segundo o mesmo autor, para se obter essa variável, o teor de umidade necessita ser especificado, já que é a partir dele que se calcula a massa específica da madeira, relacionando a massa e o volume aparente (incluindo conteúdo lenhoso, extrativos, materiais estranhos e o ar presente no interior das células a um determinado teor de umidade). A massa específica aparente, nos indica a quantidade de conteúdo lenhoso que se tem por unidade de volume ou ainda, o volume de espaços vazios que a madeira apresenta (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; VALE *et al.*, 1992).

Essa variável possui influência na resistência mecânica e, muitas vezes, a variação dimensional da madeira (MARQUES, 2012). No louro-pardo a massa específica aparente é reconhecida como média, variando entre 0,57 a 0,78 g/cm<sup>3</sup>, a 15% de umidade (SCHEEREN, 2002). É possível calcular a massa específica aparente da madeira (g/cm<sup>3</sup>) a partir de imersão das amostras na água, até a completa saturação das fibras. Na sequência mensura-se o volume e peso da mesma. Assim, pode-se calcular a variável, dividindo o peso saturado da madeira (g) pelo volume saturado da madeira em (cm<sup>3</sup>) (CANDATEN, *et al.*, 2020).

Segundo Peres *et al.* (2012), a massa específica básica é uma excelente indicadora das propriedades da madeira e pode ser definida como um arranjo de diferentes tipos celulares, refletindo a quantidade de conteúdo lenhoso ou ainda, a quantidade de espaços vazios presentes na madeira. A massa específica básica pode ser obtida através de um cálculo, dividindo o peso seco da madeira (g), pelo volume saturado da madeira (cm<sup>3</sup>).

O peso seco é alcançado através de uma estufa, com umidade aproximada de 0% e temperatura em cerca de 103°C, até que haja uma completa estabilização, atingindo um peso constante, enquanto que, o volume saturado é alcançado após a saturação completa da amostra por água (CANDATEN *et al.*, 2019). Diferentes resultados podem aparecer para as espécies florestais em função principalmente da estrutura anatômica. Entretanto, em menores dimensões, isso deve-se a fatores como idade das árvores, genótipo, qualidade de sítio, clima, localização geográfica (ALZATE, 2005).

### 3.4 Coeficiente de Anisotropia

A variação dimensional da madeira em razão do ganho ou perda de água higroscópica é um fenômeno diretamente relacionado com a anisotropia da madeira. Essa variação é um dos principais problemas práticos que ocorrem durante a utilização do material, limitando significativamente o seu uso industrial (OLIVEIRA, 2003; MORESCHI, 2009).

O coeficiente de anisotropia é determinado através da razão entre as contrações tangencial e radial. Esse valor costuma variar entre 1,0 a 2,5, sendo um índice relevante para estudos, pois quanto menor a relação, menor a probabilidade de empenamento ou fendilhamento da madeira. Para tanto, considera-se que quanto maior o coeficiente de anisotropia, menor estabilidade dimensional a madeira possui (OLIVEIRA, 2003).

Galão (2017) cita uma classificação dos coeficientes de anisotropia em que entre 1,2 a 1,5 a madeira é considerada excelente, sendo indicada para móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais; entre 1,5 a 2,0 é considerada normal, indicada para estantes, mesas, armários, usos que permitam pequenos empenamentos. acima de 2,0 é considerada ruim, indicada para construção civil, carvão e lenha.

### 3.5 Retratibilidade

A retratibilidade é um fenômeno que ocorre quando a madeira é submetida à secagem em níveis de umidade inferiores ao ponto de saturação das fibras, independentemente da espécie, com gradual redução de volume. Em contrapartida, o ganho de umidade ocasiona o processo inverso e chama-se Inchamento. Ambos os fenômenos determinam a estabilidade dimensional da madeira (REZENDE, 2009).

A madeira em função da perda ou ganho de água, até o PSF (ponto de saturação das fibras), pode reduzir ou ampliar seu volume. Isso ocorre devido uma aproximação das cadeias de celulose e ou das microfibrilas. A divergência entre a retratibilidade radial e tangencial explica-se pela influência restritiva dos raios na direção radial e também pelo arranjo presente nas microfibrilas das paredes tangenciais e radiais (KOLLMAN; CÔTÉ, 1968).

Na posição radial, a madeira apresenta contração na retração. As amostras localizadas próximas às regiões da medula possuem menor retração quando

comparadas às localizadas próximas à casca. Essa mudança está associada à rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular e também ao aumento do comprimento da célula e ao teor de celulose da madeira (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

### **3.6 Teor de Umidade**

A madeira é um material orgânico influenciado pela umidade relativa do ar, temperatura do ambiente e do seu próprio teor de umidade. Tem a capacidade de retirar ou ceder água ao meio e caracteriza-se por ser um material higroscópico, retraindo e inchando de acordo com a umidade do ambiente (SILVA; OLIVEIRA, 2003). Devido a sua higroscopicidade, as características mecânicas, elétricas, térmicas e de movimento são influenciadas pelo seu teor de umidade, que varia de acordo com as condições ambientais (LOGSDON, 1998).

O teor de umidade é a relação entre a massa de água presente na amostra e a massa de material madeira da mesma amostra (ALMEIDA, 2015). Os métodos para determinação do teor de umidade da madeira são métodos gravimétricos, medidores elétricos, métodos de destilação e titulação Karl Fischer (SILVA, 2018).

### **3.7 Teor de Lignina**

“A lignina é composta por um polímero de unidades fenilpropanóides irregulares, que se originam a partir da polimerização desidrogenativa.” (SALIBA, 2001).

A lignina faz parte da composição química da madeira, juntamente à celulose e hemicelulose, e concentra-se em maior quantidade na lamela média, correspondendo entre 15 a 35% de seu peso seco. A associação com a hemicelulose é sempre presente na parede celular (KLOCK *et al.*, 2005).

A lignina é um componente desejável na conversão da madeira em carvão e seu teor e tipo são parâmetros importantes, do ponto de vista industrial. Isso porque, de modo geral, espera-se que quanto maior a proporção de lignina total e menor a relação siringil/guaiacil, maior será a conversão em carvão vegetal, em função da maior resistência à degradação térmica, promovida pela presença de estruturas mais condensadas (SANTOS *et al.*, 2012; SOARES, 2011).

As espécies florestais apresentam diferentes proporções de lignina e de holocelulose no lenho. As coníferas, por exemplo, possuem maiores proporções de lignina, assim como madeiras com lenho tardio. Essas características podem determinar e recomendar a finalidade de uso da madeira (PEDRAZZI, 2019).

### **3.8 Propriedades Energéticas da madeira**

A quantidade de energia por unidade de volume de madeira varia conforme a sua densidade, ou seja, quanto maior a densidade, mais massa enfiada e maior o rendimento em massa do carvão. Ademais, quanto maior a densidade do carvão, maior a sua resistência mecânica durante o transporte e dentro dos fornos (Vale *et al.*, 2010; SANTOS, *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2014).

A primeira fonte bioenergética do ser humano foi a madeira, sendo utilizada inicialmente como fonte de calor e posteriormente para preparação de alimentos. Desta forma, tendo uma participação relativamente alta no desenvolvimento humano. Seguindo a linha histórica o uso da madeira também se desenvolveu, onde passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso em processos para a geração de energia térmica, elétrica e mecânica.

Sendo uma energia primária que além de ser renovável, durante o seu processo de desenvolvimento fixa carbono presente na atmosfera, desta forma compensando parte dos gases que serão emitidos durante a produção de energia. (GUARDABASSI, 2006; TRUGILHO, 2012).

Na geração de energia, o rendimento do carvão vegetal está altamente ligado com os teores de lignina. A carbonização é realizada à temperatura máxima de 450°C e a condição ideal de queima da madeira, para esta finalidade, é absolutamente seca.

#### **3.8.1 Poder Calorífico Superior**

Define-se calor calorífico como a quantidade de energia em forma de calor que é liberada na combustão por unidade de massa da madeira ( $\text{cal g}^{-1}$  ou  $\text{kcal kg}^{-1}$ ) (JARA, 1989).

Quanto maior a quantidade de energia por unidade de massa, maior a energia contida no combustível. O valor varia de acordo com a espécie. As madeiras de coníferas possuem maior poder calorífico, cerca de 5.200 kcal/kg, enquanto as de

folhosas possuem poder calorífico superior a 4.500 kcal/kg (CARVALHO JÚNIOR, 2010).

### **3.9 Rendimento Gravimétrico Da Carbonização**

Segundo Carneiro (2008) o rendimento gravimétrico é definido como o rendimento em massa de carvão vegetal ao final do processo de carbonização, considerando a madeira como referência. Possui correlação positiva com o teor de lignina total e teor de extrativos, correlação positiva em relação a densidade básica da madeira e correlação negativa entre a largura e o diâmetro dos lúmens das fibras. Além disso, para o aumento do rendimento gravimétrico a temperatura máxima média é de 400 °C, dentro de uma taxa lenta de aquecimento.

O índice de rendimento gravimétrico da carbonização é o índice mais importante do processo de carbonização, representando a relação percentual entre a massa (madeira) e o produto (carvão vegetal), ou seja, a produtividade dos fornos é feita a partir da quantidade de madeira necessária, para a produção do carvão vegetal demandado pela usina siderúrgica (LANA, 2012; 2014)

A partir da análise química imediata, rendimentos gravimétricos e densidade relativa aparente a qualidade do carvão pode ser avaliada. A análise imediata determinará a composição do carvão vegetal como material volátil, carbono fixo e cinzas. Carbono fixo é a porção de carvão que permanece como resíduo, após a remoção dos materiais voláteis, umidade e minerais. Para a operação dos altos fornos, é preferível teores superiores a 75% (BRUZUAL, 2015).

A fração inorgânica permanece como cinzas representando a fração inorgânica após a combustão completa. Para uso na siderurgia, o carvão deve ter no máximo 1,5% desse material, pois pode prejudicar a queima e dificultar a gaseificação, em razão das interações entre a fração inorgânica e a matéria combustível (ROUSSET et al., 2011).

### **3.10 Adubação x Propriedades da madeira**

No trabalho de Lima e Garcia, de 2011, estudou-se o efeito da fertilização nas propriedades mecânicas da madeira de indivíduos de 21 anos de *Eucalyptus grandis*. Inicialmente aplicou-se 222 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 6:30:6. O plantio era manejado em

sistema de desbastes seletivos onde, aos 5 anos, após o 1º desbaste, realizou-se fertilização com 1.000 kg de NPK 12:06:12 e 100 kg de Lama-cal/ha.

Utilizou-se os fatores: ausência ou presença de fertilização e diferentes posições das toras (em duas posições das toras e cinco posições radiais), avaliando na sequência, a resistência ao cisalhamento paralela às fibras, à flexão estática e módulo de elasticidade na flexão estática. Com isso, foi possível concluir que a adubação e posição da tora influenciaram significativamente quanto à resistência, à compressão e ao módulo de elasticidade.

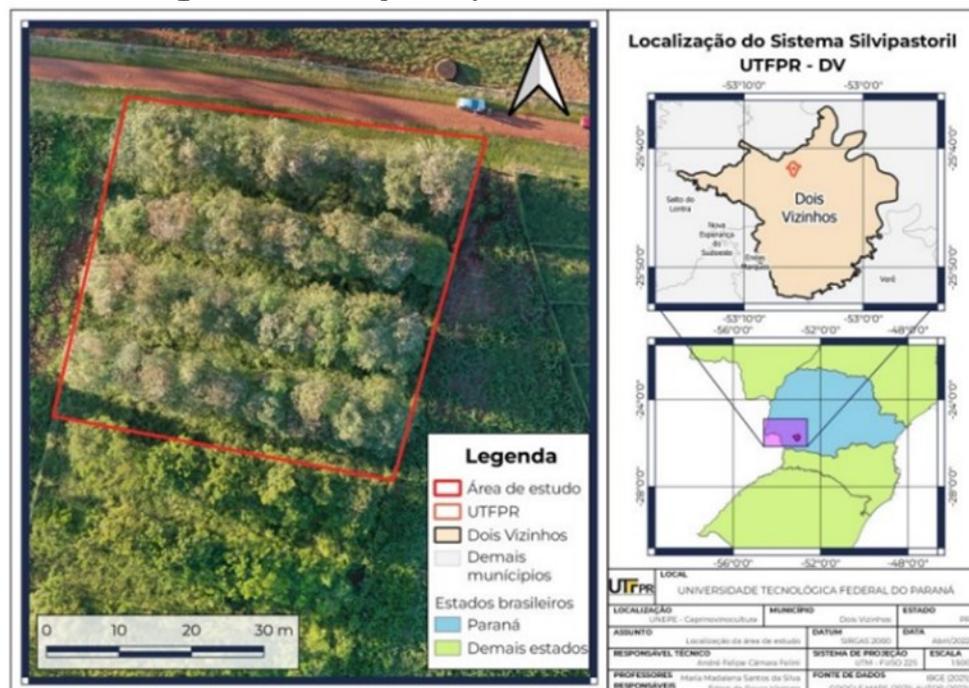
Também, as propriedades mecânicas aumentaram no sentido da medula à casca. Observou-se também, uma relação positiva entre resistência à compressão paralela às fibras, cisalhamento, à flexão estática e elasticidade na flexão estática com a posição radial.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Material

A madeira utilizada neste experimento é proveniente de um desbaste seletivo, em um sistema silvipastoril com ovinos, localizado na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná -DV (Figura 1).

Figura 1: Localização do plantio de *Cordia trichotoma*.



Fonte: Felini, A. F. C. (2022)

O clima do município de Dois Vizinhos é classificado de acordo com Koppen como Cfa, subtropical mesotérmico, com temperatura média anual de 19°C, podendo atingir -3°C nos meses mais frios, e geadas raras, a pluviosidade anual média é de 2025mm (ALVARES *et al*, 2013).

O plantio do louro-pardo foi realizado em setembro de 2013, em uma área aproximada de 2160 m<sup>2</sup>, sendo realizado em 4 linhas duplas com distância de 10 metros entre dupla linha e com espaçamento interno nas linhas de 2 x 1,5m (ANTONELLI, 2014).

A coleta de solo ocorreu nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm e posteriormente realizado o laudo pelo laboratório de Análise de Solo da UTFPR-PB (Antonelli, 2014). A determinação da quantidade de adubação necessária se baseou no Manual de adubação e Calagem para os estados de Rio Grande Sul e Santa Catarina (2004, p.298), utilizando-se a recomendação para eucalipto, pois não havia recomendações específicas para louro-pardo. De acordo a análise de solo e o manual a recomendação, a quantidade de adubação necessária foi de 30 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 50 kg/ha de N. Utilizando-se o superfosfato triplo (40% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O) e ureia (45% N).

Dada a quantidade recomendada, o experimento foi submetido a 4 tratamentos de adubação: T0 sem adubação, T1 a adubação recomendada, T2 o dobro da recomendada e T3 o triplo da recomendada. (IORIS,2015).

Foram utilizadas 3 árvores por tratamento, totalizando-se 12 indivíduos. Todas as análises ocorreram a partir do uso de um disco de madeira retirado a 1,30m da base, de cada uma das toras.

## **4.2 Procedimentos**

### **4.2.1 Análise Química da Madeira**

A madeira foi reduzida em lascas, com diâmetro de dois a quatro milímetros, se assemelhando a um palito de fosforo (Figura 3-a). Nesta etapa, as lascas de cada tratamento formam homogeneizadas e compuseram uma mesma amostra.

A redução do material foi realizada partir do uso de um facão e machadinho. Em seguida, realizou-se a moagem do material, em um moinho de faca com peneira de 10 mesh. Tal metodologia se baseou na norma NBR 14660 (2004).

**Figura 2: Preparo da madeira de *Cordia Trichotoma* para análises químicas e energéticas. A) Lascas de madeira. B) Moinho tipo Wiley. C) Madeira moída e peneirada.**



**Fonte: Autoria própria, 2023.**

O produto já moído foi armazenado em sacos de papel em sala de temperatura e umidade controlada por 7 dias. Após, foi peneirado utilizando peneiras de 40-60 mesh, sendo utilizado para as análises o material retido na peneira de 60 mesh.

Determinou-se a percentagem absolutamente seca do material. A metodologia consistiu em obter a tara da placa de vidro, em uma balança analítica com precisão de 0,1 mg. Em seguida, foi acrescentado aproximadamente 1g de serragem, na fração 60 mesh, e pesado novamente, para obter o peso úmido (PU). O material foi levado à estufa a 103 +/-2 °C até peso constante, sendo posteriormente pesado e determinado o peso seco (PS). Para esta análise foram realizadas 4 repetições. O por cento absolutamente seco foi determinado através da equação 1:

Equação 1: Determinação da percentagem absolutamente seca.

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

**Em que: % a.s.= por cento absolutamente seco; PS = peso seco em gramas; PU = peso úmido em gramas;**

#### 4.2.2 Determinação de Extrativos Totais

A determinação de extrativos totais seguiu a norma TAPPI T204 cm-97 (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 1997). Para a determinação de extrativos totais utilizou-se o extrator de Soxhlet, béquer de 500mL, papel de filtro sob forma de cartucho, funil, kitassato, dessecador, banho-maria, bastão de vidro, balança de precisão, bomba de vácuo, cadinho sintetizado, placa de petri e estufa, e reagentes químicos (álcool etílico, tolueno e água destilada).

O peso equivalente da amostra foi determinado a partir do produto entre 3g, ou seja, a quantidade de serragem absolutamente seca, e o percento absolutamente seco (Equação 2).

Equação 2: Determinação do peso equivalente.

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{qtdd a.s. serrada}}{\% \text{ a. s.}} \times 100$$

**Sendo: % a.s. = percento absolutamente seco; qtdd = quantidade serragem absolutamente seco pesado.**

As amostras foram colocadas em saquinho de papel filtro e levadas para o sistema de extração. O balão, com uma mistura álcool-tolueno na proporção 1:2, o extrator e o condensador foram montados sobre a resistência. A extração foi realizada por oito horas a uma temperatura de 400°C. Após isso, a mistura álcool-tolueno foi substituída por álcool 96, sendo realizada mais uma extração de 6 horas.

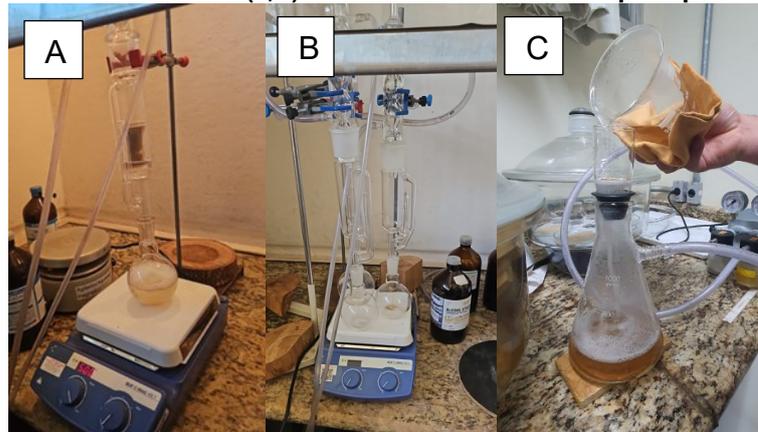
Após estes procedimentos, a amostra foi removida do saquinho de papel filtro e acrescentou-se 400ml de água destilada e levando-se ao banho maria a 100°C por uma hora. Em seguida, a amostra foi filtrada com auxílio de uma bomba de vácuo e cadinho sinterizado filtrante, e lavada com 100ml de água destilada aquecida. A amostra foi seca em estufa a 103°C±2°C, até peso constante. A partir disso foi determinado a porcentagem de extrativos utilizando a equação 3.

Equação 3: Porcentagem de extrativos.

$$\%E = \frac{\text{peso dos extrativos}}{\text{qtdd a.s. serrada}} \times 100$$

**Sendo: % E = teor de extrativos, %; qtdd = quantidade de serragem absolutamente seco.**

Figura 3: Análise de extativos totais (a,b). Amostra sendo filtrada para posterior lavagem(c).



Fonte: Autoria própria, 2023.

#### 4.2.2.1 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 sem de extrativos e colocadas em um béquer de 100 ml. Adicionou-se 3 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a 72%, e na sequência levada ao banho maria à  $30^\circ C$ , por 1 hora. Passado este período, adicionou-se à amostra 84 ml de água destilada e transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 ml, e sendo fervida por 4 horas.

Após esse processo, a amostra foi deixada em repouso por 24h, para a decantação da lignina e, em seguida efetuou-se a filtração com cadinho de vidro sintetizado n°2, utilizando 700ml de água destilada. Os cadinhos, já secos e pesados, foram utilizados para filtração da fração sólida da amostra e colocados em estufa, para posterior determinação da lignina insolúvel.

O líquido da filtração foi transferido para um balão volumétrico de 1 litro, e adicionou-se água destilada até completar este volume. A partir dessa solução, foram retiradas três amostras e armazenadas em recipientes para em seguida ser feita a análise da solução 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 foi obtido pela equação 4.

Equação 4: Porcentagem de lignina insolúvel.

$$\% Lins = \frac{\text{Peso do resíduo}}{0,3g} \times 10$$

Sendo: % Lins = teor de lignina, insolúvel em %; 0,3= Refere-se a 0,3 g de material seco sem extrativos utilizado nesta análise

A lignina solúvel foi determinada utilizando a equação 5.

Equação 5: Porcentagem de lignina solúvel.

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

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

#### 4.2.2.2 Determinação do teor de Holocelulose

Para determinação do teor de Holocelulose foi realizada uma estimativa por meio da diferença, conforme a equação 6.

Equação 6: Porcentagem de Holocelulose.

$$\%Holocelulose = 100 - ((\% \text{ de Extrativos}) + (\%Lignina Solúvel))$$

### 4.2.3 *Características Físicas*

#### 4.2.3.1 Determinação da Massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente se baseou na norma NBR7190, com adaptações do tamanho dos copos de prova assim o comprimento longitudinal variou de acordo com a espessura do disco. Em seguida, foi realizado a determinação do teor de umidade dessas amostras. Para o cálculo da densidade aparente foi utilizado a equação 7:

Equação 7: Massa específica aparente a 0% de umidade.

$$P_{ap} = \frac{m0}{V0}$$

**Sendo:** P<sub>ap</sub> = massa específica aparente g/cm<sup>3</sup> m0 = massa, em gramas da madeira a 0% de umidade; V0 = volume da madeira a 0% de umidade em cm<sup>3</sup>.

#### 4.2.3.2 Determinação da massa específica básica

Para a determinação da massa específica básica, foi seguida a NBR 11941. Os corpos de provas foram imersos em água até a sua saturação completa. Para isso, utilizou-se um dessecador e aplicou-se vácuo. O volume saturado foi determinado a partir do método de deslocamento de água.

Para a determinação da massa seca os corpos de provas foram levados até a estufa de secagem, com temperatura máxima de 103°C +/- 2°C, dado como finalizado quando duas medições seguidas não tiveram variação de peso no intervalo

de uma hora. Desta forma, a massa específica básica foi determinada através da equação 8.

Equação 8: Massa específica básica.

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

Sendo:  $P_{bas}$  = densidade básica em g/cm<sup>3</sup>; ms = massa seca da madeira em gramas;  $V_{sat}$  = volume da madeira saturada em cm<sup>3</sup>.

#### 4.2.3.3 Contração Linear Total

Para determinar a contração linear, inicialmente foi medido o comprimento do corpo de prova nos sentidos radial e axial e longitudinal com o corpo e, posteriormente, foi repetido as medições com o corpo de prova a 0% de umidade. Assim foi possível calcular a contração linear nas diferentes posições através da equação 10.

Equação 10: Porcentagem de contração linear.

$$\beta = \frac{\beta u - \beta 0}{\beta u} \times 100$$

Sendo:  $\beta$  = Contração linear (%);  $\beta u$  = Dimensão linear saturada (mm);  $\beta 0$  = Dimensão a 0% de umidade (mm).

#### 4.2.3.4 Contração Volumétrica

Iniciou-se saturando os corpos de prova e obteve-se suas dimensões nos três sentidos (radial, tangencial e transversal), com determinação do volume saturado. Posteriormente, os corpos de prova foram levados à estufa a  $\pm 103^\circ\text{C}$ , onde permaneceram até secar completamente. Foram realizadas as medições e o volume determinando a 0 % de umidade. Com a Equação 11 foi determinado contração volumétrica.

Equação 11: Porcentagem de contração volumétrica.

$$\beta v = \frac{v u - v 0}{v u} \times 100$$

Sendo:  $\beta v$  = contração volumétrica (%);  $V_u$  = dimensão volumétrica saturada (mm);  $V_0$  = dimensão volumétrica a 0% de umidade (mm).

#### 4.2.3.5 Anisotropia

Após obter os valores de contração nos diferentes planos é possível determinar o fator de anisotropia através da equação 12.

Equação 12: Determinação do fator de anisotropia.

$$FA = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

Sendo: FA = Fator de anisotropia;  $\beta_t$  = Contração tangencial;  $\beta_r$  = Contração Radial.

#### 4.2.3.6 Análise química imediata

A determinação da análise química imediata foi realizada com 1g de amostra seca em estufa a  $\pm 103^\circ\text{C}$  e fração retida na peneira de 60 mesh.

#### 4.2.3.7 Voláteis

Para a determinação do teor de voláteis utilizou a norma D-1762-84 (ASTM, 2007). Iniciou aquecendo a mufla a  $950^\circ\text{C}$ . Com a porta da mufla aberta, os cadinhos foram colocados na porta da mufla por um período de dois minutos e temperatura média de  $300^\circ\text{C}$ . Após, os cadinhos foram realocados na parte interna da mufla, no entanto próximo à entrada permanecendo por 3 minutos com temperatura média de  $500^\circ\text{C}$  com a porta aberta. Para finalizar o processo, os cadinhos foram levados para o dentro da mufla onde permaneceram por 6 minutos, com a porta fechada.

Ao final deste processo, os cadinhos foram levados ao dessecador até esfriar e, posteriormente pesados. Com os pesos já obtidos foi possível determinar a porcentagem de matéria volátil a partir da equação 13.

Equação 13: % materiais voláteis.

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

Sendo: % MVt = Porcentual de matéria volátil total; m2 = massa da madeira depois de retirada umidade na estufa; m3 = massa da madeira após a determinação de voláteis.

#### 4.2.3.8 Cinzas

O teor de cinzas foi obtido utilizando a norma D-1762-84 (ASTM, 2007). Onde o resíduo gerado passou pelo processo de combustão à  $750^\circ\text{C}$ , na mufla, durante 6 horas. Em seguida, o material foi levado até o dessecador por 20 minutos. Após o resfriamento foi pesado. Sendo assim, determinado o teor de cinzas a partir da equação 13.

Equação 13: Porcentual de cinzas.

$$\% \text{ cinzas} = \frac{(\text{Peso do resíduo g})}{(\text{Peso da amostra seca g})} \times 100$$

#### 4.2.3.9 Carbono Fixo

Para a determinação de carbono fixo foi realizado a estimativa utilizando a equação 14.

Equação 14: Percentual de Carbono Fixo.

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

Sendo: CF = carbono fixo; MVt = matéria volátil total; Z = teor de cinza.

### 4.3 Análise Estatística

Para a análise do experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (adubações) e três repetições para as propriedades físicas e químicas 5 repetições para as análises de teor de cinzas, voláteis e carbono fixo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatado significância entre os tratamentos, aplicou-se teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade) com auxílio do programa estatístico R bio.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise Química

#### 5.1.1 Extrativos

Os teores de extrativos diferiram estatisticamente entre as adubações utilizadas (Tabela 1). As maiores médias foram observadas nos tratamentos sem adubação, com 12,49%.

**Tabela 1: Valores médios de extrativos (%) em madeiras de *Cordia trichotoma* submetida a diferentes níveis de adubação com resultado do teste Tukey.**

Adubação	Média (%)
T0	12,9a
T1	9,53b
T2	8,62c
T3	8,31c

\*Médias com a mesma letra não possuem diferença estatística entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T1 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada)

Fonte: Autoria própria, 2023.

À medida que a adubação foi aumentada, o teor de extrativos diminuiu, sendo que a partir do dobro da adubação recomendada não foi observado diferenças significativas entre os tratamentos. Os extrativos são responsáveis diretamente pelo cheiro, cor, resistência a ataque de fungos e insetos xilófagos (PETTERSEN,1984).

Em estudos mais recentes de Paes *et al.* (2016) o teor de extrativos em 4 espécies distintas, não apresentou relação direta à resistência natural contra cupins

xilófagos, o mesmo aconteceu no trabalho de Paes *et.al* (2009) onde o teor de extrativos não influenciou na resistência natural a ataques de fungos xilófagos.

Sette JR. *et al.* (2014) verificaram que a substituição de K, por Na ocasionou um ligeiro aumento do teor de extrativos, entretanto o principal fator que influenciou na diminuição do teor de extrativos foi a idade dos indivíduos, sendo que árvores mais velhas apresentaram menor o teor de extrativos. Barreiros (2007), em trabalho conduzido com *Eucalyptus* aos 5 anos de idade, observou maiores teores de extrativos quando houve aumento de bioadubação + K.

### 5.1.2 Lignina e Holocelulose

Os valores médios de lignina total entre as adubações foram semelhantes variando de 25,2 a 28,5%, bem como os teores de holocelulose que variaram de 62,3 a 65,5% e quando submetidos a análise de variância as médias não se diferiram entre si. BARREIROS (2007), que em cultivo de *Eucalyptus* aos 5 anos não sofreu alteração nos teores de celulose e lignina, mesmo elevando a quantidade de bioadubação + K. Barbosa (2014) observou que os teores de lignina não diferiram estatisticamente, sofrendo alteração apenas na relação sirigil/guaiacil.

Silva *et al.* (2005) apontam que principal fator que influencia nos teores de lignina, extrativos, e holocelulose é a idade dos indivíduos, onde indivíduos adultos possuem menores teores quando comparados a indivíduos jovens. Segundo Trugilho *et al.* (2005) a tendência natural é que à medida que a árvore vai ficando mais velha diminua o teor de lignina, pois árvores jovens possuem maior proporção de lenho juvenil, que por sua vez possui maior quantidade de lignina que lenho adulto.

## 5.2 Análise Física

### 5.2.1 Contrações e anisotropia

As contrações nos sentidos, tangencial, radial, longitudinal e volumétrica foram avaliadas bem como o fator de anisotropia. (Tabela 2).

**Tabela 2: Valores médios referente a contração Radial (CR), contração tangencial, (CT), contração longitudinal (CL) e contração volumétricas e a anisotropia(A) da madeira de *Cordia trichotoma* submetido a diferentes tratamentos de adubação (T.)**

T.	CR (%)	CT (%)	CL (%)	CV (%)	A
T0	4,5	7,2	0,6	11,7	1,60
T1	4,0	7,6	1,3	11,9	1,91
T2	4,1	5,7	0,5	9,3	1,41
T3	4,1	6,0	1,1	10,6	1,48

(T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T1 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada)

Fonte: Autoria própria 2023.

Os dados das contrações nos diferentes planos e a anisotropia quando submetidos a análise de variância o teste F indicou que não houve diferença estatística. Estas informações coincidem com trabalhos de Oliveira *et al* (2006) em que foram testados diferentes níveis de adubação fosfatada e as contrações não sofreram diferenças significativas, sendo a idade da árvore um fator mais significativo que a adubação.

A estabilidade da madeira é crucial na tomada de decisão referente ao destino e aplicação deste material, sendo madeiras estáveis recomendadas para peças solidas nobres enquanto instáveis para fins como construção civil ou biomassa. A madeira possui característica higroscópica, ou seja, ganha e perde água de acordo com o ambiente que está inserida, assim podendo inchar ou contrair. (BRAZ.2014).

A madeira é um material anisotrópico, isto é, contrai e incha em proporções diferentes nos diferentes planos. Desta forma é determinado o fator de anisotropia a partir da divisão da variação nos tangencial/radial (MASCIA.1991). Segundo a classificação proposta por Galão (2017) sobre o coeficiente de anisotropia, valores entre 1 a 1,5 são consideradas madeiras excelentes enquanto entre 1,5 a 2 são madeiras normais.

O coeficiente de anisotropia das madeiras de louro-pardo não diferiu mesmo sob diferentes níveis de adubação, ou seja, a estabilidade dimensional das peças não foi alterada pelas doses de adubos utilizadas. No entanto com a realização deste trabalho foi possível identificar que a madeira de *Cordia trichotoma* se classifica como madeira excelente a normal pois o fator anisotrópico ficou entre 1,41 a 1,91.

### 5.2.2 Massa Específica Básica e Aparente.

Os valores médios da massa específica básica e aparente não variaram nos diferentes tratamentos. (Tabela 3).

**Tabela 3: Valores médios de massa específica básica, massa específica aparente, submetida a diferentes tratamentos de adubação.**

T.	MEB g/cm <sup>3</sup>	MEA g/cm <sup>3</sup>
T0	0,36a	0,41 a
T1	0,30a	0,3 a
T2	0,34a	0,38 a
T3	0,38a	0,43 a

(T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T1 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada, MEB massa específica básica, MEA massa específica aparente).

Fonte: Autoria própria 2023.

Os valores de massa específica encontrado no trabalho de Zanchetta *et al.* (2020), apresentam uma massa específica básica entre 0,38 e 0,40 g/cm<sup>3</sup> no DAP. Enquanto o presente trabalho encontrou valores ligeiramente inferiores (0,30 a 0,38 g/cm<sup>3</sup>) tal fato pode ser explicado pela diferença de idade entre indivíduos, levando em consideração que indivíduos mais velhos tendem a ter maior massa específica, devido a modificações anatômicas, como, aumento da espessura da parede celular e diminuição do lume da célula, desta forma menor lume significa menos espaços vazios e conseqüentemente maior massa específica. (BRAZ. 2014.FLORSHEIM, 1992).

Oliveira (2023) também testou *Cordia trichotoma* submetida a diferentes tratamentos de adubação e concluiu que, diferentes níveis de adubação de NPK não afetaram significativamente a massa específica básica.

A massa específica é uma das principais características a ser analisada quando visa averiguar a qualidade da madeira independentemente da utilização, pois a mesma na maioria das vezes possui influência direta com outras características, como, estabilidade da madeira, trabalhabilidade, empregabilidade, anisotropia, durabilidade natural, características químicas anatômicas e energéticas, além da relação com inúmeras características mecânicas. (CHIMELO,1980; GERARD *et al.*, 1995; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004; TRUGILHO *et al.*,2005)

Sabendo dos resultados apresentados neste trabalho constatou-se que o nível de adubação não está diretamente ligado a massa específica tanto básica e aparente a 0% de umidade.

### 5.3 Análise Química Imediata

#### 5.3.1 Teor de Voláteis

O teor de voláteis foi afetado pela adubação, sendo que maiores níveis de adubação promoveram aumento nos teores de voláteis. Os tratamentos T0 e T1

obtiveram menores teores de voláteis e foram iguais estatisticamente, com médias de 78,15 e 78,63%, respectivamente. Já os teores de voláteis do tratamento T2 não se diferiu estatisticamente de T0, T1 e T3. Já o T3 apresentou maior nível de voláteis sendo diferente estatisticamente de T0 e T1, e igual a T2. Assim com estes resultados mostra uma relação positiva entre adubação e voláteis, onde o aumento da adubação resulta no aumento no teor de voláteis. (Tabela 4).

**Tabela 4: Média dos teores de voláteis nos diferentes níveis de adubação.**

<b>T</b>	<b>Voláteis (%)</b>
T0	78.15b
T1	78.63b
T2	79.94ab
T3	82.36a

(T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T2 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada) \*Médias com a mesma letra não possuem diferença estatística entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: A autoria própria 2023.

Os resultados observados neste trabalho foram semelhantes aos conduzidos por Oliveira (2008), em que mesmo com a elevação dos níveis de fósforo, obteve-se um ligeiro aumento no teor de materiais voláteis. Melo (2016) observou que os teores de materiais voláteis não se diferiram entre dois níveis de adubação.

Os materiais voláteis vêm de compostos orgânicos na madeira como, cetonas, hidrocarbonetos alifáticos, terpenos, álcoois, ésteres, aldeídos, ácidos orgânicos e fenóis (KLOCK, 2005).

O teor de extrativos está diretamente relacionado com a velocidade e facilidade da queima da madeira e homogeneidade da chama, onde madeiras com elevados teores de voláteis entram em combustão mais fácil e o tempo de queima é menor, e sua chama é difusa gerando uma menor eficiência energética (BRITO; BARICHELO, 1978).

Assim, com os resultados obtidos é possível afirmar que a adubação influenciou nos teores de voláteis, onde exceder a adubação recomendada pelo manual trará maiores teores de voláteis.

### 5.3.2 Teor de Cinzas

Houve diferença estatística nos teores de cinzas nas diferentes adubações, no entanto, não seguiu um padrão em função do aumento ou ausência de adubação (Tabela 5). A adubação recomendada e o triplo da recomendada obtiveram maiores

teores, enquanto a ausência de adubação e o dobro da dosagem recomendada apresentaram menores teores de cinzas.

**Tabela 5: Valores médios referente ao teor de cinzas em diferentes tratamentos de adubação.**

T	Cinzas (%)
T0	1.3b
T1	1.7a
T2	1,6ab
T3	1,6a

(T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T2 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada) \*Médias com a mesma letra não possuem diferença estatística entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria 2023.

A cinza se refere a fração inorgânicas da madeira compostos principalmente de Ca, Mg e K, e tem relação inversa ao poder calorífico. O teor de cinzas elevado é indesejável por exigir limpezas recorrentes em fornos devido ao seu acúmulo e em caso de usinagem aumentam o desgaste de máquinas e equipamentos (FENGEL; WEGENER, 1989; PEREIRA *et al*, 2000).

Os teores de cinza obtidos neste trabalho foram maiores que àqueles encontrados por Wille (2017) em que se obteve a média de 1,39% para *Cordia trichotoma* entre 18 e 20 anos. Tal fato deve-se à idade dos indivíduos, haja visto que à medida que a árvore envelhece diminui-se o teor de cinzas, pois o seu metabolismo vai desacelerando e demandando menores quantidades de minerais (BOSCHETTI, VIDAURRE E PAES, 2020).

### 5.3.3 Carbono Fixo

Os valores médios de carbono fixo diferiram em relação aos diferentes tratamentos, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6: Valores médios referente ao teor de carbono fixo da madeira de *Cordia trichotoma* submetida a diferentes adubações.**

T	Carbono Fixo (%)
T0	20,15a
T1	20,09a
T2	19,95ab
T3	16,02b

(T0 sem adubação, T1 adubação recomendada de acordo com o manual, T2 o dobro de adubação recomendada e T3 o triplo da adubação recomendada) \*Médias com a mesma letra não possuem diferença estatística entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria 2023.

Os teores de carbono fixo foram inversamente proporcionais aos teores de fertilizantes minerais, tendo em vista que T0 e T1 os resultados de carbono fixo foram

maiores que T3 com o. Os teores de carbono fixo em madeiras T2 não diferiu entre os demais tratamentos, com 19,95%.

Loureiro (2023) afirma que madeiras com maiores porcentagens de carbono fixo resultam em maior eficiência energética, levando em consideração que altos teores de carbono fixo aumenta o tempo de permanência do material em combustão, e o teor de carbono fixo é proporcional ao poder calorífico.

Assim, recomenda-se que a utilização de madeira de louro-pardo para fins energéticos, não ultrapasse os limites recomendados de adubação pois resultara em menores teores de carbono fixo e conseqüentemente diminuição de tempo de queima e poder calorífico.

## **6 CONCLUSÃO**

Dentre as características químicas, avaliadas, apenas o teor de extrativos sofreu alteração pelos diferentes tratamentos de adubação do louro pardo.

Maiores níveis de adubação com NPK não propiciou alteração significativa na massa específica básica e aparente a 0% de umidade bem como as contrações, lineares, volumétricas e fator de anisotropia.

Referente as análises energéticas, o teor de cinzas variou dentro dos diferentes tratamentos, mas sem seguir um padrão, teor de voláteis aumentou a medida que aumentou a adubação e conseqüentemente os teores de carbono fixo diminuíram a com o aumento da adubação.

## 7 REFERÊNCIAS

- 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.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, 2007.
- AGUIAR, I. B. de; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. 350 p.
- ALMEIDA, JM de; SILVA, D. de J. Efeito da quantidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação kraft de clones de *Eucalyptus*. In: **Proc. 34th Congresso anual de celulose e papel ABTCP, Sao Paulo: ABTCP**. 2001.
- ALMEIDA, T. H. de. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2015. doi:10.11606/D.18.2015.tde-05082015-091914. Acesso em: 2022-09-21.
- ALZATE, S.B.A. *et al.* Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. *Scientia Forestalis*, n.68, p.87-95, 2005.
- ANA, A.Q. Desenvolvimento e Avaliação de uma Fornalha Metálica para **Combustão dos Gases da Carbonização da Madeira**. 69p. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2014.
- ANTONELLI, P. V. *et al.* Desenvolvimento de *Cordia trichotoma* em função da adubação, em sistema silvipastoril no Sudoeste do Paraná-Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 3, n. 3, p. 59-70, 2015.
- BARBOSA, Bianca Moreira *et al.* Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 29-39.2014.
- BARREIROS, Ricardo Marques *et al.* Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, p. 103-111, 2007.
- BERGHETTI, Álvaro Luís Pasquetti *et al.* Alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas em *Cordia trichotoma* () arrab. ex steud em resposta a adubação mineral e orgânica no plantio. 2017.

BRUZUAL, C. F. Assessment of CO<sup>2</sup> mitigation potential, biomass use and plantation areas to sustain charcoal-ironmaking. **Tecnologia em Metalurgia**, Materiais e Mineração, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 325-334, 2015.

Braz, Rafael Leite. Influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*/Rafael Leite Braz. – 2014

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. IPEF, Piracicaba, v. 16, p. 63-70, 1978.

CANDATEN, Luana. *et al.* Massa específica básica, aparente saturada e teor de umidade da madeira de *Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand. Enciclopédia Biosfera, v. 16, n. 29, p. 2019-1026, 2019.

CANDATEN, L. *et al.* Comportamento e caracterização longitudinal da massa específica e densidade básica da madeira de espécies nativas: Física da madeira; Sentido base-topo; Espécie Nativa. In: Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, pesquisa e tendências. Editora Científica Digital, 2020. p.126 - 134.

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.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ. Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, v. 1.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: Louro-pardo - Cordia trichotoma**. Circular Técnica 66. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 16 p  
CELULOSA ARGENTINA. Libro del árbol. 3. ed. Buenos Aires, 1975. v. 2

CARVALHO P. E. R. **Louro-pardo - Cordia trichotoma**. Circular Técnica 66. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 16 p.

CHIMELO, J. P. Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods. 206 f. Tese (Doutorado) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1980.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema**, SP. 2009. 85 p. Tese (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. **Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal**. **Cerne**, Lavras – MG, v.20, n.1, p. 37-46, jan/mar, 2014.

- FAGANELLO, L. R. et al. Efeito dos ácidos indolbutírico e naftalenoacético no enraizamento de estacas semilenhosas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 863-871, 2015.
- FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. . Produção de erva-mate consorciada com cinamomo e louro-pardo. **Agropecuária Catarinense**, [S. l.], v.22, n. 2, p. 63-68, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/820>. Acesso em: 19 set. 2022.
- FENGEL, D. E WEGENER, G. Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reactions. NewYork: **Walter de Gruyter**, 1989. Disponível em:[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6506819/mod\\_resource/content/1/Wood%20Chemistry%20Fengel%20and%20Wegener.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6506819/mod_resource/content/1/Wood%20Chemistry%20Fengel%20and%20Wegener.pdf) Acesso em: 30 de Out. 2023.
- GALÃO, A. T. **Incremento médio anual, anatomia e propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*** (Spreng.) Taub. com sementes de duas procedências. 2017.
- GÉRARD, J.; BAILLERES H.; FOURNIER M.; THIBAUT B. **Qualité du bois chez les Eucalyptus de plantation: étude de variation de trois propriétés de référence = Wood quality in plantation Eucalyptus: a study of variations in three reference propertie.** Bois et forêts des tropiques, n. 245, p. 101-111, 1995.
- 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.
- IORIS, E.W. Crescimento e nutrição de louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud.) em sistema silvipastoril. Dois Vizinhos: [s.n], 2015. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10899/1/DV\\_COENF\\_2015\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10899/1/DV_COENF_2015_2_10.pdf) Acesso em: 08 de set. de 2022
- INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, S.Y. **Projeto madeira do Paraná.** Curitiba: Fupef, 1984. 260 p.
- KOLLMANN, F. F. P.;COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlim: Springer-Verlag, v. 1, 592p. 1968
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. Principles of wood science and technology. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v1. 592p. VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. Revista Árvore, v.16, n.2, p.209-217, 1992.
- KLOCK, U **Química da Madeira.** 3. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.
- LANA, G.C. Efeito da dimensão de toras no processo de colheita florestal e seus impactos no custo e na qualidade do carvão vegetal. 83 p. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. 2012.
- LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J. G. Formation and properties of juvenil wood in Southern pines. **Forest service**; 46 p. 2001.

- LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v. 21, p. 601-608, 2011.
- LOGSDON, N. B.. Adaptação do diagrama de kollmann às folhosas brasileiras. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v.9, n.2, p.269-280, ago. 2005.
- LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Carlos. 1998. 174. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP. Editora Plantarum, 1992.
- LOUREIRO, Breno Assis et al. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp para uso industrial. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 214-232, 2021.
- MARQUES, S. D. S. 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.
- MARINHO, Rejane Mouzinho. Tratamento preservante em esquadrias de madeira de cardeiro (*Scleronema micranthum* Ducke) por método de difusão. 1999.
- MATRANGOLO, Walter José Rodrigues. Importância da adubação verde para as florestas. 2016.
- MELLO, R. L. de. *Projetar em madeira: uma nova abordagem*. 2007.
- MELO, Raoni de. Avaliação de um sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus* spp. em função da desbrota e adubação. 2016.
- MORESCHI, João Carlos. Propriedades da madeira. **Departamento de Engenharia e Tecnologia Floresta I-UFPR. Paraná**, v. 4, p. 01-208, 2012.
- NOGUEIRA, Euler Melo; NELSON, Bruce Walker; FEARNSSIDE, Philip M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 208, n. 1, p. 261-286, 2005.
- OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v. 27, p. 381-385, 2003.
- OLIVEIRA, Isabela Caroline. Efeito da adubação no pH, massa específica básica e teor de cinzas da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- OLIVEIRA, Joselito Bonifácio; VALE, Ailton T.; MELO, José Teodoro de. Caracterização mecânica e contração da madeira de *Sclerolobium paniculatum* Vogel cultivado em um plantio homogêneo sob diferentes níveis de adubação. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 89-97, 2006.

PAULA, J. E. Madeiras da caatinga úteis para produção de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n.2, p.153-165, fev, 1993.

PEREIRA, J.C.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: EMBRAPA F, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94756/1/doc38.pdf> Acesso em: 07 de jun. 2023.

<<https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/05/29/cordia-trichotoma-ve-ll-arab-ex-steud/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PEDRAZZI, C., et al. **Química da madeira**. 1. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, 2019. 69 p. ISSN 1984-6118.

PEREIRA, B. A. D. S. Árvores do bioma cerrado. **Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. Ex Steud.**, 2017. Disponível em:

PERES, M.L. et al. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. *Ciência Rural*, v.42, n.9, p.1596-1602, 2012.

RADOMSKI, M. I.; SILVA, V. P.; CARDOSO, D. J. Crescimento de Louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud.) em sistema agrossilvipastoril. In: *silvaCongresso latinoamericano de sistemas agroflorestais para produção pecuária sustentável*, 7., 2012, Belém. **Anais eletrônicos...** Disponível em: Acesso em: 12 ago. 2022

REMADE. Madeiras brasileiras e exóticas: Louro-pardo. Disponível em: <https://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/197/madeiras-brasileiras-e-exoticas/louro-pardo>. Acesso em: 01 de nov. 2022.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de Eucalyptus empregados na produção de carvão**. 178f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, 1976. 207 p.

ROCHA, M. P. Biodegradação e preservação da madeira 5. ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2001. 94 p. (Série Didática, 01/01).

ROUSSET, P. *et al* Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 92, n. 10, p. 1890-1897, 2011.

SALIBA, E. de O. S. et al. Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência rural**, v. 31, p. 917-928, 2001.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de Eucalyptus plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.5, p.971-980, 2012

- SANTOS, R. C. et al. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 1, p. 143-151, jan./mar. 2012
- SCHEEREN, Luciano Weber et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud., na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 12, p. 169-176, 2002.
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas emecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla***. *Scientia Florestalis*, n. 65, p. 120–129, jun. 2004.
- SETTE JR, Carlos Roberto et al. Alterações nas características químicas da madeira com a substituição do K por Na em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, p. 569-578, 2014.
- SILVA, T. F. **Equações matemáticas para estimar o teor de umidade da madeira a partir da constante dielétrica**. 2018. 49 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível: < <https://bdm.unb.br/handle/10483/21490>>.
- SILVA, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Árvore*. Viçosa, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007.
- SOARES, V. C. **Comportamento térmico, químico e física da madeira e carvão vegetal de *Eucalypto urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. 2011. 108 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- 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.
- TSOUMIS, G. Science and technology of Wood: structure, properties, utilization. New York: **Chapman & Hall**, 1991. P. 309-339.
- TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Pure and Decorative Plywood Panels from *Cordia trichotoma* and *Grevillea robusta*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, 2018.
- TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MACHADO, L.; ROSA, T. Feasibility of *Cordia trichotoma* (Vell.) wood and its by-products for particleboard manufacturing. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 36, n. 8, p. 833-846, 2017.
- TRUGILHO, P. F. Energia da Biomassa Florestal. **4º Congresso Florestal Paranaense 2012**. 2012.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características do eucalipto. *Revista da Madeira*, Curitiba, n.92, p.82-88, 2005.
- TORGOVNIKOV, G. I. **Dielectric Properties of wood and wood-based materials**. New York: State University of New York, 1993.

VALE, A. T.; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; REZENDE, D. C. A. Densidade básica média em função da produtividade e da penetração do pino *Pilodyn* e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. *Árvore*, v. 19, n. 1, p.80-91, 1995.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.1, p.137-145, 2010

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

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of Wood. In: **Wood Handbook** – Wood as an Engineering Material: chapter 3. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 3.1-3.18, 2010.

WILLE, V. K. D.; WASTOWSKI, A. D.; PEDRAZZI, C.; SAUER, M. P. Composição química da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 1441–1449, 2017. DOI: 10.5902/1980509830332.

WILLE, Vania Karine Dick *et al.* COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 1441-1449, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30332>. Acesso em: 05 set. 2022.

ZANUNCIO, A. J. V. *et al.* Influência dos extrativos no rendimento gravimétrico da carbonização. 2012.