

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Laura da Silva Zanchetta

**A ANATOMIA INFLUENCIA NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA  
MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE UM SISTEMA  
AGROFLORESTAL**

**FREDERICO WESTPHALEN, RS**

**2021**

Laura da Silva Zanchetta

**A ANATOMIA INFLUENCIA NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE  
QUATRO ESPÉCIES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Elder Eloy

**FREDERICO WESTPHALEN, RS**

**2021**

Laura da Silva Zanchetta

**A ANATOMIA INFLUENCIA NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE  
QUATRO ESPÉCIES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

**Aprovado em 03 de fevereiro de 2021:**

---

**Elder Eloy, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)**

---

**Luana Candaten, Eng. Florestal**

**Frederico Westphalen, RS**  
**2021**

## RESUMO

### A ANATOMIA INFLUENCIA NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL

AUTORA: Laura da Silva Zanchetta  
ORIENTADOR: Elder Eloy

A resistência mecânica é uma propriedade importante para a utilização da madeira e as variáveis anatômicas influenciam nesta característica. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da anatomia na resistência mecânica de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake provenientes de um sistema agroflorestal. Foram amostradas três árvores de cada espécie, com a idade de 9 anos. Os corpos de prova para a avaliação das propriedades anatômicas foram retirados da região do diâmetro à altura do peito (DAP à 1,30 m do solo), com dimensões de 1,5 x 1,5 x 2,0 cm, seguindo-se a norma técnica IAWA (1989). A determinação das propriedades mecânicas se deu de acordo com a norma técnica ASTM D143-94 (ASTM, 2000). Os corpos de prova foram provenientes de pranchões centrais retirados da base até o DAP dos indivíduos e confeccionados com as dimensões de 5 x 5 x 15 cm para o teste de dureza longitudinal, dureza transversal e compressão perpendicular, enquanto que para o de flexão estática os corpos de prova possuíam dimensões de 2,5 x 2,5 x 41,0 cm. As variáveis anatômicas influenciam nas propriedades mecânicas da madeira das espécies estudadas. Quanto maiores os valores de fração da parede das fibras, da frequência dos vasos e da frequência dos raios, mais elevadas as propriedades mecânicas. Em contrapartida, com o aumento nas dimensões do diâmetro das fibras, do diâmetro do lume das fibras, do diâmetro dos vasos, da altura e da largura dos raios, menores são os valores das propriedades mecânicas da madeira.

**Palavras-Chave:** Propriedades tecnológicas. Correlação de Pearson. Flexão estática.

## ABSTRACT

### ANATOMY INFLUENCES THE MECHANICAL RESISTANCE OF WOOD FROM FOUR SPECIES OF AN AGRO-FOREST SYSTEM

AUTHOR: Laura da Silva Zanchetta  
ADVISOR: Elder Eloy

Mechanical strength is an important property for the use of wood and anatomical variables influence this characteristic. Thus, the present study aimed to evaluate the influence of anatomy on the mechanical resistance of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake from an agroforestry system. Three trees of each species were sampled, aged 9 years. The specimens for the evaluation of the anatomical properties were removed from the diameter region at chest height (DBH at 1.30 m from the ground), with dimensions of 1.5 x 1.5 x 2.0 cm, followed by the IAWA technical standard (1989). The mechanical properties were determined according to the technical standard ASTM D143-94 (ASTM, 2000). The specimens came from central planks removed from the base to the individuals' DBH and made with the dimensions of 5 x 5 x 15 cm for the longitudinal hardness test, transversal hardness and perpendicular compression, while for the static flexion the specimens had dimensions of 2.5 x 2.5 x 41.0 cm. The anatomical variables influence the mechanical properties of the wood of the studied species. The higher the fraction values of the fiber wall, the frequency of the vessels and the frequency of the rays, the higher the mechanical properties. On the other hand, the increase in the dimensions of the diameter of the fibers, the diameter of the lumen of the fibers, the diameter of the vessels, the height and width of the spokes, smaller are the values of the mechanical properties of the wood.

**Keywords:** Technological properties. Pearson's correlation. Static bending.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Massa específica básica ( $\rho_b$ ) das quatro espécies florestais. ....	9
Tabela 2- Análise anatômica da madeira de espécies florestais em um sistema agroflorestal. ....	11
Tabela 3- Teste de médias para as propriedades mecânicas da madeira de espécies florestais em um sistema agroflorestal. ....	13
Tabela 4- Coeficiente de correlação de pearson entre a anatomia e as propriedades mecânicas da madeira das quatro espécies de um sistema agroflorestal. ....	14

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Local do experimento e amostragem</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Anatomia da madeira</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Propriedades mecânicas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4</b>	<b>Delineamento experimental e análise dos dados</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>16</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas do Brasil são heterogêneas, contendo centenas de espécies arbóreas, utilizadas para os mais variados fins. A madeira da maioria destes indivíduos é desconhecida tecnologicamente, e este fato representa um problema para a sua melhor utilização e, conseqüentemente, expansão da atividade florestal (ELOY et al., 2018).

Atualmente, observa-se o crescimento do interesse na implantação de sistemas agroflorestais (SAF's), sendo que os esforços para a sua difusão no Brasil são consideráveis. Os SAF's são sistemas que envolvem a introdução do componente florestal em interação com o componente agrícola (CARON et al., 2018). Esses têm sido desenvolvidos com características específicas quanto às espécies utilizadas, ao arranjo temporal e espacial dos componentes e ao objetivo e funcionalidade do sistema (SCHWERZ et al., 2018).

Deste modo, visando a correta utilização da madeira, é necessário o conhecimento das características físicas, mecânicas e anatômicas, pois possibilitam a determinação das propriedades tecnológicas (FRANÇA et al., 2015). O estudo da anatomia da madeira gera informações que contribuem para a caracterização e diferenciação de espécies vegetais lenhosas, além de fornecer subsídios para estudos de suas propriedades, de seu crescimento, comportamento e qualidade. Os elementos anatômicos como vasos, fibras, células de parênquima radial e axial tornam a madeira um material poroso, caracterizando como uma estrutura complexa à passagem dos fluídos líquidos e gasosos (MONTEIRO et al., 2017).

As variações que ocorrem nos parâmetros anatômicos da madeira alteram as dimensões e a frequência das células, afetando diretamente as características físicas e mecânicas. Tal propriedade pode ser determinada a partir dos testes de flexão estática, compressão e dureza, onde os parâmetros mecânicos de um material são reflexos da relação existente entre a resposta ou deformação, quando submetida a um estímulo ou força (DELUCIS et al., 2016; KOL et al., 2017).

Dentro desse contexto, o conhecimento das espécies para uso agroflorestal deve considerar, além de seus atributos para atendimento dos requisitos de produção, as características de qualidade da madeira. Em função disto, devem-se selecionar espécies de múltiplo propósito para uso em sistemas agroflorestais, visando facilitar a sua escolha em diferentes situações. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da anatomia na resistência mecânica da madeira de quatro espécies de um sistema agroflorestal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

## 2.1 Local do experimento e amostragem

As madeiras das quatro espécies florestais: *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, foram obtidas de um sistema agroflorestal localizado na Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen (UFSM/FW), Rio Grande do Sul a 27°22"S; 53°25" W, a 480m de altitude. Todas as avaliações foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira e de Tecnologia da Madeira da UFSM/FW.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante da região é Cfa, caracterizado como sub-úmido subtemperado, com uma temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C.

Para cada espécie, foram amostradas três árvores com aproximadamente nove anos de idade, os corpos de prova foram retirados da região do diâmetro a altura do peito (DAP à 1,30m do solo). Além disso, para a caracterização das quatro espécies florestais, foi apresentada a massa específica básica (Tabela 1).

Tabela 1- Massa específica básica ( $\rho_b$ ) das quatro espécies florestais.

Espécie	$\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )
<i>P. rigida</i>	0,652
<i>P. dubium</i>	0,488
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	0,509
<i>S. parahyba</i>	0,277

## 2.2 Anatomia da madeira

Para a análise anatômica foram preparados blocos com as dimensões de 1,5 x 1,5 x 2,0 cm, na região do alburno e orientados para obtenção dos planos anatômicos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, totalizando 36 corpos de prova.

Para a avaliação histológica seguiu-se a norma técnica IAWA (1989). Assim, os corpos de prova foram amolecidos seguindo técnica tradicional por fervura em água e posteriormente testados e cortados em micrótomo de deslizamento, com espessura de 18 micrometros. Finalizada a talha dos materiais, utilizou-se a dupla coloração, com Azul-de-Astra e Safranina, desidratação em série alcóolica (30%, 50%, 70%, 90% e 100%) e montadas lâminas permanentes utilizando cola tipo Entellan.

A maceração foi realizada de acordo com as recomendações de Franklin (1945), confeccionando-se palitos a partir dos corpos de prova, submetidos à fervura durante 45 min em uma solução de ácidos. Para a coloração da pasta de células lenhosas, aplicou-se Safranina, seguido de série alcoólica (50%) e o mesmo meio de montagem anteriormente mencionado.

Para cada parâmetro anatômico foram realizadas 75 medições, seguindo norma técnica COPANT (1973). Com base nas seções histológicas, foram avaliados o diâmetro dos vasos, frequência dos vasos, altura dos raios e largura dos raios. No material de macerado foram medidos o comprimento, a largura e o diâmetro dos lúmens das fibras. Para os cálculos de espessura da parede celular das fibras foi utilizada a seguinte fórmula (Equação 1).

$$Cwt = (Fw - Lw) / 2 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

Cwt = espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ );

Fw = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ );

Lw = largura do lúmen.

E para calcular a fração da parede celular, aplicou-se a determinada fórmula (Equação 2).

$$Cwf = ((2 \times Cwt) / Fw) \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

Cwf = fração da parede celular (%);

Cwt = espessura da parede ( $\mu\text{m}$ );

Fw = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ).

### 2.3 Propriedades mecânicas

Para a determinação das propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de flexão estática, em que foram confeccionados corpos de prova com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 41,0 cm, para a avaliação do módulo de elasticidade, módulo de ruptura, tensão no limite proporcional e força máxima. Já para a obtenção da dureza transversal, dureza longitudinal e compressão, as amostras foram confeccionadas com as dimensões de 5 x 5 x 15 cm. Estas amostras foram armazenadas até atingirem teor de umidade de equilíbrio com o ambiente, de aproximadamente 14%. Posteriormente, foi utilizada uma máquina universal de ensaios modelo DL-2000, seguindo-se a norma técnica ASTM D 143-94 (2000).

## 2.4 Delineamento experimental e análise dos dados

Para a montagem e análise estatística dos dados, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise estatística através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS 2003), em que se procedeu com a análise de variância, teste F, análise de verificação da normalidade dos dados, a qual foi realizada pelo teste Shapiro-Wilk e a heterocedasticidade pelo teste de Bartlett, correlação de Pearson, e teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, pode-se observar que as quatro espécies florestais apresentaram diferença entre si em todos os parâmetros anatômicos avaliados. Quando observado o teste médias. A espécie *S. parahyba* apresentou os maiores valores de diâmetro das fibras (35,1  $\mu\text{m}$ ), diâmetro dos lumens (27,6  $\mu\text{m}$ ) e diâmetro dos vasos (187,1  $\mu\text{m}$ ), assim como, as maiores dimensões dos raios, tanto em altura (256,4  $\mu\text{m}$ ) quanto em largura (38,2  $\mu\text{m}$ ). Em contrapartida, foram verificados os menores valores para a frequência dos vasos (1,8 poros/ $\text{mm}^2$ ), frequência dos raios (14,8 poros/ $\text{mm}^2$ ) e para a fração parede das fibras (21,6  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 2). Essa heterogeneidade é uma característica importante, permitindo avaliar com mais precisão a influência dos parâmetros anatômicos nas propriedades mecânicas da madeira (ZANUNCIO et al., 2016)

Tabela 2- Análise anatômica da madeira de espécies florestais em um sistema agroflorestal.

Espécie	CF ( $\mu\text{m}$ )	DF ( $\mu\text{m}$ )	DL ( $\mu\text{m}$ )	EP ( $\mu\text{m}$ )	FP ( $\mu\text{m}$ )
<i>P. rigida</i>	872,6 <sup>116,2</sup> a	13,4 <sup>2,8</sup> c	5,7 <sup>1,6</sup> b	3,9 <sup>0,8</sup> b	57,8 <sup>6,7</sup> ab
<i>P. dubium</i>	690,2 <sup>134,9</sup> b	21,8 <sup>5,9</sup> b	8,1 <sup>4,3</sup> b	6,8 <sup>2,0</sup> a	64,0 <sup>13,8</sup> a
<i>E. grandis</i> x					
<i>E. urophylla</i>	850,1 <sup>160,7</sup> a	12,9 <sup>2,7</sup> c	5,9 <sup>2,0</sup> b	3,5 <sup>0,9</sup> b	55,2 <sup>9,5</sup> b
<i>S. parahyba</i>	882,1 <sup>178,4</sup> a	35,1 <sup>6,1</sup> a	27,6 <sup>5,9</sup> a	3,7 <sup>1,1</sup> b	21,6 <sup>6,5</sup> c
Espécie	DV ( $\mu\text{m}$ )	FV (vaso/ $\text{cm}^2$ )	AR ( $\mu\text{m}$ )	LR ( $\mu\text{m}$ )	FR (raio/ $\text{cm}^2$ )
<i>P. rigida</i>	89,1 <sup>13,5</sup> c	6,6 <sup>1,7</sup> b	132,9 <sup>31,4</sup> c	19,3 <sup>3,2</sup> c	64,8 <sup>2,5</sup> a
<i>P. dubium</i>	123,9 <sup>21,1</sup> b	4,0 <sup>1,3</sup> c	189,5 <sup>45,9</sup> b	25,1 <sup>7,0</sup> b	35,4 <sup>4,1</sup> c
<i>E. grandis</i> x	86,6 <sup>23,5</sup> c	14,8 <sup>2,2</sup> a	168,9 <sup>60,8</sup> b		56,0 <sup>5,8</sup> b

<i>E. urophylla</i>				13,5 <sup>3,5</sup> d	
<i>S. parahyba</i>	187,1 <sup>43,4</sup> a	1,8 <sup>0,9</sup> d	256,4 <sup>47,3</sup> a	38,2 <sup>5,8</sup> a	14,8 <sup>1,3</sup> d

Em que: comprimento de fibra (CF), diâmetro de fibra (DF), diâmetro de lume (DL), espessura da parede (EP), fração parede (FP), diâmetro de vaso (DV), frequência de vaso (FV), altura de raio (AR), frequência de raio (FR); As médias seguidas pela mesma letra na coluna comparam as espécies e não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados corroboram com o relatado por Nisgoski et al. (2012), que observaram, para a mesma espécie citada, um valor médio de 202,20  $\mu\text{m}$  para o diâmetro dos vasos e uma frequência de 2,02 poros/ $\text{mm}^2$ . Esta variação está associada à diferença entre os materiais genéticos e às condições ambientais (PILLAI et al., 2013).

Os maiores valores de espessura da parede das fibras (6,8  $\mu\text{m}$ ) e fração parede das fibras (64,0  $\mu\text{m}$ ), foram verificados para a espécie *P. dubium*, não diferenciando da *P. rigida* para esta variável. Assim, uma fração de parede maior aumenta a densidade básica da madeira e, conseqüentemente, melhora as propriedades mecânicas tornando a madeira mais resistente (ABRUZZI et al., 2012; SETTE JR et al., 2012)

Contudo, para a mesma espécie já citada (*P. dubium*), foram observados os menores valores de comprimento das fibras (690,2  $\mu\text{m}$ ) e frequência dos vasos (4,0 poros/ $\text{mm}^2$ ). Em contrapartida, o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou os maiores valores de frequência dos vasos (14,8 poros/ $\text{mm}^2$ ) e menores de largura de raio (13,5  $\mu\text{m}$ ) quando comparado com as demais espécies, demonstrando semelhanças estatísticas com a espécie *P. rigida* para todas as características anatômicas das fibras e do diâmetro dos vasos (Tabela 2). O mesmo também foi verificado em outros trabalhos realizados para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, sendo encontrado valor médio de 14,9 poros/ $\text{mm}^2$  (Lima et al., 2019).

As dimensões, assim como a frequência e a distribuição dos elementos anatômicos, afetam as propriedades físicas e mecânicas da madeira. O estudo dos valores dimensionais dos vasos é de importância no lenho, pois os mesmos conduzem líquidos ao longo de toda a árvore, e conseqüentemente, as alterações nessas dimensões influenciam em algumas propriedades da madeira (SETTE JR et al., 2012).

O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou os maiores valores para as propriedades mecânicas MOR, MOE, TLP e FM, não diferindo da *P. rigida* para MOR e FM e, da *P. dubium* para a FM. Da mesma forma, a *P. rigida* se destacou com os maiores valores de DURtr, DURlg e COMP, em comparação com as demais espécies (Tabela 3).

Tabela 3- Teste de médias para as propriedades mecânicas da madeira de espécies florestais em um sistema agroflorestal.

Espécie	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TLP (MPa)	FM (N)	DURtr (MPa)	DURlg (MPa)	COMP (MPa)
<i>P. rigida</i>	85,3 a	6113,1 b	36,8 b	2430,6 a	81,4 a	109,5 a	569,6 a
<i>P. dubium</i>	60,0 b	6948,5 b	35,1 b	2138,0 a	42,5 b	47,5 c	387,5 b
<i>E. grandis</i> x							
<i>E. urophylla</i>	89,3 a	10304,1 a	57,4 a	2711,3 a	42,3 b	62,9 b	345,5 b
<i>S. parahyba</i>	30,9 c	3094,9 c	19,3 c	952,0 b	11,7 c	18,9 d	157,7 c

Em que: MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; TLP = tensão no limite proporcional; FM = força máxima; DURtr = Dureza transversal; DURlg = Dureza longitudinal; COMP: Compressão. As médias seguidas pela mesma letra na coluna comparam as espécies e não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A espécie *S. parahyba* apresentou os menores resultados de fração de parede (Tabela 2), e conseqüentemente, os menores valores para todas as propriedades mecânicas da madeira (Tabela 3). Estes resultados corroboram com os obtidos por Tanabe et al. (2016), em que relataram que a fração da parede está diretamente relacionada com o envelhecimento do câmbio vascular, e que com a formação de novas células as paredes das mais velhas tendem a tornarem-se cada vez mais espessas até estabilizarem quando atingirem a fase adulta. Esse comportamento influencia na densidade da madeira, melhorando as suas propriedades físicas e mecânicas.

De acordo com as pesquisas realizadas por Sette Jr. et al. (2012), os mesmos constataram que o diâmetro do lume das fibras possui relação com diâmetro e espessura da parede das fibras. Dessa maneira, quanto mais elevados os valores de diâmetro do lume, maior será a quantidade de espaços vazios na madeira, e conseqüentemente, menor a densidade.

Da mesma forma, uma alta proporção de espaços vazios ocupados pelos vasos confere uma menor massa específica (LIMA et al., 2014). Produtos com elevados valores de densidade são adequados para usos que necessitam maior resistência mecânica (França et al. 2015). Assim, quanto maior a massa específica da madeira melhores são as propriedades mecânicas (Valente et al., 2013). Estes autores também relataram que a massa específica apresenta uma correlação inversa com o diâmetro do lume e com o diâmetro da fibra, o que corrobora com os resultados deste trabalho.

Ainda, a espécie *S. parayha* apresentou os menores valores de dureza e compressão, quando comparada as demais espécies. Esta influência está associada aos dados de massa específica, uma vez que, madeiras mais densas possuem um maior valor de compressão quando comparadas as de menores densidades (VERBIST et al., 2020). Da mesma forma, a dureza longitudinal foi maior que a transversal para todas as espécies, sendo que, esse comportamento pode ser explicado pela orientação paralela ou perpendicular das fibras (COSTA et al., 2017).

A avaliação da correlação entre os caracteres anatômicos e as propriedades mecânicas, possibilita verificação da influência de um parâmetro sobre o outro. A partir da análise da correlação de Pearson, foi possível observar que a anatomia da madeira influenciou em algumas das propriedades mecânicas das espécies estudadas (Tabela 4).

Tabela 4- Coeficiente de correlação de Pearson entre a anatomia e as propriedades mecânicas da madeira das quatro espécies de um sistema agroflorestal.

Variável anatômica	Propriedade mecânica						
	MOR	MOE	TLP	FM	DURtr	DURlg	COMP
CF	0,01 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
DF	-0,87*	-0,70*	-0,72*	-0,84*	-0,76*	-0,78*	-0,65*
DL	-0,85*	-0,70*	-0,68*	-0,84*	-0,75*	-0,71*	-0,67*
EP	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
FP	0,77*	0,64*	0,59*	0,77*	0,66*	0,59*	0,61*
DV	-0,82*	-0,64*	-0,70*	-0,79*	-0,76*	-0,76	-0,67*
FV	0,72*	0,80*	0,85*	0,69*	0,29 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
AR	-0,74*	-0,48*	-0,54*	-0,71*	-0,84*	-0,82*	-0,73*
LR	-0,84*	-0,78*	-0,80*	-0,85*	-0,62*	-0,64*	-0,50*
FR	0,86*	0,59*	0,66*	0,81*	0,84*	0,84*	0,70*

Em que: MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; TLP = tensão no limite proporcional; FM = força máxima; DURtr = Dureza transversal; DURlg = Dureza longitudinal; COMP: Compressão.

\* = Correlação de Pearson significativa; <sup>ns</sup> = Correlação de Pearson não significativa.

As propriedades mecânicas que mais se correlacionaram com as anatômicas foram o MOR e a FM. Já as propriedades anatômicas que apresentaram maior correlação, foram o

diâmetro das fibras (-0,87), o diâmetro do lúmen das fibras (-0,85), a largura dos raios (-0,85) e a frequência dos raios (0,86) (Tabela 4).

A análise da correlação de Pearson demonstrou uma correlação inversamente proporcional das variáveis diâmetro de fibra, diâmetro do lume, diâmetro de vaso, altura de raio e largura de raio, com as propriedades mecânicas (Tabela 4). Isso corrobora com os resultados de França et al. (2015), em que estudando as espécies *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis* com características físicas e mecânicas diferentes, observou que quanto menores os valores destas variáveis anatômicas, maior foi a massa específica e, conseqüentemente, maiores os valores das propriedades de resistência mecânica. Desta forma, de acordo com os autores, a anatomia está correlacionada com a densidade e a mesma está fortemente associada às propriedades mecânicas.

As fibras são características muito importantes de serem avaliadas, pois suas dimensões influenciam diretamente na produção de papel e na usinagem. Deste modo, fibras longas são mais resistentes possibilitando maior entrelaçamento e favorecendo o aumento da resistência (BENITES et al., 2015). No entanto, é importante destacar que a resistência da madeira a esforços não é apenas função da dimensão das fibras, mas também da proporção dos constituintes químicos das células (hemicelulose, celulose e lignina) e da quantidade de extrativos presentes no lume (COSTA et al., 2017).

Além do comprimento das fibras o estudo da largura também se torna relevante, pois fibras com maiores larguras possuem grande potencial de colapso e facilidade de refino (PEDRAZZI et al., 2013). Segundo os mesmos autores, conferem maior resistência ao material produzido, uma vez que, proporcionam maior área de contato entre as fibras no momento de formação do papel. Já, a espessura da parede está relacionada com a flexibilidade da fibra, sendo que, paredes mais finas diminuem a resistência mecânica do material, em compensação aumentam a capacidade de colapso, ou seja, possibilitam maior flexibilidade.

#### **4 CONCLUSÕES**

As quatro espécies florestais apresentam diferença entre as variáveis anatômicas e entre as propriedades mecânicas da madeira.

As variáveis anatômicas influenciam nas propriedades mecânicas da madeira das espécies estudadas. Os valores de fração da parede das fibras, da frequência dos vasos e dos raios são proporcionais as propriedades mecânicas. Já, os valores dos diâmetros das fibras, dos lumens, dos vasos, da altura e da largura dos raios, são inversamente proporcionais as características mecânicas.

Para a melhor utilização final da madeira, recomenda-se a avaliação das variáveis anatômicas, tendo em vista que estão fortemente correlacionadas com as propriedades mecânicas da madeira.

## 5 REFERÊNCIAS

ABRUZZI, R. C. et al. Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de Eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1173-1181. 2012.

AMERICAN SOCIETY for testing and materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: **ASTM D 143-94**. Philadelphia. 2000.

BENITES, P. K. R. M. et al. Caracterização anatômica das fibras de oito Espécies florestais do cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel. **Revista Ciência da Madeira**, v.6, n.2, p.88-93. 2015

CARON, B. O. et al. Growth of tree species and sugarcane production in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, n.2, p.2425-2436. 2018

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - **COPANT**. Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira: esquema I de recomendação. Colômbia. 1973.

COSTA, L. J. et al. Caracterização anatômica e descrição físico-química e mecânica da madeira de *Mimosa schomburgkii*. **Floresta**, v.47, n.4, p.383-390. 2017

DELUCIS, R. A. et al. Propriedades mecânicas da madeira de Acácia-Negra aos quatro e sete anos de idade. **Ciência da Madeira**, v.7, n.1, p.61-69. 2016

ELOY, E. et al. Effect of age and spacing on biomass production in forest plantations. **Árvore**, v.42, n.2, p.1-11. 2018

FRANÇA, T. S. F. A. et al. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de Mogno Africano. **Cerne**, v.212, n.4, p.633-640. 2015.

FRANKLIN, G. L. **Preparation of thin sections of synthetic resins and wood: resin composites, and a new macerating method for wood**. Nature. 1945.

IAWA. **International Association of Wood Anatomists**. List of microscopic features for hardwood identification. Bulletin, Leiden. 1989.

KOL, H. S.; KESKIN, A. S.; VAYDOGAN, K. G. Effect of heat treatment on the mechanical properties and dimensional stability of beech wood. **Journal of Advanced Technology Sciences**. 2017.

LIMA, P. A. F. et al. Qualidade da madeira de Eucalipto para aplicação como mourão tratado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p.509-519. 2019

LIMA, R. S. et al. Influência da anatomia nas propriedades físicas da madeira de *Iryanthera grandis* Ducke. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p.1188-1198. 2014

MONTEIRO, T. C. et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v.45. n.115, p.493-505. 2017

NISGOSKI, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, v.40, n.94, p.203-211. 2012.

PEDRAZZI, C. et al. Avaliação morfológica das fibras de polpas Kraft de Eucalipto com diferentes conteúdos de Xilanas. **Scientia Forestalis**, v.41, n.100, p.515-522. 2013

PILLAI, P. H. C. et al. Effect of silvicultural practices on fibre properties of *Eucalyptus* wood from short-rotation plantations. **New Forests**, v.44, n.4, p.521-532. 2013.

SAS. **Statistical Analysis System**. Getting Started with the SAS Learning Edition. Care, North Carolina: SAS Institute Inc. 2003.

SCHWERZ, F. et al. Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in agroforestry systems: An alternative for threatened ecosystems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, n.4, p.3265-3283. 2018.

SETTE JR, C. R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190. 2012.

TANABE, J. et al. Properties of juvenile and mature wood and their effects on the bending properties of lumber in *Pinus taeda* growing in Tochigi. **Forest Products Journal**, v.66, n.7-8, p.428-432. 2016.

VALENTE, B. M. R. T. et al. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de Angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, v.41, n.100, p.485-496. 2013.

VERBIST, M., BRANCO, J. M.; NUNES, L. Characterization of the mechanical performance in compression perpendicular to the grain of insect-deteriorated timber. **Buildings**, v.10, n.1, p.1-14. 2020.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. **Revista Árvore**, v.40, n.4, p.723-729. 2016.