

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Joyce Fernanda Viana dos Santos

**Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus greggii* Engelm**

Curitibanos, SC

2024



Joyce Fernanda Viana dos Santos

**Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus greggii* Engelm**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes

Curitibanos, SC

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Joyce Fernanda Viana dos  
Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus greggii* Engelm / Joyce Fernanda Viana dos Santos ; orientadora, Karina Soares Modes, 2024.  
30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus greggii* Engelm. I. Modes, Karina Soares. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Joyce Fernanda Viana dos Santos

**Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus greggii* Engelm.**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 10 de junho de 2024.



Documento assinado digitalmente  
**MARCELO BONAZZA**  
Data: 10/07/2024 14:40:41-0300  
CPF: \*\*\*.641.899-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof. Dr. Marcelo Bonazza**  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
**KARINA SOARES MODES**  
Data: 10/07/2024 10:48:11-0300  
CPF: \*\*\*.082.240-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes**  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
**JACQUELINE CLAUDINO DA SILVA**  
Data: 10/07/2024 15:55:19-0300  
CPF: \*\*\*.025.389-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Eng. Florestal Jacqueline Claudino da Silva**  
Avaliadora  
Universidade Estadual de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
**Caroline Vaz**  
Data: 10/07/2024 16:05:55-0300  
CPF: \*\*\*.728.299-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Eng. Florestal Caroline Vaz**  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me dar força, saúde e perseverança durante toda essa jornada acadêmica.

Agradeço ao meu marido, que ao longo desses anos sempre me apoiou, torceu pela minha vitória, e sempre me amparou nos momentos difíceis e que me incentivou a não desistir. Seu apoio e amor são muito importantes para mim.

Agradeço aos meus pais e minhas irmãs, pelo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim. Sem a paciência e compreensão de vocês, este trabalho não seria possível.

Agradeço aos meus familiares, que não mediram esforços para tornar esse sonho possível, pois sem meus primos, tios e tias, a minha vinda para Curitiba não teria sido possível. Muito obrigada por sempre apoiar nossa família.

Agradeço à minha orientadora, Karina Soares Modes, por sua orientação, paciência e valiosas contribuições durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Sua sabedoria e experiência foram essenciais para a conclusão deste projeto.

Aos meus colegas de curso, especialmente Carla Ariane Pereira Santos Graf, Tuane C. Rezende, Mário César Cardoso, Vitória F. Bohn, Suellen Alves e Thuany Alvin por compartilharem conhecimentos, dúvidas e momentos de descontração que tornaram essa trajetória mais leve e enriquecedora. A amizade e o companheirismo de vocês foram fundamentais para mim.

Agradeço também a todos professores da Engenharia Florestal e demais professores, que, ao longo dos anos, compartilharam seu conhecimento e experiência, contribuindo significativamente para minha formação acadêmica e pessoal.

Aos funcionários da Universidade Federal de Santa Catarina, pela disponibilidade e prontidão em ajudar sempre que necessário.

Aos meus amigos, que me apoiaram e incentivaram durante os momentos de dificuldade. Em especial, agradeço a Carla Ariane Pereira Santos Graf e Tuane C. Rezende por estarem sempre ao meu lado.

E, por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica. A todos, meu sincero muito obrigado.

## RESUMO

Embora a madeira de *Pinus greggii* pertença ao gênero de grande relevância no segmento industrial madeireiro brasileiro, ainda não há informações disponíveis na literatura em relação a caracterização dessa espécie. O estudo teve como objetivo caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus greggii*, visando fornecer dados essenciais para avaliar sua viabilidade em aplicações industriais e na construção civil. Foram analisadas propriedades físicas de densidade e estabilidade dimensional a partir de corpos de prova dimensionados segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e avaliados, nas condições de madeira saturada, climatizada (20°C e umidade de 65%) e na condição de madeira anidra. Para as propriedades mecânicas de flexão estática os corpos de prova foram confeccionados segundo a norma COPANT 555 (1973), para determinação da rigidez ou módulo elasticidade (MOE) e resistência ou módulo de ruptura (MOR) e para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo à grã confeccionados corpos de prova segundo a norma COPANT 463 (1972). Os resultados das propriedades físicas mostraram que a madeira de *Pinus greggii* apresenta uma densidade básica de 0,24 g/cm<sup>3</sup>, classificando-a como excepcionalmente leve. A densidade aparente à umidade de 12% foi de 0,28 g/cm<sup>3</sup>. As contrações volumétrica, tangencial, radial e longitudinal foram de 5,90%, 3,92%, 1,52% e 0,58%, respectivamente, com um coeficiente de anisotropia de 2,55, indicando uma qualidade normal frente à propensão a defeitos no processo de secagem. Nas propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade médio foi de 3.389,85 N/mm<sup>2</sup> e o módulo de ruptura médio foi de 25,89 N/mm<sup>2</sup>. A resistência ao cisalhamento foi próxima a 4,92 N/mm<sup>2</sup>. A análise de regressão linear mostrou uma boa correlação entre a massa específica aparente e o MOE, e uma correlação menor para a resistência ao cisalhamento, confirmando que a rigidez está mais influenciada pela densidade da madeira. Conclui-se que as propriedades físicas de *P. greggii* apresentam valores inferiores quando comparado a outras espécies de pinus, além de uma baixa densidade. Em relação as propriedades mecânicas os valores se mantem abaixo de outras espécies. Assim, recomendam-se estudos que explorem a variação regional da madeira de *P. greggii* e a caracterização de indivíduos obtidos de ciclos mais longos de produção. Os dados obtidos confirmam a viabilidade da madeira de *P. greggii* aos 8 anos para usos em que a estabilidade dimensional seja uma característica de interesse, excluindo-se usos que requeiram resistência mecânica na construção civil.

**Palavras-chave:** Densidade. Módulo de elasticidade. Módulo de ruptura.

## ABSTRACT

Although *Pinus greggii* wood belongs to a genus of great relevance in the Brazilian timber industry, there is still no information available in the literature regarding the characterization of this species. The aim of this study was to characterize the physical and mechanical properties of *Pinus greggii* wood in order to provide essential data for assessing its viability in industrial and construction applications. Physical properties such as density and dimensional stability were analyzed using specimens sized according to the NBR 7190 standard (ABNT, 1997) and evaluated in saturated wood, acclimatized (20°C and 65% humidity) and anhydrous wood conditions. For the mechanical properties of static bending, the specimens were made according to COPANT standard 555 (1973), to determine the stiffness or modulus of elasticity (MOE) and strength or modulus of rupture (MOR) and to determine the resistance to shear parallel to the grain, specimens were made according to COPANT standard 463 (1972). The results of the physical properties showed that *Pinus greggii* wood has a basic density of 0.24 g/cm<sup>3</sup>, classifying it as exceptionally light. The apparent density at 12% humidity was 0.28 g/cm<sup>3</sup>. The volumetric, tangential, radial and longitudinal contractions were 5.90%, 3.92%, 1.52% and 0.58%, respectively, with an anisotropy coefficient of 2.55, indicating normal quality compared to the propensity to defects in the drying process. In terms of mechanical properties, the average modulus of elasticity was 3,389.85 N/mm<sup>2</sup> and the average modulus of rupture was 25.89 N/mm<sup>2</sup>. The shear strength was close to 4.92 N/mm<sup>2</sup>. Linear regression analysis showed a good correlation between apparent specific mass and MOE, and a lower correlation for shear strength, confirming that stiffness is more influenced by wood density. It can be concluded that the physical properties of *P. greggii* have lower values when compared to other pine species, as well as a low density. In terms of mechanical properties, the values remain below those of other species. Studies are therefore recommended to explore the regional variation of *P. greggii* wood and to characterize individuals obtained from longer production cycles. The data obtained confirms the viability of *P. greggii* wood at 8 years of age for uses in which dimensional stability is a characteristic of interest, excluding uses that require mechanical resistance in civil construction.

**Keywords:** Density. Elastic modulus. Modulus of rupture.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>10</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1	<i>Pinus greggii</i> .....	11
2.2	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA.....	12
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
3.1	OBTENÇÃO DO MATERIAL.....	15
3.2	PROPRIEDADES FÍSICAS .....	15
<b>3.2.1</b>	<b>Estabilidade dimensional e densidade básica e aparente</b>	<b>15</b>
3.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	17
<b>3.3.1</b>	<b>Ensaio de flexão estática</b>	<b>17</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã</b>	<b>18</b>
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>20</b>
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS .....	20
4.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	22
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>27</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A madeira tem desempenhado um papel crucial na sociedade humana, sendo amplamente utilizada na construção civil, produção de papel, e outras indústrias. Com o avanço das técnicas de manejo florestal e a necessidade de materiais sustentáveis, a pesquisa sobre as propriedades físicas e mecânicas de diferentes espécies de madeira torna-se cada vez mais relevante. Entre as várias espécies de *Pinus*, o *Pinus greggii*, conhecido como “pino prieto” ou “pino gabarato”, destaca-se por suas características únicas e potencial de uso em regiões fora de seu habitat natural (Borsato, 2000).

Originário do México, o *P. greggii* apresenta uma adaptação interessante às condições climáticas e de solo do sul do Brasil, conforme indicado por estudos anteriores (Shimizu, 2008). Essa adaptação sugere que a espécie possui um grande potencial para ser utilizada comercialmente, desde que suas propriedades sejam devidamente compreendidas e exploradas.

As propriedades físicas e mecânicas da madeira são essenciais na determinação de sua aptidão para diferentes usos industriais. No caso do *Pinus taeda*, essas propriedades estão bem documentadas, com densidade básica variando entre 0,300 e 0,400 g/cm<sup>3</sup>, e alto teor de holocelulose (até 70,70%) que é desejável para a produção de papel e celulose. Em contrapartida, para o *Pinus greggii*, há uma lacuna significativa na literatura sobre suas propriedades físicas e mecânicas, especialmente em plantações no Brasil. Estudos preliminares indicam que o *P. greggii* possui uma densidade básica média de 0,346 g/cm<sup>3</sup>, o que a classifica como uma madeira de baixa densidade, e um alto teor de lignina (34,83%), o que pode afetar negativamente o processo de polpação. Essas informações são essenciais para avaliar o potencial de *P. greggii* como alternativa ao *P. taeda*, contribuindo para a diversificação de espécies no setor florestal e redução de riscos associados a pragas e doenças específicas (Vivian, 2022).

A relevância deste estudo reside na contribuição para o conhecimento científico e prático sobre uma espécie de madeira com potencial significativo para a indústria florestal brasileira. A caracterização detalhada das propriedades da madeira de *P. greggii* pode fornecer subsídios para o melhoramento genético, manejo florestal mais eficiente e utilização otimizada na produção de materiais derivados da madeira.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da espécie de *Pinus greggii* aos 8 anos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar a densidade básica, aparente da madeira verde, a 12% e anidra;

Determinar a estabilidade dimensional da madeira;

Caracterizar as propriedades mecânicas por meio de testes de cisalhamento paralelo às fibras e flexão estática.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Pinus greggii*

*Pinus greggii*, conhecido popularmente como “pino prieto”, “pino gabarato” ou “pino ganaratillo”, é uma espécie originária do México, podendo ser localizada nas regiões Norte e Centro Oeste, nos estados de Nuevo León, Coahuila, Hidalgo, Puebla e San Luis Potosí. Pode atingir 25 m de altura, tem sua utilização no país de origem no ramo da construção civil e para lenha (Borsato, 2000).

Levando em consideração as particularidades das localidades de ocorrência da espécie, segundo Shimizu (2008) a mesma ocorre em altitudes que variam entre 1.200 à 2.700 m, desde regiões de solos ácidos a solos de reação neutra alcalina, e desde ambiente caracterizado como semiárido com precipitação de 400 mm até aqueles com precipitação de até 1.600 mm.

Segundo Shimizu (2008) os experimentos com procedências da espécie oriundas da região central do México têm maiores probabilidade de bom desenvolvimento quando implantadas nas regiões do Sul do Brasil, isso devido a sua adaptação ao clima e aos solos brasileiros, enquanto as procedências do norte do México, não obtiveram êxito, resultando em árvores de baixo vigor, com ocorrência de alterações em tamanho e rigidez nas acículas, e deformações nos ramos e fuste quando comparadas. De acordo com o mesmo autor é uma espécie a qual possui as particularidades de resistência a geadas severas e florescimentos precoce. A partir do primeiro ano de crescimento no campo, pode-se observar princípios de estróbilos femininos. Sendo assim, esta espécie apresenta grande potencial para a formação de híbridos interespecíficos, tendo em vista a combinação de suas características de interesse, junto a de outras espécies plantadas comercialmente na região.

De acordo com Shimizu (2008), o *P. greggii* possui madeira de coloração amarelada pálida, com baixo teor resinífero, a qual foi testada e considerada de alta qualidade para o uso na produção de celulose e papel, assim como para madeira sólida. Possui uma densidade a qual varia de 0,45 a 0,55 g/cm<sup>3</sup> e tendo em vista o grande número de ramos produzidos, pode vir a concentrar grande número de nós se não for manejada de forma correta, o que pode tornar sua madeira de baixa qualidade para o processamento industrial.

Sua madeira não apresenta desvio de grã expressivos, sendo de fácil manipulação nos processos de descascamento e corte. Com baixos teores de cinza, em torno de 0,08%, é

indicada para a produção de papel e polpa, apresentando rendimento de 44% e 45% em polpa Kraft pré-hidrolisada não branqueada, valores estes que se enquadram dentro dos limites de rendimento obtidos por outras espécies de Pinus, sendo que para as características químicas não se encontrou grandes diferenças entre o *P. greggii* e outras espécies de Pinus (Borsato, 2000).

## 2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

Segundo Araújo (2002), entre as mais importantes propriedades físicas da madeira estão a densidade, ou também conhecida por massa específica (massa por volume), e a estabilidade dimensional (contração e inchamento em função do teor de umidade).

A densidade básica é um dos índices de qualidade da madeira, sendo o parâmetro quantitativo decorrente das características anatômicas e composição química da madeira. Tem por definição a relação entre o peso de madeira seca em estufa e seu volume adquirido acima do ponto de saturação das fibras. Tem sua importância vista em todos os setores florestais, sendo a que melhor expõe a qualidade da madeira, devido a fácil determinação e por demonstrar correlação com outras características do produto. Na tecnologia está diretamente ligada às características do produto final como no rendimento em celulose, resistências físico-mecânicas do papel, produção e qualidade de carvão, etc (Balloni, 2009).

De acordo com Larson (2001 *apud* Padilha 2016) a densidade da madeira é possivelmente o critério usual mais antigo e amplamente utilizado para qualificar a qualidade da madeira e suas propriedades de resistência. Sendo crucial para a determinação das características das propriedades físicas e mecânicas de diferentes espécies produtoras de madeira, o qual é capaz de diferenciar as diferentes árvores de uma mesma espécie ou até regiões distintas de uma mesma árvore (Foelkel, 1971).

As alterações na proporção dos vasos e da espessura de parede celular das fibras/traqueídeos são responsáveis pelas modificações da densidade. De acordo com Oliveira e Silva (2003), o aumento da densidade pode ser a resposta do aumento da espessura da parede celular das fibras, ou de um aumento na proporção das fibras quando comparado, por exemplo, à proporção de vasos (Oliveira; Silva, 2003).

A diminuição da umidade da madeira, pode gerar perda de massa, além de perda em volume, a qual pode ser conhecida como retratibilidade volumétrica parcial ou apenas retratibilidade volumétrica. Esse termo retratibilidade também pode ser conhecido como

retratibilidade total, a qual consiste na perda total de água desde a amostra totalmente saturada até a secagem completa em estufa a  $103 \pm 5^\circ\text{C}$ . Considera-se que a variação em volume na madeira se realiza praticamente para umidades inferiores a 28% aproximadamente, referindo-se a madeira praticamente estável, com pequenas variações volumétricas, para umidades acima deste valor, denominado ponto de saturação das fibras PSF (Rezende *et al.*, 1988).

De acordo com Oliveira e Silva (2003), todos os materiais higroscópicos, como madeira e vários outros materiais celulósicos, encolhem quando seu teor de umidade cai do ponto de saturação da fibra (PSF) para um estado absolutamente seco ou anidro. Devido às mudanças no conteúdo de umidade, o encolhimento da madeira e o inchaço por umidade são os dois problemas práticos mais importantes que ocorrem durante seu uso. A magnitude da mudança de tamanho depende de muitos fatores, como teor de umidade, direção estrutural (radial, tangencial e/ou longitudinal), posição dentro da árvore, densidade da madeira, temperatura, grau de estresse de secagem causado pelo gradiente de umidade, etc.

Determinar as propriedades mecânicas da madeira é importante para estimar sua resistência às forças externas que tendem a deformá-la, para determinar o uso mais adequado da mesma. Ao contrário de outros materiais com estrutura homogênea, a madeira possui propriedades mecânicas distintas nos sentidos radial, axial e tangencial, que dizem respeito às diferentes direções de crescimento (Melchiorretto; Eleotério, 2003).

De acordo com Meirelles e Pala (2010) a resistência da madeira diferencia-se segundo os três eixos principais: longitudinal, radial e tangencial, sendo que a resistência da madeira no rumo paralelo às fibras é muito grande devido a densidade e a continuidade da fibra na direção longitudinal, enquanto na direção perpendicular à fibra (tangencial e radial) existem maiores lacunas.

Evans *et al.* (2000) relata que as propriedades mecânicas da madeira, dependem principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo, assim como da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores.

Sabe-se que a madeira é um material heterogêneo, caracterizado por diferentes tipos de células que se adaptam a funções específicas. As variações na sua composição química, física e anatômica são significativas entre diferentes espécies e podem ocorrer até mesmo dentro da mesma espécie, dependendo de fatores como idade, posição na árvore, e influências genéticas e ambientais, entre outros (Shimoyama, 1990). Ainda segundo esse autor, o

ambiente, assim como sua manipulação, pode afetar as particularidades da madeira e como consequência a qualidade da mesma. Árvores plantadas em ambientes exóticos podem ter suas propriedades físico-mecânicas da madeira expressivamente diferente das de árvores cultivadas em seu ambiente de origem.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980 *apud* Lobão *et al.*, 2004) a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira é capaz de ser estimada a partir da variação da densidade, o que pode ser explicado devido as propriedades de resistência à flexão estática e o seu módulo de elasticidade estarem associados com a densidade, que, por sua vez, também está relacionada com as dimensões das células. Também foi citado que a relação entre densidade e as propriedades mecânicas, pode ser alterada pela presença de extrativos que se adicionam a massa lenhosa, o que pode aumentar, principalmente, a resistência a compressão axial da madeira. Portanto, a efetiva resistência da madeira ao esforço, é uma função não apenas da qualidade da parede celular, como também da proporção dos componentes das células determinados em dada espécie e da porção de extrativos existentes no lúmen das células.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

A madeira de *Pinus greggi* utilizada no presente estudo foi extraída de um plantio implantado na Área Experimental Florestal (AEF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com 8 anos de idade, localizado em Curitibanos/SC, nas coordenadas 27°18'32.02"S e 50°42'44.98"O. A área encontra-se em uma altitude de 835 metros, e segundo Köppen, o clima da região é Cfb - subtropical úmido com verões amenos (EMBRAPA, 2012).

O povoamento experimental de *Pinus greggii* foi implantado no ano de 2012 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em uma área de 0,2 ha, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, tendo sido realizado uma poda aos 5 anos de idade, até 3 metros de altura. No ano de 2018, portanto aos 6 anos do plantio, foi realizado um desbaste seletivo, retirando 50% dos indivíduos. Também, foram conduzidas roçadas periódicas para controle de plantas daninhas ao longo dos anos, a fim de possibilitar o desenvolvimento inicial das plantas.

Foram selecionadas 3 árvores de diâmetros semelhantes em torno 19,1 cm à altura do peito (DAP = 1,30 m) e de bom estado fitossanitário, as quais foram abatidas com auxílio de um motosserra. Posteriormente a derrubada das árvores, foi extraído 1 disco da posição do DAP e também utilizada a primeira tora de cada árvore compreendida entre a posição da base e DAP para confecção de corpos de prova no Laboratório de Recursos Florestais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Curitibanos, onde foram conduzidos os procedimentos de caracterização física e mecânica da madeira.

#### 3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

##### 3.2.1 Estabilidade dimensional e densidade básica e aparente

Para esse fim, foram utilizados os discos extraídos da região do DAP (1,30 m da base) com 8,0 cm de espessura para a extração dos corpos de prova de dimensão 3,0 x 2,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal) (Figura 1A), de acordo a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) a partir de uma bagueta radial, da qual foram extraídos os referidos corpos de prova das porções próximas a medula e casca os quais tiveram delimitados os

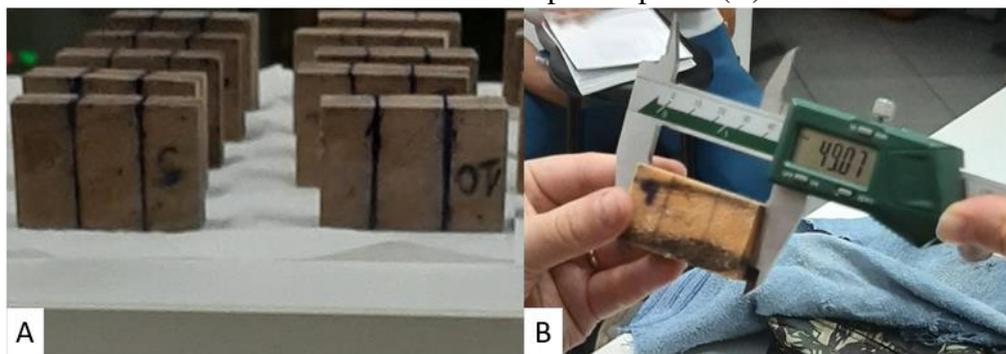
sentidos anatômicos para a determinação da contração. Em seguida, foram imersos em água à temperatura ambiente para saturação da parede celular por aproximadamente 30 dias. Posteriormente a este período foram pesadas em balança analítica (com precisão de 0,01 g) tendo os sentidos anatômicos mensurados com auxílio de paquímetro digital (com precisão de 0,01 mm) (Figura 1B). Em seguida, as amostras foram condicionadas em câmara climática à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65% até massa constante, e após refeita as mesmas avaliações. A seguir, o material foi colocado para secar em estufa à temperatura de  $103 \pm 2$  °C, realizando-se após massa constante, nova pesagem e mensuração dos sentidos anatômicos.

Com base nas mensurações obtidas, determinou-se a contração linear e volumétrica total por meio da equação 1, considerando o intervalo entre a condição de saturação da parede celular e a condição de madeira anidra.

$$\beta_{L,R,T,V} (\%) = \frac{DU, VU(cm^3) - DS, VS(cm^3)}{DU, VU(cm^3)} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:  $\beta_L, V$  = contração linear/ volumétrica; DU= dimensão da madeira na condição saturada; VU= volume úmido; DS= dimensão seca; VS= volume seco.

Figura 1 – Corpos de prova para avaliação da contração da madeira (A). Mensuração dos sentidos anatômicos dos corpos de prova (B).



Fonte: O autor (2024).

A partir dos valores obtidos para massa anidra e volume anidro após secagem em estufa a  $103 \pm 2$  °C, do volume e massa saturada da amostra após período de imersão em água, e da massa e volume do material depois do período de condicionamento em câmara climática calculou-se a densidade aparente a 12% de umidade, da madeira anidra e da madeira verde, conforme a equação 2. Determinou-se também o coeficiente de retratibilidade para a

contração em cada sentido anatômico e o coeficiente de anisotropia para a contração total, de acordo com as equações 3 e 4, respectivamente.

$$ME (12\%, 0\%, Verde) = \frac{massa (g) (12\%, 0\%, verde)}{volume (cm^3)(12\%, 0\%, verde)} \quad (2)$$

Sendo: ME (tu%) = massa específica aparente à umidade de 12%, 0% e da madeira verde; Massa (tu%) = massa à umidade de 12%, 0% e da madeira verde; Volume (tu%) = volume à umidade de 12%, 0% e da madeira verde.

$$Q\beta L, R, T, V = \frac{(D, V12\% - D, V0\%) \times M0\%}{(M12\% - M0\%) \times D, V12\%} \quad (3)$$

Sendo: Q $\beta$  = coeficiente de retratibilidade para contração nos três sentidos anatômicos e para o volume; D12% = dimensão/ volume a 12% de umidade; D0% = dimensão/ volume a 0% de umidade; M12% = massa a 12% de umidade; M0% = massa a 0% de umidade.

$$CA = \frac{\beta tg \%}{\beta rd \%} \quad (4)$$

Sendo: CA= coeficiente de anisotropia;  $\beta$  tg = contração linear na direção tangencial;  $\beta$  rd = contração linear na direção radial.

### 3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

#### 3.3.1 Ensaio de flexão estática

Para condução do ensaio mecânico de flexão estática foram confeccionados corpos de prova com dimensão de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, sendo a última dimensão no sentido da grã, segundo a norma COPANT 555 (1973), tendo o teste uma velocidade de 1,0 mm/min com aplicação da carga na face tangencial do corpo de prova. O vão que representa a distância entre os apoios que sustentam o corpo de prova, foi de 280 mm (14 vezes a espessura do corpo de prova). A rigidez (MOE ou módulo de elasticidade) ao esforço de flexão estática foi determinada diretamente pelo sistema computadorizado do equipamento de testes (Figura 2).

Já a resistência (MOR ou módulo de ruptura) foi determinada a partir da carga máxima suportada pelo corpo de prova, conforme equação 5.

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{m\acute{a}x} \times L}{b \times h^2} \times \quad (5)$$

Sendo: MOR = Módulo de ruptura, N/mm<sup>2</sup>; P<sub>máx</sub> = carga máxima, N; L = comprimento do vão entre os apoios, mm; h = altura da seção transversal do corpo de prova, mm; b = largura da seção transversal do corpo de prova, mm.

Figura 2 – Ensaio de flexão estática



Fonte: O autor (2024).

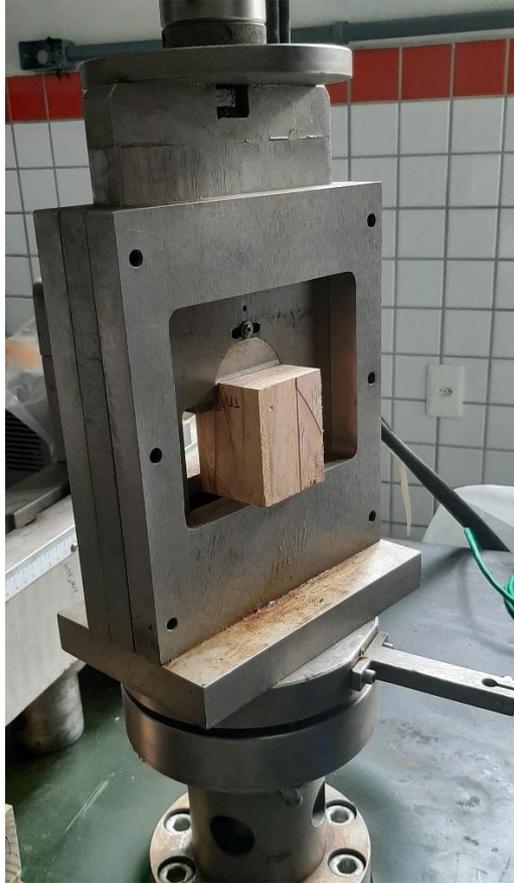
### 3.3.2 Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã

Para o ensaio de cisalhamento paralelo à grã foram utilizados corpos de prova com dimensão de 5,0 x 5,0 x 6,3 cm, sendo a última no sentido axial ou paralelo à grã, de acordo com o recomendado na norma COPANT 463 (1972), tendo o teste executado a uma velocidade de 0,6 mm/min com aplicação da carga no sentido paralelo a grã (Figura 3). Os resultados da resistência ao cisalhamento foram calculados com base na carga máxima necessária para rompimento dos corpos de prova e da área de aplicação da carga (Equação 5).

$$R_{cis} = \frac{P_{m\acute{a}x} (N)}{A (mm^2)} \quad (5)$$

Sendo:  $R_{cis}$  = resist\ancia ao cisalhamento (N/mm<sup>2</sup>);  $P_{m\acute{a}x}$  = carga ou for\ca m\acute{a}xima (N);  $A$  = \c{a}rea de aplica\c{a}o da for\ca (mm<sup>2</sup>).

Figura 3 – Ensaio de cisalhamento em m\c{a}quina universal de ensaios mec\c{a}nicos.



Fonte: O autor (2024).

### 3.4 AN\c{A}LISE ESTAT\c{I}STICA

As propriedades f\c{is}icas de densidade aparente e estabilidade dimensional, assim como as propriedades mec\c{a}nicas de resist\ancia e rigidez \c{a} flex\c{a}o est\c{a}tica e resist\ancia ao esfor\co de cisalhamento paralelo a gr\c{a}, foram avaliadas com base em estat\c{is}tica descritiva. Os dados de resist\ancia mec\c{a}nica e respectiva densidade aparente a 12% dos corpos de prova foram submetidos a diferentes modelos de regress\c{a}o no software Excel vers\c{a}o Microsoft® Excel® 2019 para obten\c{a}o de modelo matem\c{a}tico para estimativa dos par\c{a}metros de resist\ancia e rigidez da esp\ecie em fun\c{c}o da densidade aparente a umidade de 12%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os valores médios para as propriedades físicas avaliadas para a madeira de *P. greggii* estão listados na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físicas da madeira de *P. greggii* aos 8 anos.

Propriedade	Parâmetro	Média	CV (%)
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Verde	1,05	1,75
	12% de umidade	0,28	14,25
	0% de umidade (Anidra)	0,26	14,54
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Básica	0,24	14,42
	Volumétrica	5,90	14,39
Contração total (%)	Tangencial	3,92	20,25
	Radial	1,52	33,90
	Longitudinal	0,58	65,73
Coeficiente de retratibilidade (contração)	Volumétrica	0,249	39,07
	Tangencial	0,138	21,86
	Radial	0,069	30,77
	Longitudinal	0,027	53,81
Coeficiente de Anisotropia total	Contração	2,55	27,31

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A densidade básica observada de 0,24 g/cm<sup>3</sup> permite classificar a madeira desta espécie na idade considerada como excepcionalmente leve, considerando critérios de Durlo (1991). Observa-se ainda, conforme esperado, o efeito da umidade causando uma elevação nos valores de densidade da madeira por efeito do aumento da massa e volume do material. na literatura há estudos com espécies do mesmo gênero e de mesma idade, os quais mostram densidade básica calculada sendo inferior à média de 0,38 g/cm<sup>3</sup>, observada por Moura e Santiago (1991), em espécies de pinus tropicais cultivados no município de Planaltina, DF. Embora trata-se de indivíduos da mesma idade, as diferenças registradas se devem ao fato de se tratarem de espécies diferentes crescendo em locais influenciados por distintas condições climáticas.

Durlo (1991) menciona que as estruturas internas da madeira para cada espécie, se apresentam de maneira muito distinta, isso ocorre devido aos arranjos anatômicos em diversas proporções e suas formas estruturais, atreladas às características genéticas que cada indivíduo possui. Este fato é responsável pelas diferenças de densidade ou massa específica entre espécies, isso sem levar em conta os demais fatores que corroboram para a alteração dessa

característica, mesmo dentro de uma mesma espécie, condicionadas às variações das condições do meio onde essa madeira está sendo formada.

Com relação à densidade aparente à umidade de 12% o valor é pouco inferior ao registrado para a madeira de *Pinus patula* aos 12 anos (0,32 g/cm<sup>3</sup>) avaliada por Mustefaga *et al.* (2019). Já Oliveira *et al.* (2006), observaram para a madeira de *P. taeda* procedente do Paraná aos 9 anos de idade, massa específica aparente à 12% de umidade de 0,43 g/cm<sup>3</sup>, superior à registrada no presente estudo que foi de 0,28 g/cm<sup>3</sup>.

Em relação ao registrado para os parâmetros de contração, o nosso estudo encontrou valor de 1,52% para sentido radial, 3,92% para o sentido tangencial, 0,58% para o sentido longitudinal e 6,09% para o percentual volumétrico, sendo esses percentuais inferiores aos encontrados por Palma e Ballarin (2003) que para a madeira juvenil de *P. taeda*, considerada até a idade de 12 anos, valores de contração total de 4,84% para o sentido radial, 7,42% para o sentido tangencial e 0,41% para o sentido longitudinal e percentual volumétrico de 12,26%. Além disso, da mesma forma que o registrado pelo autor, embora a madeira de *P. greggi* avaliada possa ser considerada em sua totalidade madeira juvenil, não foi observado um percentual de contração longitudinal característico desse tipo de lenho, superior a 1%, embora algumas amostras dentre as avaliadas tenham apresentado contração que atingiu um percentual máximo de 1,42%, como também observado pelos autores referenciados. Já para indivíduos de mesmo gênero e idade (8 anos) Rezende (2003) em estudo com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* procedente da Bahia, observou contrações totais, longitudinal, radial, tangencial e volumétrica de 0,64%, 4,39%, 5,79% e 10,63%, respectivamente, todas também superiores à do presente estudo.

As variações nas propriedades anisotrópicas da madeira podem ser explicadas por teorias que juntas visam explicar o comportamento anisotrópico da madeira. Durlo (1991) cita algumas dessas teorias, para explicar a variação na contração longitudinal em relação às transversais e entre estas últimas. Em relação ao fato de a contração no sentido longitudinal ser inferior às demais (radial e tangencial), tem-se o fato de que as microfibrilas de celulose estão alinhadas aproximadamente paralelamente ao comprimento da célula na camada S2 da parede celular, considerada a mais representativa, e pelo fato da microfibrila sofrer menor contração no sentido do seu comprimento, a célula passa a assumir também este comportamento que passa a ser predominante pelas células alinhadas axialmente ao fuste. Também se tem o fato de que no sentido longitudinal há um menor acúmulo de parede celular

por unidade de comprimento de material, portanto menor concentração de material com capacidade de reagir com a oscilação de umidade.

Em relação às diferenças nos percentuais de contração nos sentidos radial e tangencial, tem-se a influência relacionada à ação restritiva dos raios. Nessa teoria considera-se que os raios, tecidos orientados horizontalmente no fuste das árvores, por contraírem-se pouco no sentido do comprimento, em função da orientação das microfibrilas conforme relatado anteriormente, tendem a restringir o movimento das células intercaladas no sentido radial, enquanto no sentido tangencial não há restrição quanto à contração da parede celular.

Outra explicação para a anisotropia de contração entre os sentidos tangencial e radial é a diferente configuração entre os anéis de lenho inicial e lenho tardio. No sentido tangencial as faixas encontram-se de forma adjacente e nesse caso, o lenho tardio mais instável, força o lenho inicial, mais estável, a acompanhá-lo, predominando uma maior instabilidade dimensional nesse sentido, enquanto no sentido radial, os referidos lenhos encontram-se intercalados reagindo de forma independente um do outro, predominando assim o movimento do lenho inicial que está presente em maior proporção nesse sentido. Esses aspectos, dentre outros, contribuem significativamente para maior contração no sentido tangencial comparado ao radial.

O coeficiente de anisotropia obtido para *P. greggii* é pouco superior ao limite de 2,5 considerado por Durlo (1992), de maneira que, segundo esse critério a madeira avaliada pode ser considerada como de qualidade normal, assim como autores como Klitzke (2007) o qual também considera o valor de 2,5 como madeira de qualidade normal frente à propensão a defeitos no decorrer do processo de secagem. Além disso, a baixa densidade registrada para a madeira de *P. greggi* avaliada permite inferir que a mesma após secagem até um teor de umidade de equilíbrio terá baixa propensão a alterações dimensionais que possam causar danos ao material.

## 4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na tabela 2 encontram-se valores médios e a estatística descritiva para os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) obtidos no ensaio de flexão estática, bem como a massa específica aparente média à umidade de 12% dos corpos de prova de *P. greggii* submetidos ao ensaio.

Tabela 2 – Valores referentes ao ensaio de flexão estática e cisalhamento paralelo à grã para a espécie *Pinus greggii*.

	Flexão estática			Cisalhamento	
	MEA	MOE	MOR	MEA	Resistência
	(kg.m <sup>3</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		(kg.m <sup>3</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
Mínimo	201	1.114,84	8,27	255	3,26
Média	300	3.389,85	25,89	310	4,92
Máximo	366	5.678,66	48,96	371	6,70
Desvio Padrão	41,81	1.128,58	8,99	22,34	0,85
CV (%)	13,95	33,29	34,73	7,19	17,28

Legenda: MOE = módulo de elasticidade ou rigidez; MOR = módulo de ruptura ou resistência; MEA = massa específica aparente da madeira condicionada a 20°C e 65% de UR; CV = coeficiente de variação.

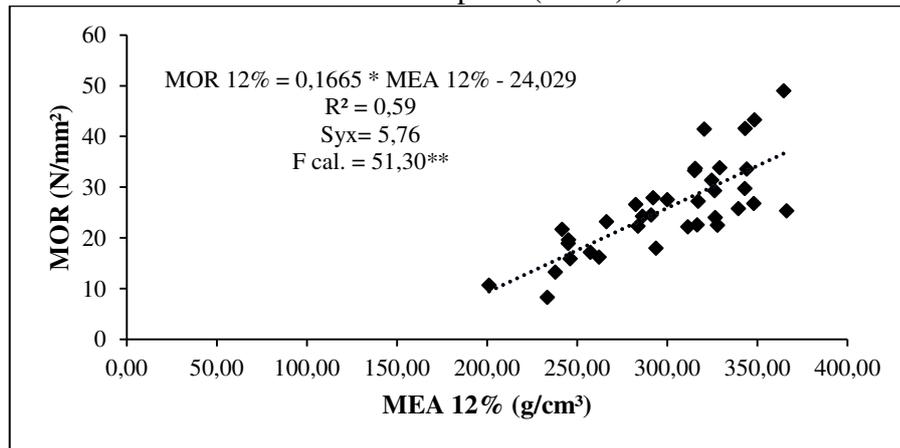
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Observa-se que o valor médio de MOE em estudo conduzido por Mustefaga *et al.* (2019), para madeiras de *P. taeda* e *P. patula* aos 12 anos procedentes do estado do Paraná, foi de 6.318 e aos 6.628 N/mm<sup>2</sup> obtidos, respectivamente para cada espécie, bem como aos 45,3 e 56,3 N/mm<sup>2</sup> para o MOR, ou seja, sendo inferiores ao encontrados no presente estudo, sendo que para ambas as propriedades a madeira de *P. greggii* apresentou aproximadamente a metade da resistência e rigidez. Já em relação à resistência máxima ao esforço de cisalhamento paralelo à grã, observa-se que o valor obtido foi mais próximo aos 6,79 N/mm<sup>2</sup>, registrado pelos autores para a madeira de *P. patula*. É consenso na literatura de que a densidade da madeira influencia positivamente nos parâmetros de resistência mecânica da madeira, porém observa-se que embora a madeira de *P. greggii* tenha apresentado densidade aparente a umidade de 12% muito próxima à da madeira de *P. patula* avaliada por Mustefaga *et al.* (2019) (320 kg/m<sup>3</sup>), a diferença observada entre os parâmetros pode estar relacionada a fatores como desvios de grã (ângulo das camadas de crescimento em relação ao eixo longitudinal da peça), bem como ao ângulo de inclinação das microfibrilas na parede celular, que pode ser mais acentuada para a madeira de *P. greggii*.

Em comparação com o estudo de Dal Ponte Filho *et al.* (2004) com madeira de *P. taeda* aos 9 anos com densidade aparente de 430 kg.m<sup>3</sup> observa-se que o módulo de ruptura registrado foi aproximadamente metade daquele registrado pelos autores (52,87 N/mm<sup>2</sup>). Da mesma forma o módulo de ruptura foi inferior aos 53,14 N/mm<sup>2</sup> obtido por Oliveira *et al.* (2006) para *P. taeda* aos 9 anos.

As figuras 4, 5 e 6 tratam das equações lineares ajustadas para estimativa do módulo de ruptura, módulo de elasticidade e resistência máxima ao cisalhamento paralelo à grã em função da densidade aparente à umidade de 12% dos corpos de prova submetidos aos ensaios.

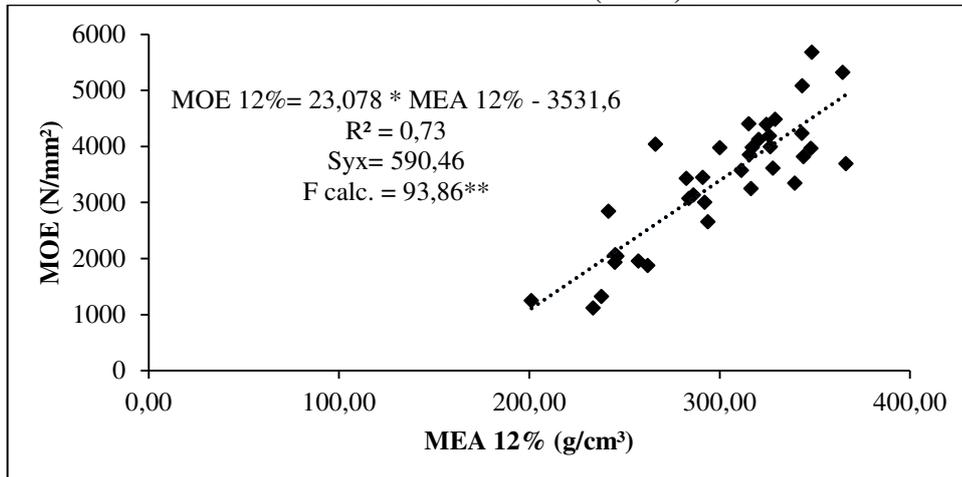
Figura 4 – Regressão linear relacionado a massa específica aparente dos corpos de prova e o modulo de ruptura (MOR).



Legenda: MOR = módulo de ruptura; MEA 12% = massa específica aparente a 12% de umidade;  $R^2$  aj. = coeficiente de determinação ajustado;  $**F < 0,01$ .

Fonte: O autor (2024).

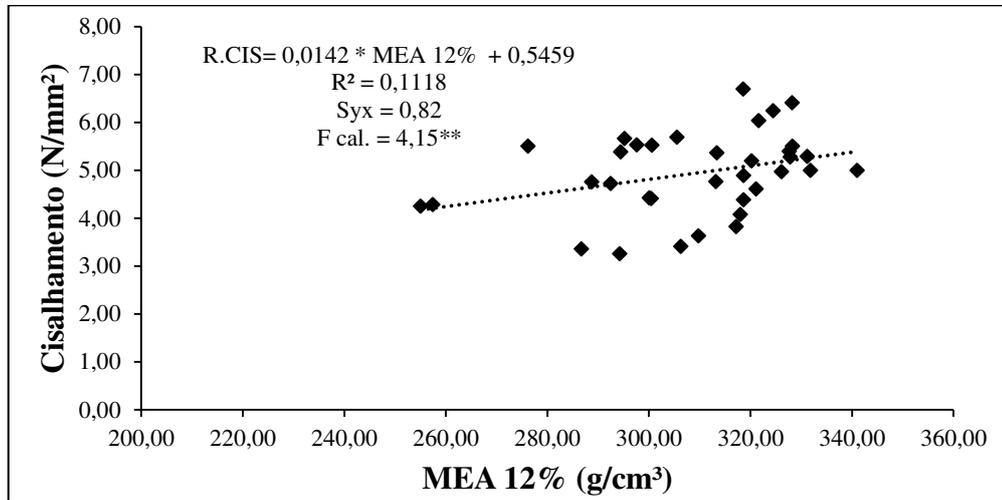
Figura 5 – Regressão linear relacionado a massa específica aparente dos corpos de prova e o modulo de elasticidade (MOE).



Legenda: MOE= módulo de elasticidade; MEA 12% = massa específica aparente a 12% de umidade;  $R^2$  aj. = coeficiente de determinação ajustado;  $**F < 0,01$ .

Fonte: O autor (2024).

Figura 6 – Regressão linear relacionando massa específica aparente a 12% de umidade dos corpos de prova e a resistência máxima ao cisalhamento.



Legenda: RCIS = resistência ao cisalhamento; MEA 12% = massa específica aparente a 12% de umidade;  $R^2$  aj. = coeficiente de determinação ajustado; \*\* $F < 0,01$ .

Fonte: O autor (2024).

Observa-se um bom ajuste das equações para estimativa das propriedades mecânicas avaliadas em função da massa específica aparente a 12%, com o melhor coeficiente de determinação obtido para estimativa da rigidez (módulo de elasticidade) e a pior para estimativa da resistência ao cisalhamento. De maneira geral é esperado uma relação linear e positiva entre as propriedades mecânicas e a densidade do material avaliado em função da concentração de material lenhoso responsável por fornecer resistência e rigidez à madeira.

Observa-se que o coeficiente de determinação obtido pela equação para estimativa do módulo de ruptura foi inferior ao obtido para estimativa do módulo de elasticidade. Este comportamento também foi observado por Lucas Filho (2012) em estudo com *P. elliottii* tendo observado que a resistência (MOR) da madeira está mais atrelada à variação de umidade do material, enquanto a rigidez (MOE) é mais influenciada pela massa específica da madeira.

O baixo coeficiente obtido pela equação gerada para estimativa da resistência ao cisalhamento pode ser explicado pelo fato de que, pelas características desse ensaio, a carga é aplicada em uma área muito reduzida em comparação ao corpo de prova como um todo e cuja massa específica é mensurada e utilizada para a estimativa. Nesse sentido, a variação da

resistência estará atrelada a região onde se dará a fratura do material, se em uma região mais frágil, como a de lenho inicial ou na região de ocorrência do tecido radial.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a madeira de *Pinus greggii*, aos 8 anos de idade:

Confirma a hipótese de que há uma relação positiva entre a densidade da madeira e suas propriedades mecânicas, sendo que a massa específica aparente se mostrou um bom indicador para a estimativa da rigidez (MOE) e da resistência (MOR). No entanto, observou-se que a resistência ao cisalhamento apresentou um coeficiente de determinação inferior, possivelmente devido à variabilidade intrínseca da madeira e à metodologia de ensaio utilizada.

As hipóteses de que as propriedades mecânicas são diretamente proporcionais à densidade da madeira foram confirmadas parcialmente, com exceção da resistência ao cisalhamento, que apresentou maior variabilidade nos resultados.

A baixa densidade sugere que a madeira de *P. greggii* terá uma baixa propensão a alterações dimensionais no decorrer e após a secagem.

As principais questões da pesquisa foram abordadas de forma satisfatória. Foi possível caracterizar a madeira de *Pinus greggii* em termos de suas propriedades físicas e mecânicas, além de entender a relação entre essas propriedades e a densidade do material. Os dados obtidos permitem inferir a aplicabilidade da madeira de *Pinus greggii* aos 8 anos de idade para usos em que a estabilidade dimensional seja uma característica de interesse.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas.** 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais. Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, Itapeva, 2009.
- BORSATO, R.; **Variação genética em *Pinus greggii* Engelm. e seu potencial para reflorestamento no Sul do Brasil.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 555:** Metodo de Ensayo de Flexión Estática. [S.l]: COPANT, 1973.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 463:** Metodo de determinación del cizallamiento paralelo al grano. [S.l]: COPANT, 1972.
- DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico.** Santa Maria: UFSM/FATEC, 1991. (Série Técnica, 8).
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da Madeira: Retratibilidade.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. (Série Técnica, 10).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190:** projeto de estruturas de madeiras. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil:** estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.
- EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v. 50, n.7/8, p.75-87, 2000.
- FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n. 2/3, p. 65-74, 1971.
- DAL PONTE FILHO, J. L. *et al.* Influência da idade em propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAEF, 7., 2004, Garça. **Anais [...]** Garça: FAEF, 2004. p. 133-138.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007.

LOBÃO, M. S. *et al.* Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, p. 889-894, 2004.

LUCAS FILHO, F. C. Efeito combinado do teor de umidade e da massa específica na resistência e rigidez da madeira de *Pinus elliottii*. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 519-526, 2012.

MEIRELLES, C. M.; PALA, A. Processo Construtivo em Madeira. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2010.

MELCHIORETTO, D; ELEOTÉRIO, J. R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 23., 2003, Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau: FURB, 2003.

MOURA, V. P. G.; SANTIAGO, J. **Densidade básica da madeira de espécies de Pinus tropicais determinada através de métodos não-destrutivos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 1991. (Boletim de Pesquisa, 33).

MUSTEFAGA, E. C. *et al.* Caracterização físico-mecânica da madeira juvenil de Pinus. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 472-481, 2019.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v. 27, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, F. L. de *et al.* Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

PADILHA, E. M. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 13-22, 2003.

REZENDE, M. A. de; ESCOBEDO, J. F. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p.33-40, 1988.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 120-127, 2003.

SHIMIZU, J. Y. **Espécies de Pinus na silvicultura brasileira**. In: SHIMIZU, J. Y. (ed.). *Pinus na silvicultura brasileira*. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 66-67.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

VIVIAN, M. A. *et al.* Avaliação do potencial da madeira de *Pinus greggii* para produção de polpa celulósica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, p. 56-65, 2022.