

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

ENGENHARIA CIVIL

DANILO FRANÇA PINHEIRO

GABRIELLA SANTOS DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA PEROBA-ROSA

APARECIDA DE GOIÂNIA

2019



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Danilo França Pinheiro

Matrícula: 20121090040080

Título do Trabalho: Caracterização Física-Mecânica da Madeira Peroba-Rosa

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo..
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Ap. de Goiânia, 24/07/19.
Local Data

Danilo França Pinheiro
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriella Santos de Carvalho

Matrícula: 20131090040177

Título do Trabalho: Caracterização Físio-mecânica da Madeira Brota-Rosa

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Aparecida de Goiânia, 11 / 07 / 19.
Local Data

Gabriella S. de Carvalho

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

DANILO FRANÇA PINHEIRO
GABRIELLA SANTOS DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA PEROBA-ROSA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil sob orientação do Prof. Alvaro Pereira do Prado Neto.

Orientador: Prof. Alvaro Pereira do Prado Neto

Coorientador: Me. Lucas Furtado da Silva

APARECIDA DE GOIÂNIA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

DANILO FRANÇA PINHEIRO
GABRIELLA SANTOS DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA PEROBA-ROSA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Estruturas sob orientação do Prof. Alvaro Pereira do Prado Neto.

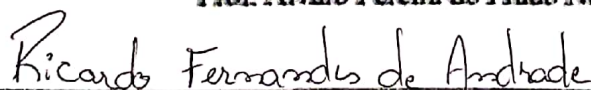
Aprovado em: 17 de junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Alvaro Pereira do Prado Neto
Engenharia Civil
UFPA - Goiânia - GO

Prof. Alvaro Pereira do Prado Neto (Orientador)



Ricardo Fernandes de Andrade

Prof. Me. Ricardo Fernandes de Andrade



Guilherme de Paula Lisboa

Prof. Guilherme de Paula Lisboa

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA PEROBA-ROSA

Danilo França Pinheiro, Instituto Federal de Goiás - IFG
danilofp.eng@gmail.com
Gabriella Santos de Carvalho, Instituto Federal de Goiás - IFG
gabriellasc4@gmail.com
Álvaro Pereira do Prado Neto, Instituto Federal de Goiás - IFG
alvarodoprado@gmail.com
Lucas Furtado da Silva, Instituto Federal de Goiás - IFG
lucas.silva@ifg.edu.br

RESUMO

A madeira é um material que apresenta diversas vantagens tais como um acabamento visualmente atrativo e se tratar de um material sustentável, mas para utilização da madeira em estruturas, esta deve atender aos valores de resistência especificados em projetos. Os métodos de ensaios para determinação das propriedades da madeira são definidos pela norma de Projetos de estruturas de madeira ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). Este trabalho utilizou esses métodos para determinar as propriedades da madeira Peroba-Rosa, *Aspidosperma polyneuron*, com o intuito de verificar a possibilidade de utilização da mesma em estruturas. Foram realizados ensaios de umidade, densidade, compressão paralela e normal às fibras, com corpos-de-prova extraídos de quatro lotes diferentes dessa madeira, todos visualmente sem defeitos. A espécie *Aspidosperma polyneuron* pertence à família Apocynaceae e distribui-se naturalmente pela região Centro-Oeste e amazônica. A madeira apresentou resistência característica à compressão paralela de 50,54 MPa, densidade aparente média de 573 kg/m³ e densidade básica média de 491 kg/m³. Suas características físicas sugerem uma madeira de qualidade normal, relativamente leve em relação a sua resistência. Suas características mecânicas indicam elevada resistência, correspondente à classe C40, podendo ser aplicada em estruturas de médio a grande porte.

Palavras-chave: Estrutura de madeira. Madeira Peroba-Rosa. *Aspidosperma polyneuron*.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil ainda existe um grande preconceito quanto à utilização da madeira na construção civil em elementos estruturais. Isso porque se tem pouco conhecimento desse material, assim como uma carência de projetos específicos e bem elaborados. As construções em madeira são deixadas nas mãos de carpinteiros, que não são qualificados para elaborar projetos, somente para executá-los. Como resultado existem construções em madeira suscetíveis a diversos tipos de patologias, acarretando conceitos equivocados sobre eficiência da madeira como material estrutural. O senso comum na sociedade de que a madeira é um “material fraco” é só mais uma evidência desse desconhecimento.

Considerando a importância do estudo em Estruturas de Madeiras, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade da madeira Peroba-Rosa, cujo nome científico é *Aspidosperma polyneuron*, por meio da caracterização física e mecânica através de ensaios orientados de acordo com a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). Em específico, serão avaliados as resistências características à compressão paralela e à compressão normal às fibras; assim como os valores de umidade, de densidade aparente e de densidade básica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados os principais conceitos necessários para o entendimento desta pesquisa. A revisão bibliográfica expressa as informações para a caracterização da madeira Peroba-Rosa (*Aspidosperma polyneuron*) conforme a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) referente aos ensaios de resistência à compressão.

2.1 Propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas de maior relevância da madeira, de acordo com a utilidade e o aproveitamento, são a massa específica e as propriedades relacionadas com a umidade, contração e inchamento (MOURA, 1986).

Portanto, determinar as propriedades físicas da madeira é fundamental pois estas influenciam significativamente nas resistências e no desempenho para uso estrutural.

2.1.1. Densidade da madeira

Por definição física, a densidade é a quantidade de massa de um material contida na unidade de volume ocupado por ele, geralmente expressa em kg/m^3 , também sendo chamada de massa específica.

A densidade é uma propriedade física fundamental para a caracterização das madeiras utilizadas na construção civil, pois influencia diretamente na resistência. Está varia dependendo da espécie de madeira, por cada uma possuir uma parte sólida (lenhosa), uma parte líquida (água) e vazios celulares (CALIL, 2003).

A ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) destaca duas densidades utilizadas para estruturas de madeira. A primeira sendo a densidade básica, que é definida como a massa específica convencional obtida da relação entre o peso seco e o volume saturado. A segunda, densidade aparente, é utilizada para classificação da madeira e dos cálculos estruturais de acordo com uma umidade padrão de teor igual a 12%, sendo definida pelo quociente do peso e volume do material para este teor de umidade.

2.1.2. Teor de umidade

O processo de secagem da madeira deve ser realizado de maneira controlada para reduzir a retração, ataque por agentes externos e garantir o controle de defeitos visuais, como fendas. Portanto, as propriedades físicas e mecânicas da madeira se relacionam diretamente com o teor da umidade (Logsdon e Calil Junior, 2002; Glass e Zelinka, 2010).

A madeira, por ter um comportamento higroscópico, troca com facilidade sua umidade com o ambiente até atingir o equilíbrio. Ao absorver a umidade, suas dimensões tendem a aumentar causando inchaço; ao liberar a umidade, suas dimensões diminuem causando retração na peça. Portanto, o teor de umidade é influenciado pela umidade relativa do ambiente em que este está alocado.

Pela grande influência da umidade em outras propriedades da madeira, é definido normalmente um teor de umidade-padrão. Nos Estados Unidos e no Brasil, esta umidade-padrão de referência é adotada sendo 12% (PFEIL, 2003).

2.2 Propriedades Mecânicas da Madeira

Quando a madeira é solicitada por forças externas, seu comportamento é determinado através das propriedades mecânicas de rigidez e de resistência (CALIL, 1999). Estas propriedades são importantes para a aplicação das madeiras em elementos estruturais, sendo necessários ensaios padronizados descritos no Anexo B da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) para estabelecer o desempenho da espécie analisada no uso em estruturas. De acordo com

MOURA (1986), duas características da madeira têm maior influência na capacidade de resistência a forças externas, sendo essas a densidade e o teor de umidade.

As propriedades elásticas são responsáveis pela capacidade do material em retornar a sua forma original depois que cargas externas são retiradas, sem que se observe uma deformação residual. Conforme CALIL (1999) expõe, pode-se dizer que a madeira, mesmo não sendo um material elástico ideal, apresentando deformação residual, pode considerada um material elástico para a maior parte dos propósitos estruturais.

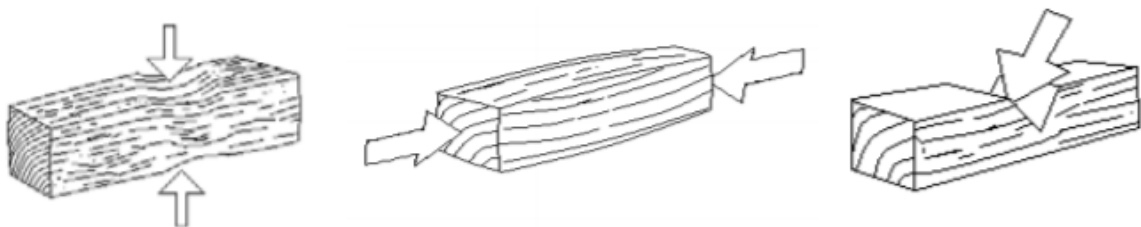
As propriedades de resistência retratam as resistências suportadas do material quando este for solicitado por forças externas, sendo que as resistências estão diretamente ligadas a densidade do material. Assim, para madeiras com densidades maiores a tendência é que apresentem resistências mais elevadas, contudo são observadas variações dessa propriedade em madeiras de espécies diferentes, mas com valores de densidade equivalentes.

2.2. Comportamento da madeira à compressão

A resistência à compressão é a capacidade do material em resistir esforços axiais que tendem a diminuir as dimensões levando à ruptura do material. A ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) apresenta as metodologias de obtenção dos valores de resistência à compressão paralela e normal às fibras em madeiras, sendo que a maior resistência está direcionada paralelamente às fibras.

Para CALIL (1999), a madeira pode ser submetida a três tipos de solicitações na compressão, sendo nas direções normal (comprimindo perpendicularmente), paralela (diminuição das células ao longo do eixo longitudinal) ou inclinada (atuando nas duas direções) conforme a orientação das fibras (Figura 1).

Figura 1 – Direção das solicitações dos esforços de compressão, normal, paralela ou inclinada em relação às fibras.



Fonte: RITTER, 1990 apud CALIL, 1999.

Como dito anteriormente, na compressão paralela às fibras é demonstrada uma resistência maior. Isso porque forças que estão sendo aplicadas agem no mesmo sentido das fibras da madeira. Desta forma, esta orientação deve ser preferencialmente adotada quando do dimensionamento de elementos estruturais essencialmente submetidos à compressão, como alguns pilares, por exemplo.

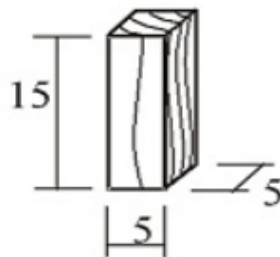
Na compressão normal às fibras, acontece a diminuição dos vazios entre as fibras causada pela compactação, o que provoca o esmagamento da peça nessa direção. A relação dos valores exibidos pela madeira na compressão paralela às fibras é em torno de quatro vezes os valores apresentados na resistência à compressão normal às fibras. (CALIL, 2003).

3. METODOLOGIA

O material para a confecção dos corpos-de-prova a serem submetidos nos ensaios foi coletado de escoras de madeiras da espécie *Aspidosperma polyneuron* fornecida por uma madeireira. Preferiu-se a coleta em quatro lotes distintos de madeiras para a maior variabilidade e confiabilidade nos resultados.

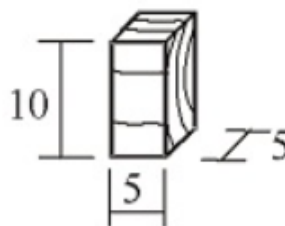
Para a elaboração dos corpos-de-provas que levam-se em consideração as formas, dimensões e as direções das fibras conforme a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). Para a determinação das propriedades físicas da madeira, teor de umidade, densidades básica e aparente, moldaram-se corpos-de-prova com dimensões de 2 x 3 x 5 cm (tangencial x radial x longitudinal). Para os ensaios mecânicos, utilizaram-se amostras com dimensões de 5 x 5 x 15 cm (tangencial x radial x longitudinal) e 5 x 5 x 10 cm (tangencial x radial x longitudinal) para as determinações de resistência à compressão paralela e normal às fibras, respectivamente, conforme é possível se observar nas Figuras 2 e 3. Para cada tipo de ensaio foram retirados 21 corpos-de-prova, quantidade superior à mínima prevista na ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) de 6 corpos-de-prova para caracterização simplificada e de 12 corpos-de-prova para caracterização de espécies pouco conhecidas.

Figura 2 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.



Fonte: SORIANO, 2011.

Figura 3 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão normal às fibras.



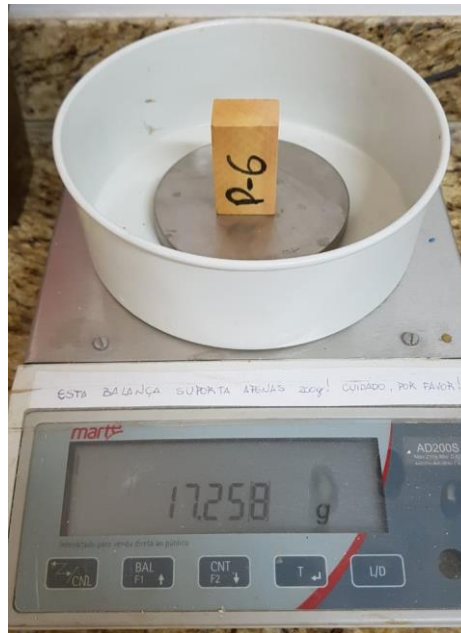
Fonte: SORIANO, 2011

3.1 Propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas da madeira foram determinadas de acordo com as especificações da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) para caracterização simplificada da madeira. Os ensaios foram realizados no Complexo Tecnológico da Engenharia Civil (CTEC) localizado no IFG/Câmpus Aparecida de Goiânia.

Para os ensaios de teor de umidade determinou-se a massa inicial individual de 12 corpos-de-prova de 2 x 3 x 5 cm em balança com exatidão de 0,01 g (Figura 4).

Figura 4 – Determinação da massa de corpo-de-prova para ensaio de teor de umidade e densidade básica.



Fonte: Próprios autores.

Com as massas iniciais determinadas, colocou-se os corpos-de-prova na estufa de secagem com temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. No decorrer do processo de secagem, a massa dos corpos-de-prova devem ser medidos a cada 6 horas, até que ocorra uma variação entre a massa anterior e a massa seca menor ou igual a 0,5%. No ensaio realizado, este critério foi atendido na quarta pesagem.

O teor de umidade da madeira é calculado através da seguinte equação:

$$U\% = \left(\frac{M_i - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

$U(\%)$ = Teor de umidade da madeira;

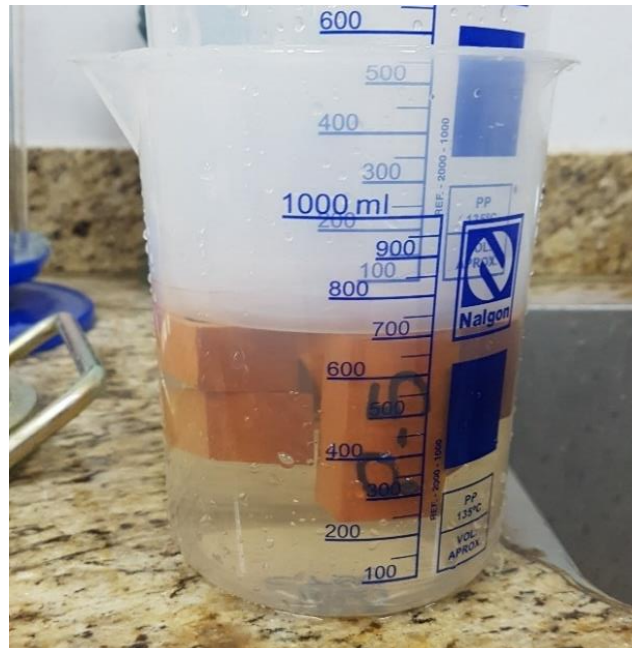
M_i = Massa inicial da madeira, em gramas;

M_s = Massa da madeira seca, em gramas.

A densidade aparente é dada pela razão entre massa e o volume de cada corpo-de-prova de $2 \times 3 \times 5\text{ cm}$. Para este ensaio a norma exige que a umidade de todos os corpos-de-prova seja de 12%, porém não foi possível obter essa umidade. Sendo assim, os valores de densidade aparente desse trabalho foram alcançados com a umidade presente inicialmente na madeira no momento em que foi moldado os corpos-de-prova, essa umidade é igual à calculada pela equação 1. O ensaio foi realizado medindo-se a massa das amostras em balança digital com precisão de 0,01 g e em seguida foi tomada as dimensões através de um paquímetro digital de 0,01 mm de precisão.

No processo de determinação da densidade básica, as amostras foram saturadas após a imersão em água como mostra a Figura 5, até que atingissem massa saturada ou variação máxima de 0,5% em relação à massa anterior, posteriormente o volume foi determinado por meio das medidas dos lados da seção transversal e pelo comprimento utilizando um paquímetro com precisão de 0,01 mm conforme a Figura 6.

Figura 5 – Corpos-de-prova saturados para determinação da densidade básica.



Fonte: Próprios autores.

Figura 6 – Determinação das dimensões dos corpos-de-prova com paquímetro para determinação da densidade básica.



Fonte: Próprios autores.

Recorrendo a massa seca anteriormente utilizada na obtenção do teor de umidade, a massa específica básica foi determinada ao dividir a massa seca do corpo-de-prova pelo volume saturado.

3.2 Propriedades mecânicas da madeira

Os ensaios de compressão paralela e normal às fibras foram realizados na máquina universal de ensaios mecânicos (modelo EMIC DL 20.000), a uma velocidade de carregamento de 10 MPa/min. O procedimento de ensaio foi de acordo com a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

Figura 7 – Corpo-de-prova preparado para o ensaio de compressão paralela à fibras.



Fonte: Próprios autores.

Obtém-se a resistência à compressão paralela às fibras ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) pela máxima força de compressão ($F_{c0,máx}$) exercida em um corpo-de-prova de seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento pela área da seção transversal (A). A realização do ensaio é apresentada na Figura 7. A resistência à compressão paralela às fibras é dada por:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A} \quad (2)$$

Após obter os valores da máxima tensão de compressão que pode atuar em cada corpo-de-prova, é determinado o valor característico da resistência à compressão paralelo às fibras $f_{c0,k}$ pela Equação 3:

$$f_{c0,k} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (3)$$

Os valores de resistência foram colocados em ordem crescente ($f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$). No caso do número de corpos-de-prova ser ímpar, descartou-se o maior valor. Corrigiram-se os valores obtidos das resistências para umidade padrão de referência de 12% através da Equação 4, de acordo com a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$f_{12} = f_{u\%} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (U\% - 12)}{100} \right) \quad (4)$$

Onde, f_{12} é a resistência corrigida para o teor de umidade de 12%, $f_{u\%}$ é a resistência obtida através do ensaio de compressão e $U\%$ é o teor de umidade da madeira no instante do ensaio.

A resistência à compressão normal às fibras é obtido através do diagrama de tensão x deformação gerado pelo programa utilizado na máquina universal de ensaios. Onde a resistência à compressão normal às fibras ($f_{wc,90}$ ou f_{c90}) é o valor dado pela deformação específica residual de 2%.

O valor característico da resistência à compressão normal às fibras $f_{c90,k}$ do corpo-de-prova é dado por:

$$f_{c90,k} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (5)$$

A resistência foi dada nos ensaios de compressão com duração total de 3 a 8 minutos. O corpo-de-prova foi ajustado na máquina de ensaio utilizando uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova como pode ser observado na Figura 8. A resistência é determinada com carregamento monotônico crescente e com uma taxa de aproximadamente 10 MPa/min.

Figura 8 – Corpo-de-prova após a ruptura no ensaio de compressão normal à fibras.



Fonte: Próprios autores.

3.3 Análise dos resultados

Com os resultados das propriedades físicas da madeira, massa específica básica e aparente, umidade, foram realizados cálculos estatísticos simples, em que os valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação foram determinados.

Para as propriedades mecânicas da madeira determinadas pelos ensaios de compressão paralela e normal às fibras, adotou-se o valor característico das resistências, calculado a 12% de umidade através da correção do teor de umidade conforme estipulado pela ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) e dado pela equação 4. Posteriormente, os resultados foram através de cálculos estatísticos, determinando-se os valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação.

4. RESULTADOS

A madeira de Peroba-Rosa (*Aspidosperma polyneuron*) analisada apresentou massa específica aparente de $0,573 \text{ g cm}^{-3}$ (573 kg m^{-3}), com coeficiente de variação 1,6% conforme a Tabela 1. O resultado para a massa específica básica foi de $0,491 \text{ g cm}^{-3}$ (491 kg m^{-3}), com coeficiente de variação de 1,74%.

O teor de umidade médio das amostras analisadas foi de 9,74%, com coeficiente de variação de 3,66%. De acordo com a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997), a umidade de referência deve ser de 12%, portanto, necessitando a correção dos valores de resistência conforme a norma citada.

Em relação à estabilidade dimensional da madeira, obteve-se a variação volumétrica média

que analisa as dimensões do corpo-de-prova nos estados saturado e seco. Foi verificada variação volumétrica de 9,98%, com coeficiente de variação de 6,07%.

Tabela 1 – Densidade aparente, densidade básica e umidade da madeira de *Aspidosperm apolyneuron*.

Valores	Umidade	Variação volumétrica	Densidade Básica	Densidade Aparente
	U (%)	ΔV (%)	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
Nº corpos-de-prova	12	12	12	12
Máxima	10,21	10,57	500,56	589,89
Mínima	9,40	9,23	476,73	564,90
Média	9,74	9,98	490,50	572,73
Desvio Padrão	0,36	0,61	8,54	9,16
CV (%)	3,66	6,07	1,74	1,60

Fonte: Próprios autores.

Os valores característicos de resistência à compressão paralela e normal às fibras da madeira de *Aspidosperm apolyneuron* obtido nos ensaios e o valor corrigido para umidade de 12%, estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores mínimos, máximos e médios obtidos na resistência à compressão paralela e normal às fibras.

Valores	fc0 (MPa)	fc0,k (MPa)	fc90 (MPa)	fc90,k (MPa)
Máximo	75,38	70,86	32,88	30,91
Mínimo	49,26	46,30	11,51	10,82
Média	63,24	59,45	17,97	16,89
Valor Característico	-	50,64	15,44	12,64
Desvio Padrão	7,97	7,49	5,68	5,34
CV (%)	12,61	12,61	31,64	31,64

fc0 = resistência à compressão paralela às fibras; fc0,k = resistência à compressão paralela às fibras corrigida; fc90 = resistência à compressão normal às fibras; fc90,k = resistência à compressão normal às fibras corrigida; CV% = coeficiente de variação.

Fonte: Próprios autores.

A tabela 3 apresenta todos os valores obtidos pelos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão normal e os valores das resistências corrigidas para umidade de 12%, dos 21 corpos-de-prova.

Tabela 3 – Diagrama das resistências de compressão paralela às fibras.

Corpo de Prova	Resistência à Compressão Paralela às Fibras		Resistência à Compressão Normal às Fibras	
	fc0 (MPa)	fc0,k (MPa)	fc90 (MPa)	fc90,k (MPa)
1	70,09	65,88	14,95	14,05
2	72,10	67,77	13,53	12,72
3	75,38	70,86	13,42	12,61
4	71,41	67,13	12,38	11,64
5	64,68	60,80	14,88	13,99
6	73,00	68,62	20,79	19,54
7	63,31	59,51	13,63	12,81
8	49,53	46,56	15,36	14,44
9	71,33	67,05	11,51	10,82
10	54,74	51,46	14,06	13,22
11	49,26	46,30	21,18	19,91
12	62,17	58,44	19,82	18,63
13	56,60	53,20	20,32	19,10
14	58,58	55,07	24,88	23,39
15	57,91	54,44	28,86	27,13
16	53,75	50,53	14,50	13,63
17	64,00	60,16	19,03	17,89
18	58,06	54,58	32,88	30,91
19	61,73	58,03	14,23	13,38
20	69,58	65,41	22,39	21,05
21	70,83	66,58	14,69	13,81

fc0 = resistência à compressão paralela às fibras; fc0,k = resistência à compressão paralela às fibras corrigida; fc90 = resistência à compressão normal às fibras; fc90,k = resistência à compressão normal às fibras corrigida.

Fonte: Próprios autores.

O resultado do valor característico corrigido para a resistência paralela às fibras em média foi de 50,64 MPa, enquanto para a resistência normal às fibras foi de 12,64 MPa. Logo, considerando-se o valor da resistência, a madeira pode ser classificada como C40 nas classes de resistência de espécies dicotiledôneas, de acordo com a Tabela 9 da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). As classes de resistência especificados na norma têm como finalidade a padronização na utilização da madeira, necessária para a escolha do material a ser empregado em estruturas.

O material apresentou um coeficiente de variação razoável de 12,61% na resistência paralela às fibras. PFEIL (2003) cita que a madeira por ser um material natural, está sujeita a sofrer variações nas suas propriedades mecânicas por diversos fatores ambientais, como nós, inclinação das fibras, rachaduras, defeitos de secagem, entre outros que podem afetar na constância dos resultados.

5. CONCLUSÕES

A madeira de Peroba-Rosa mostrou resultados, que demonstraram não só uma resistência alta como também uma baixa densidade, o que é uma vantagem principalmente na construção de estruturas, pois reduz bastante o peso próprio da mesma. Em comparação com outras madeiras que apresentam valores de resistência média (observados na tabela E.2 da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997)) próximos às resistências obtidas nos ensaios desse trabalho, a madeira peroba-rosa é significativamente mais leve. Observando os resultados dos ensaios foi possível confirmar, conforme dito por CALIL (2003), que a resistência à compressão paralela às fibras é quatro vezes maior que a resistência normal às fibras.

Para orientação na elaboração de projetos de estruturas de madeira a Norma de Estruturas de Madeira (ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997)) estabelece quatro classes de resistência para as madeiras dicotiledôneas com propriedades padronizadas - C 20, C 30, C 40 e C 60. Entre essas classes de resistência apresentadas na Tabela 9 da norma a madeira de Peroba-Rosa se enquadra na classe C 40.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190: Projeto de estruturas em madeira: procedimento**. Rio de Janeiro: 1997.
- CALIL, C. J., DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.
- GLASS, S.V.; ZELINKA, A.L. 2010. **Moisture relations and physical properties of wood**. General Technical Report FPL- GTR. 190: 20 pp.
- MOURA, L. F. B. de, **Manual do Técnico Florestal**. Apostila do Colégio Florestal de Irati, 4 vol. Ilust, Campo Largo, Ingra S/A, 1986.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. 6. ed.. Rio de Janeiro: LTC. 2003.
- SORIANO, J., GONÇALVES, R., BERTOLDO, C.; TRINCA, A. J.. **Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de eucalipto saligna sm**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.3, p.322–328, 2011.
- LOGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. **Influência da Umidade nas Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, v. 18, p. 77-107, 2002.