



I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Pinus patula* Schltld. & Cham.

Camila Alves Corrêa¹, Karina Soares Modes², Kelvin Zén³, Magnos Alan Vivian⁴

¹UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: c.alves@grad.ufsc.br ²UFSC.

Resumo: O Estado de Santa Catarina tem a segunda maior área com plantações do gênero *Pinus* no Brasil, porém apenas duas espécies de *Pinus* são amplamente utilizadas no Estado, o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*. Para ampliar as opções de matéria prima disponível para a indústria e diversificar a base florestal, outras espécies com características de interesse devem ser estudadas. O presente estudo teve como objetivo determinar a resistência (módulo de ruptura) e rigidez (módulo de elasticidade) da madeira de *P. patula* ao ensaio de flexão estática sob duas condições de umidade. Para a realização do estudo foram utilizadas árvores da espécie oriundas de um povoamento localizado no município de Ponte Alta do Norte – SC. Os corpos de prova foram separados em dois lotes de 30 peças cada, sendo um deles composto por peças mantidas imersas em água para saturação e o outro de peças climatizadas a 20°C e 65% de umidade relativa. Os valores médios de MOE e MOR para madeira seca foram iguais a 7.379 N/mm² e 51,28 N/mm² respectivamente, propriedades mecânicas superiores à madeira verde, que obteve 5.464,7 N/mm² e 25,67 N/mm² para MOE e MOR respectivamente. A informação referente a densidade da madeira como indicativo da resistência deve ser tomada de forma criteriosa uma vez que, com o aumento da umidade, há um aumento da densidade aparente e uma redução na resistência e rigidez da madeira, conforme observado no presente estudo.

Palavras-chave: densidade, espécie alternativa, qualidade da madeira.

INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina tem a segunda maior área com plantações do gênero *Pinus* no Brasil, representando 34% do total de 1,6 milhões de hectares (IBÁ, 2019), portanto, este gênero tem um papel fundamental como matéria prima no abastecimento da indústria de base florestal.

Apenas duas espécies de *Pinus* são amplamente utilizadas em Santa Catarina, o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*. Para ampliar as opções de matéria prima disponível para a indústria e diversificar a base florestal, outras espécies com características de interesse devem ser estudadas. Dentre as espécies de coníferas com crescimento equivalente as de uso tradicional, destaca-se o *Pinus patula* Schltld. & Cham., por sua boa adaptação em locais de clima temperado.

P. patula é uma espécie de origem mexicana, de grande valor como produtora de madeira para processamento mecânico e de alto rendimento em celulose, cultivada com sucesso em alguns países andinos e na África (SHIMIZU, 2008). No Brasil, o melhor desenvolvimento do *P. patula* ocorre em regiões de altitude elevada (1.000 m ou mais) como na Serra da Mantiqueira, no Nordeste do estado de São Paulo, Oeste de Santa

Realização:





I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

Catarina e Nordeste do Rio Grande do Sul, onde, devido as condições favoráveis, apresenta produtividade maior que a do *Pinus taeda* (PEREIRA, 2014).

Contudo, considerando a importância do gênero *Pinus* para o Estado e visando a diversificação da base florestal, é importante a realização de estudos que verifiquem a qualidade da madeira produzida desta espécie. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo determinar a resistência e rigidez da madeira de *P. patula* ao ensaio de flexão estática sob duas condições de umidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram utilizadas duas árvores da espécie *Pinus patula* Schltl. & Cham. oriundas de um desbaste realizado em um povoamento com 15 anos de idade, localizado no município de Ponte Alta do Norte – SC. O clima da região é identificado como Cfb (clima temperado úmido com verão temperado) de acordo com a classificação de Köppen, com chuvas uniformemente distribuídas durante todo o ano (WREGE, 2012).

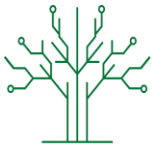
A primeira tora de cada árvore foi amostrada, com comprimento de 2,0 m e diâmetro médio de 20,3 cm. Estas foram desdobradas, por meio de uma serra de fita, obtendo-se uma prancha diametral, com cerca de 8,0 cm de espessura e largura correspondente ao diâmetro da tora, onde foi distribuída a alocação dos corpos de prova para a determinação das propriedades mecânicas da madeira. Os corpos de prova tinham dimensão de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal de acordo com a norma COPANT 555 (1972). O material foi dividido em dois lotes de 30 peças cada um. Os corpos de prova do primeiro lote foram submetidos a imersão em água até o ponto de saturação das fibras (PFS). O segundo lote foi mantido sob condicionamento em câmara climática com temperatura e umidade relativa ajustada para $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 3\%$, respectivamente, a fim de atingir a umidade de equilíbrio higroscópico (12% de umidade).

Avaliou-se a massa das amostras de ambos os lotes até a estabilização, em seguida os corpos de prova foram pesados em balança analítica e tiveram seus sentidos anatómicos mensurados com paquímetro digital para a determinação do volume, posteriormente, calculou-se a densidade aparente do material nas duas condições de avaliação, ou seja, a 12% de umidade e da madeira verde para posterior correlação com a resistência mecânica e a rigidez da madeira. Após os ensaios, o material dos dois lotes foi submetido à secagem em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ para cálculo dos teores de umidade. Com base nas informações de volume da madeira verde e respectiva massa da madeira seca em estufa, foi calculada a densidade básica do material para fins de caracterização.

Os testes foram realizados em máquina universal de ensaios mecânicos, com capacidade de 30 toneladas existente no Laboratório de Recursos Florestais II da UFSC, no campus de Curitibanos (SC). A metodologia de execução do ensaio de flexão estática foi conduzida segundo a norma COPANT 555 (1972). A rigidez da madeira, expressa pelo módulo de elasticidade (MOE), foi determinada pela equação 1 e a resistência da madeira (MOR) ao esforço de flexão ao longo do comprimento do corpo de prova foi determinada pela equação 2.

Realização:





I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{(P_2 - P_1)}{(L_2 - L_1)} \times \frac{L^3}{b \cdot h^3} \quad (1)$$

Sendo: MOE = módulo de elasticidade (N/mm²); P = carga registrada na zona linear do gráfico “carga x deformação” (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); d = deformação correspondente a carga registrada na zona linear do gráfico “carga x deformação” (mm).

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{\text{máx}} \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (2)$$

Sendo: MOR = módulo de ruptura (N/mm²); P_{máx} = carga máxima, antes da ruptura (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).

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas da madeira submetida às duas condições de umidade foram avaliados por meio de estatística descritiva e correlação de Pearson utilizando o pacote Microsoft Excel 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 constam os valores mínimos, máximos e médios das propriedades mecânicas e físicas avaliadas para a madeira submetida às duas condições de umidade, e o respectivo desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 1 – Valor máximo, mínimo, médio da carga máxima (N), Módulo de elasticidade (MOE), Módulo de ruptura (MOR), Densidade Aparente (DA), Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV) da madeira de *Pinus patula*, nas condições, climatizada (12%) e verde.

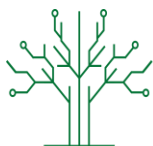
	Madeira seca				Madeira verde			
	Carga máxima (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	DA (kg.cm ⁻³)	Carga máxima (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	DA (kg.cm ⁻³)
Máximo	1257,5	9.998,16	67,20	490	669,1	7.057,78	18,69	1.110
Mínimo	737,7	5.276,71	38,70	320	388,8	3.501,28	33,56	890
Média	998,9	7.379,01	51,28	390	529,8	5.464,78	25,67	1.040
DP	141,3	1.267,80	7,56	0,05	78,63	947,19	4,04	0,06
CV (%)	14,15	17,18	14,73	11,88	14,89	17,33	15,80	5,67

DP=Desvio padrão; MOE= Módulo de elasticidade; MOR= Módulo de ruptura; DA=Densidade aparente CV= Coeficiente de Variação.

Como pode-se verificar na Tabela 1, para os parâmetros avaliados, com exceção da densidade aparente, a madeira seca apresentou propriedades mecânicas de flexão estática superiores em relação à madeira verde. Observa-se ainda que os coeficientes de variação para as propriedades avaliadas de ambos os lotes foram similares entre si, com exceção da densidade aparente, cujo valor foi superior para a madeira climatizada (CV=11,88%), o que pode ser atribuído a diferenças no teor de umidade entre os corpos de prova após estabilização de massa em câmara climática.

Realização:





I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

Observa-se que a propriedade mecânica mais influenciada pelo teor de umidade foi o módulo de ruptura (MOR), com a madeira seca apresentando um valor superior em

99,76% à madeira verde, seguido da carga máxima, superior em 88,54% e do módulo de elasticidade (MOE), 35,02%. Stangerlin *et al.* (2010) em estudo avaliando a influência do teor de umidade na resistência e rigidez da madeira de *Carya illinoensis* verificaram que a presença de água na madeira reduziu substancialmente os valores de elasticidade e resistência. Lucas Filho (2012) estudando a influência do teor de umidade na resistência e rigidez da madeira de *P. elliotii*, observou que o módulo de elasticidade (MOE) aumentou em menor proporção que o módulo de ruptura (MOR), indicando que a variação do teor de umidade afeta mais significativamente a resistência do que a elasticidade da madeira. Portanto, o comportamento verificado para a espécie *P. patula* com relação à mesma influência está de acordo com a literatura consultada.

Tabela 2 – Correlações de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

	DA	DB	TU	CM	MOE	MOR
DA	1	0,65	0,97	-0,85	-0,59	-0,86
DB*	0,65	1	-0,81	0,83	0,60	0,81
TU	0,97	-0,81	1	-0,91	-0,68	-0,91
CM	-0,85	0,83	-0,91	1	0,81	0,99
MOE	-0,59	0,60	-0,68	0,81	1	0,81
MOR	-0,86	0,81	-0,91	0,99	0,81	1

*Correlação considerando o valor da densidade básica calculada apenas pelo lote submetido à saturação. DA= Densidade aparente; DB= Densidade básica; TU= Teor de umidade; CM= Carga máxima; MOE= Módulo de elasticidade; MOR= Módulo de ruptura.

Observa-se na Tabela 2 uma correlação inversamente proporcional entre as propriedades mecânicas avaliadas, com o teor de umidade e densidade aparente, ou seja, com o aumento do teor de umidade e da densidade aparente, houve uma redução dos valores das propriedades mecânicas avaliadas. A influência negativa do teor de umidade sobre as propriedades mecânicas da madeira já é consenso na literatura. É de conhecimento que o aumento do teor de umidade na faixa higroscópica torna a madeira menos resistente às solicitações mecânicas e pequenas deformações elásticas aplicadas por determinado período de tempo tornam-se plásticas.

Como pode-se verificar a correlação entre o teor de umidade e a resistência da madeira (-0,91) foi maior em relação à mesma correlação com o módulo de elasticidade (-0,68), comportamento também observado por Lucas Filho (2012).

A correlação foi positiva entre as propriedades mecânicas e a densidade básica, no geral, quanto maior a densidade básica da madeira maiores serão seus parâmetros de resistência (MOR) e rigidez (MOE), isso pode ser explicado porque as propriedades mecânicas estão correlacionadas com a densidade básica, a qual, por sua vez, também está correlacionada com as dimensões das células. A alta correlação negativa (-0,81) entre a densidade básica que correspondeu a um valor médio de 0,33 g/cm³ e o teor de umidade é um indicativo de que o aumento da densidade básica do material conduz a

Realização:





I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

uma redução do teor de umidade máximo da madeira em função de sua menor porosidade.

CONCLUSÃO

As propriedades mecânicas avaliadas foram superiores para a madeira seca em relação à madeira verde, com o módulo de ruptura superior em 99,76% à madeira verde, seguido da carga máxima, superior em 88,54% e do módulo de elasticidade, 35,02%. A resistência da madeira apresentou maior correlação com o teor de umidade quando comparada com a rigidez, demonstrando ser mais sensivelmente afetada por alterações no conteúdo de água da madeira.

AGRADECIMENTOS

À empresa FRP Florestal pela doação das toras de *Pinus patula* utilizadas na confecção dos corpos de prova avaliados na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: método de ensayo de flexión estática. COPANT 555, 1972.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual 2019. Brasília, 2019. Disponível em: < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf> > Acesso em: 30 jul. 2020.

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

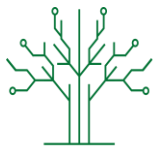
PEREIRA, G. F.; Comparação das propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus patula* e *Pinus* sp. de origem industrial. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC, 2014.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. Pínus na Silvicultura Brasileira: 1.ed. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

STANGERLIN, D. M. *et al.* Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 70-79, 2010.

Realização:





I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

WREGGE, M. S. *et al.* Atlas climático da região Sul do Brasil: Estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

Realização:

