

Kélvyn Zen

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

Curitibanos

2018



Kélvim Zen

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dra. Karina Soares Modes

Curitibanos

2018

Zen, Kélvín
Influência do Teor de Umidade na Resistência e Rigidez da
Madeira de Pinus patula schltl. & cham / Kélvín Zen
; orientador, Karina Soares Modes, 2018.
23 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em
Engenharia Florestal, Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

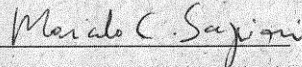
1. Engenharia Florestal. 2. Teor de Umidade . 3.
Resistência . 4. Rigidez . 5. Pinus patula. I. Soares Modes,
Karina . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação
em Engenharia Florestal. III. Título.

Kélvyn Zen

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

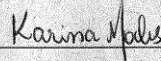
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora

Curitiba, 28 de novembro de 2018.

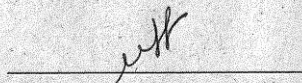


Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Profª. Karina Soares Modes, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Profª. Mônica Aparecida Aguiar dos Santos, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Um dos gêneros mais utilizados para o plantio de florestas é o *Pinus*, por possuir rápido crescimento e madeira com ampla aplicação na indústria moveleira e construção civil. Sendo assim, esta particularidade é importante o estudo de espécies alternativas de coníferas com vistas a sua introdução nos mesmos segmentos industriais de espécies do gênero *Pinus* de uso tradicional e consolidado. No estado de Santa Catarina são registradas taxas satisfatórias em relação a produção de madeira da espécie *Pinus patula* Schltdl. & Cham., diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades de resistência e rigidez da madeira de *P. patula* submetida a duas condições de umidade. Os ensaios foram realizados por meio de corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30 cm, sendo a última dimensão no sentido da grã, que foram separados em dois lotes de 30 peças cada um, sendo um deles a madeira mantida imersa em água para máxima saturação (madeira verde) e no outro climatizado a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa (madeira seca). Os resultados obtidos indicaram um aumento da carga máxima, resistência e rigidez, da madeira climatizada em relação à madeira saturada, sendo esta maior para a resistência (MOR) (99,76% superior). O coeficiente de correlação simples indicou covariação inversamente proporcional entre as propriedades mecânicas avaliadas e a densidade aparente e teor de umidade. A presença de água na estrutura anatômica da madeira embora tenha promovido um aumento nos valores de densidade aparente dos corpos de prova, tornou os mesmos mais frágeis e flexíveis, sendo a secagem, portanto uma etapa fundamental para agregação de valor à madeira.

Palavras chaves: *Pinus sp.* Teor de umidade. Resistência. Rigidez

ABSTRACT

One of the most used genera for the planting of forests is the *Pinus*, for having fast growth and wood with wide application in the furniture industry and civil construction. Considering this particularity, it is important to study alternative species of conifers with a view to their introduction into the same industrial segments of species of the *Pinus* genus of traditional and consolidated use. In the state of Santa Catarina, satisfactory rates are registered in relation to the production of wood of the species *Pinus patula* Schltdl. The objective of this work was to evaluate the resistance and rigidity properties of *P. patula* wood subjected to two moisture conditions. The tests were performed by means of specimens with dimensions of 2.0 x 2.0 x 30 cm, the last dimension being in the direction of grain, which were separated into two batches of 30 pieces each, one of them being wood kept in water for maximum saturation (green wood) and in the other one conditioned at 20°C temperature and 65% relative humidity (dry wood). The obtained results indicated an increase in the maximum load, strength and stiffness, of the dry wood in relation to the saturated wood, which is higher for the resistance (MOR) (99.76% higher). The simple correlation coefficient indicated inversely proportional covariation between the mechanical properties evaluated and the apparent density and moisture content. The presence of water in the anatomical structure of the wood although it promoted an increase in the values of apparent density of the specimens, made them more fragile and flexible, being the drying, therefore a fundamental stage for value aggregation to the wood.

Key words: *Pinus*. Moisture content. Resistance. Stiffness.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo geral	16
1.2	Objetivos específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Pinus patula</i> Schltl. & Cham.....	17
2.2	Influência da umidade e massa específica na resistência mecânica	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor brasileiro florestal tornou-se um dos mais relevantes na esfera global. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017) os 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas existentes em 2016 são responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País.

A fim de ampliar as opções de matéria prima disponível nos dias atuais e reduzir a pressão sobre as espécies de uso tradicional e o desmatamento das florestas nativas, pode-se destacar dentre as espécies de coníferas e com crescimento equivalente o *Pinus patula*, originário do México.

No Brasil, o melhor desenvolvimento do *Pinus patula* ocorre em regiões de altitude elevada (900 m ou mais) como na Serra da Mantiqueira, no Nordeste do estado de São Paulo, Sudeste de Minas Gerais, Sudoeste do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Nordeste do Rio Grande do Sul, onde apresenta produtividade maior que a do *Pinus taeda* (PEREIRA, 2014).

Para Klock (2000) o emprego intensivo da madeira para fins industriais, só pode ocorrer a partir do estudo adequado de suas propriedades. Desta forma Oliveira (2007) destaca que as propriedades físicas e mecânicas da madeira fornecem várias informações para tornar seu uso adequado, seja ela utilizada como matéria prima para a indústria moveleira ou civil.

Segundo Lisboa (1993) a eficiência na utilização de um material, principalmente para fins estruturais, está condicionada ao conhecimento de suas propriedades físico-mecânicas, tanto no que se refere aos aspectos de segurança, quanto aos de economicidade. Sendo assim, a madeira merece especial destaque, em razão da grande variabilidade que suas propriedades apresentam em comparação com as de outros materiais, da sua adequabilidade a inúmeras utilizações e da enorme variedade de espécies existentes.

Para a avaliação da qualidade da madeira, entre os ensaios mecânicos realizados, destaca-se a flexão estática. Para Moreschi (2010) a propriedade mecânica de flexão estática se refere a forma em que a madeira possui ao ser submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo de promover seu flexionamento. Para fins práticos, a madeira, até certo ponto, apresenta característica elástica, em que se for cessada a força que a deforma, ela ainda terá capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que ela deixa de ser elástica, a madeira passa a ser plástica, portanto, perdendo sua capacidade de retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada.

Existem diversos fatores que podem influenciar as propriedades mecânicas, entre elas estão a deterioração do material, a composição química, as propriedades anatômicas, a forma e as dimensões das peças, o ângulo de inclinação das fibras, a temperatura, o teor de umidade e a massa específica.

Conforme Kollmann (1959) a massa específica é uma das variáveis que oferece mais conhecimento sobre uma dada espécie, visto que influencia consideravelmente diversas propriedades, sendo utilizada para qualificação das madeiras.

Outro fator importante na qualificação é o teor de umidade, uma vez que o conteúdo de umidade nas árvores, dependendo da espécie e tipo de madeira, pode ser elevado. Em geral, após o abate da árvore, a madeira demonstra teores de umidade que podem oscilar entre 40 e 140%. A presença de água na madeira modifica substancialmente os valores de resistência mecânica da mesma. Segundo Freitas (1982), em cada tipo de esforço mecânico, há uma redução da resistência com o aumento do teor de umidade, até que o ponto de saturação das fibras seja alcançado.

1.1 **Objetivo geral**

Determinar a resistência e rigidez da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham ao ensaio de flexão estática sob duas condições de umidade.

1.2 **Objetivos específicos**

Verificar a influência do teor de umidade na condição de saturação e climatização a 12% de umidade de equilíbrio na resistência e rigidez da madeira.

Caracterizar a madeira quanto à densidade básica e aparente a 12% de umidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

O *Pinus patula* Schltdl. & Cham é originário do México, pode ser conhecido também, como pinheiro de folhas penduradas, pode alcançar até 30 m de altura, bem como um diâmetro à altura do peito (DAP) de até 1,2 m (TAVARES et al., 2018).

Segundo Pinusletter (2009) a espécie possui copa arredondada, aberta, sendo que sua altura pode alcançar até 30 metros e seu diâmetro varia de 50 a 90 centímetros, a casca possui coloração marrom-avermelhado e o número de acículas varia entre 3 e 4. São as acículas a principal característica que permite a identificação da espécie, que possuem coloração verde-pálida, sendo finas e pendentes, diferentemente das espécies mais conhecidas do gênero.

Eleotério e Melchiorretto (2003) relatam que a madeira de *Pinus patula* pode ser considerada leve, de baixa durabilidade natural, fácil trabalhabilidade, secagem e impregnação. Caracterizam o seu alburno como de coloração que varia de branco a amarelado claro, enquanto o cerne é rosado e, frequentemente, indistinguível, já os anéis de crescimento são bem marcados, de coloração marrom. Além disso, a madeira possui grande quantidade de nós e baixa produção de resina, apresentando textura ligeiramente grossa e irregular, com grã reta e espiralada.

De acordo com Orwa et al. (2009) a espécie exige, para seu adequado desenvolvimento, altitudes entre 1000 e 3000 metros, temperaturas médias anuais entre 10 e 28°C e precipitação média anual entre 1000 e 2000 milímetros. Mesmo tendo uma faixa restrita de ocorrência natural, a espécie vem sendo plantada desde 1940 em outros países, tanto nos trópicos quanto nas zonas temperadas.

A madeira de *Pinus patula* é indicada para a produção de madeira serrada, peças de móveis, painéis compensados e aglomerados. Como possui baixo teor de resina, pode também ser empregada como matéria-prima na produção de polpa celulósica (ELEOTÉRIO; MELCHIORETTO, 2003).

A espécie *Pinus patula* de acordo com Gillespie (1992), é provavelmente uma das que possui maior crescimento entre as espécies tropicais do gênero. A média de incremento anual encontrado na literatura (44 cm³/ha/ano) varia muito, dependendo da qualidade do sítio e do manejo. Porém, de forma geral, as características da espécie a classificam como sendo de alto rendimento industrial.

2.2 Influência da umidade e massa específica na resistência mecânica

Para avaliar a qualidade da madeira sólida e definir sua melhor utilização, o conhecimento das propriedades mecânicas como a flexão estática se faz necessário, uma vez que, a boa correlação entre a resistência mecânica e a rigidez à flexão, tem sido usada como critério para a classificação estrutural das peças de madeira (CARREIRA; DIAS, 2009 apud TRAMONTINA et al., 2013).

De acordo com Motta (2011) a estrutura anatômica condiciona as propriedades da madeira, devendo-se distinguir valores correspondentes à tração daqueles referentes à compressão, assim como os valores correspondentes à direção paralela às fibras em relação à direção perpendicular às fibras.

Segundo Meirelles e Pala (2010) a resistência da madeira difere segundo os três eixos principais: longitudinal, radial e tangencial. Sendo que a resistência da madeira na direção paralela as fibras são muito grandes, devido a densidade e a continuidade da fibra na direção longitudinal, enquanto que na direção perpendicular à fibra (tangencial e radial) existem maiores vazios.

Carvalho (1996), conclui que a resistência à flexão pode ser definida como a resistência da madeira a forças ao longo do seu comprimento. Para determinação de flexão estática uma carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento em uma amostra apoiada nos extremos (LIMA JUNIOR et al. 2008). Ela é considerada uma das mais importantes propriedades mecânicas para caracterizar a madeira como material de construção, ou seja, na fabricação de casas, pontes, telhados, construções marítimas, e em todas as demais construções de madeira (OLIVEIRA, 1997).

Wiandy e Rowell (1984) afirmam que a resistência da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da célula da fibra. Acima do ponto de saturação das fibras a água se acumula nas cavidades das células da madeira (água livre), e não se verifica efeito sensível sobre a resistência da madeira associado à variação do teor de umidade neste intervalo. Para teores de umidade entre 0% (madeira seca em estufa) até o ponto de saturação das fibras a água se acumula nas paredes das células da madeira (água de impregnação), e afeta sensivelmente a resistência da madeira, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo a resistência da madeira. Entretanto, a umidade, massa específica, tipos de água presente na madeira, contração e inchamento, são os principais fatores que afetam principalmente as propriedades físicas da madeira (MANRIQUEZ, 2012).

Para Larson et al. (2001), a densidade da madeira é talvez o critério mais antigo e mais amplamente utilizado para avaliar a qualidade da madeira e suas propriedades de resistência. Onde a densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore (FOELKEL et al., 1971).

Rezende et al. (1995) alerta que a densidade da madeira está intimamente ligada ao seu teor de umidade por consequência das variações de massa e de volume. Sabe-se também, que a retratibilidade total da madeira aumenta com sua densidade, sendo importante relacionar essas duas propriedades (POTULSKI, 2010).

As variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e da espessura da parede celular das fibras ou traqueídeos. O incremento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram abatidas duas árvores da espécie *Pinus patula* Schltdl. & Cham. procedentes do procedimento de desbaste de um povoamento com 15 anos de idade, pertencente à empresa Seiva (Grupo Gerdau S.A.), localizada no município de Ponte Alta do Norte – SC.

O clima da região é identificado como Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, com chuvas uniformemente distribuídas durante todo o ano. A ocorrência de geadas na região é comum nos períodos de inverno, com registro de 27 geadas por ano, aproximadamente. A temperatura média anual é de 17,8 °C e precipitação anual de 1.841 mm.

De cada árvore foi amostrada a primeira tora com comprimento de 2,0 m e diâmetro médio de 20,3 cm e destas removidas duas costaneiras em serra fita e gerado um semi bloco com 8,0 cm de espessura e largura correspondente ao diâmetro da tora que foi desdobrado em serra circular para confecção de corpos de prova para caracterização das propriedades mecânicas da madeira.

Para esta determinação foram confeccionados corpos de prova com 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).

Depois de confeccionados os corpos de prova foram separados em dois lotes de 30 peças cada um, sendo um deles submetido a imersão em água até saturação completa do material e o outro lote mantido sob acondicionamento em câmara climática com temperatura e umidade relativa ajustada para $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 3\%$, respectivamente (Figura 1A), a fim de atingir a umidade ao equilíbrio higroscópico de aproximadamente 12% de umidade. Sendo que, para o lote de saturação, os corpos de prova ficaram totalmente imersos por três meses, até atingirem o Ponto de Saturação das Fibras (PSF), enquanto, o lote acondicionado em câmara climatizada, permaneceram na mesma condição de tempo, com o intuito de alcançar 12% de umidade.

Após estabilização de massa dos corpos de prova de cada lote os mesmos tiveram a massa determinada em balança e o volume determinados com paquímetro digital para cálculo da densidade aparente do material nas duas condições de avaliação, ou seja, a 12% de umidade e da madeira verde para posterior estimativa da resistência mecânica e rigidez da madeira em função dessa propriedade física. Após o ensaio o material de ambos os lotes foi submetido à secagem em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ para cálculo dos teores de umidade. Também

com base nas informações de volume verde e massa seca foi calculada a densidade básica do material para fins de caracterização.

O ensaio de flexão estática foi conduzido em máquina universal de ensaios mecânicos com capacidade de carga de 30 toneladas, localizada no Laboratório de Recursos Florestais II da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (Figura 1B).

Figura 1 – Corpos de prova em condicionamento no interior da câmara climática (A); Ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaios mecânicos (B).



Fonte: O autor.

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.

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

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).

Já a resistência da madeira (MOR) ao esforço de flexão ao longo do comprimento do corpo de prova foi determinada pela equação 2.

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

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.

4 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, juntamente com 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 saturada em água.

	Madeira Climatizada				Madeira saturada			
	Carga máxima (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	DA (g/cm ³)	Carga máxima (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)	DA (g/cm ³)
Máximo	1257,5	9.998,16	67,20	0,49	669,1	7.057,78	18,69	1,11
Mínimo	737,7	5.276,71	38,70	0,32	388,8	3.501,28	33,56	0,89
Média	998,9	7.379,01	51,28	0,39	529,8	5.464,78	25,67	1,04
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.

De maneira geral para os parâmetros avaliados, com exceção da densidade aparente, a madeira climatizada apresentou propriedades mecânicas em flexão estática superiores em relação à madeira saturada. 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.

Observa-se que a propriedade mecânica mais influenciada pelo teor de umidade foi o módulo de ruptura (MOR), com a madeira climatizada apresentando um valor superior em 99,76% à madeira saturada, 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.

Segundo Stangerlin et al. (2010) a alteração dos valores de elasticidade e resistência ocorre de forma distinta, em termos de magnitude, para cada tipo de ensaio mecânico, sendo que, normalmente, há uma diminuição das propriedades com o aumento do teor de umidade, até que o ponto de saturação das fibras seja atingido.

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 que as propriedades mecânicas avaliadas, quando correlacionadas com o teor de umidade e densidade aparente resultou em uma covariação inversamente proporcional entre as variáveis, 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.

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

O autor observou também uma covariância diretamente proporcional entre a densidade e a rigidez da madeira, resultado contrário ao observado com a madeira de *P. patula*. No entanto, deve-se levar em consideração que no presente estudo a correlação negativa observada entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas, está relacionada ao fato de que, o aumento observado para a densidade da madeira entre os lotes se deu em função do percentual de umidade nos corpos de prova, o que pode ser reforçado pela alta correlação

positiva (0,97) observada entre a densidade aparente e o teor de umidade. Portanto o acréscimo da densidade aparente dos corpos de prova não correspondeu ao aumento da resistência, em função de que a resistência e rigidez reduziram proporcionalmente com o acréscimo da umidade.

A covariação só foi positiva entre as variáveis de resistência, rigidez e a densidade básica, pelo fato que no cálculo desta última, não é considerado o teor de umidade. A alta covariação negativa (-0,81) entre a densidade básica que correspondeu a um valor médio de $0,33 \text{ g/cm}^3$ e o teor de umidade é um indicativo de que o aumento da densidade básica do material conduz a uma redução do teor de umidade máximo da madeira em função de sua menor porosidade.

5 CONCLUSÃO

As propriedades mecânicas avaliadas foram superiores para a madeira climatizada em relação à madeira saturada, com o módulo de ruptura superior em 99,76% à madeira saturada, seguido da carga máxima, superior em 88,54% e do módulo de elasticidade, 35,02%.

A madeira de *P. patula* aos 15 anos apresentou uma densidade básica de 0,33 g/cm³ e densidade aparente a 12% de umidade de 0,39 g/cm³, o que permite considerá-la como madeira de baixa densidade.

De maneira geral o uso da densidade da madeira é um bom indicativo da resistência e rigidez da madeira, porém seu uso deve ser criterioso uma vez que, com o aumento do conteúdo de umidade, há uma redução na resistência e rigidez conforme observado no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, A. **Madeiras Portuguesas. Estrutura anatómica, Propriedades e Utilizações.** Lisboa: Direção Geral das Florestas, 1996. 340 p.
- TAVARES, E. L.; HILLIG, E.; BEDNARCZUK, E.; MACHADO, J. F.; MUSTEFAGA, E. Massa específica da madeira, rendimento da laminação e qualidade das lâminas de *Pinus patula* Schltdl & Cham. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.9, n. 2, p. 103-112, 2018.
- 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**, Piracicaba, v. 2/3, p. 65-74, 1971.
- FREITAS, A. Potencial de utilização de madeiras em construções. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 1., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1982. 1459 p.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2017.** Brasília, 2017. Disponível em: < https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf >. Acesso em: 25 nov. 2018.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** 2000. 291p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madeira y sus aplicaciones.** Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.
- LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E., CLARK, A.; ISEBRANDS, J. G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: A synopsis.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2001. 42 p.
- LIMA JUNIOR, D. L. et al. **Madeira de lei.** Universidade do Amazonas - UNAMA. 2008. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOKUAI/madeira-lei> > Acesso em: 25 de novembro de 2018.
- LISBOA, C.D.J.; MATOS, J.L.M.; MELO, J.E. **Amostragem e propriedades físico mecânicas de madeiras amazônicas.** Brasília: Ibama, 1993. (Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Floresta, 1).
- 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.
- MANRIQUEZ, M. de J. **Coefficientes de modificação das propriedades mecânicas da madeira à temperatura.** 2012. 259 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MEIRELLES, C. R.; PALA, A. **Apostila de Processo construtivo em madeira**, 2010. 67 p. 2010.

ELEOTÉRIO, J. R.; MELCHIORETTO, D.; 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, 18., 2003, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau, 2003. 5p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176 p.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre -ES, 2011.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. 34 p.

OLIVEIRA, J. T. S; SILVA, J. C; Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

ORWA, C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; JAMNADASS, R.; SIMONS, A. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. 2009. Disponível:<
https://www.researchgate.net/publication/268683778_Agroforestry_Database_a_tree_reference_and_selection_guide_version_40_World_Agroforestry_Centre_Nairobi_Kenya>. Acesso em: 26 nov. 2018.

PEREIRA, G. F.; **Comparação das propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus patula* e *Pinus sp.* de origem industrial**. 2014. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC, 2014.

PINUSLETTER. **Os *Pinus* no Brasil: *Pinus patula***. 2009. Disponível em: <
http://www.celsofoelkel.com.br/pinus_15.html >. Acesso em 12 mai. 2017.

POTULSKI, D, C; **Densidade e retratibilidade da madeira juvenil *Pinus maximinoi* H. E. Moore e *Pinus taeda* L.** 2010. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. **Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade**. IPEF, Piracicaba, n. 48/49, p. 133-141, 1995.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R. de; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. de. 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, nov. 2010.

TRAMONTINA, J.; TOMASI, J. C.; TRES, J.; CHECHI, L.; DENARDI, L. **Propriedades de flexão estática da madeira úmida a 12% de umidade da espécie *Ateleia glazioviana* BAILL.** Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v.9, n.16, p. 1833-1839, 2013.

WIANDY, J. E.; ROWELL, R. M. **The Chemistry of Wood Strength.** Washington, D.C: American Chemical Society, 1984.