

Influência do lenho de compressão e amarelecimento de copa nas propriedades da madeira de *Pinus taeda* L.

Karina Soares Modes¹; Marcelo Antonio Galon Antunes¹, Rita Carolina de Melo¹, Mario Dobner Júnior², Magnos Alan Vivian¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Curitibanos/SC, Brasil; ² Florestal Gateados Ltda, Campo Belo do Sul/SC, Brasil – karina.modes@ufsc.br

Resumo: A investigação das diferenças entre a madeira produzida em condições normais e por influências externas é uma forma de orientar a indústria de base florestal quanto à melhor destinação da mesma. Foi avaliado o nível de influência da presença de lenho de reação e sintomas de amarelecimento de copa sobre as propriedades físico-mecânicas da madeira de *Pinus taeda* L. Amostrou-se árvores com evidente sintoma de amarelecimento de copa, presença de lenho de compressão e sadias para avaliação da densidade básica e aparente, estabilidade dimensional, flexão estática, cisalhamento, compressão paralela e dureza Janka. Dentre as propriedades físicas a madeira de compressão diferiu das árvores sadias quanto às contrações tangencial e volumétrica. A madeira de talhões com sintomas de amarelecimento de copa apresentou diferença em relação à madeira normal para a maioria das propriedades mecânicas avaliadas. Conclui-se que as diferentes madeiras podem ser submetidas ao mesmo processo de industrialização.

Palavras-chave: Lenho de reação, Conífera, Qualidade da madeira.

Influence of compression wood and crown yellowing on the properties of *Pinus taeda* L.

Abstract: Investigating the differences between wood produced under normal conditions and by external influences is a way of guiding the forest-based industry as to the best destination for it. Was evaluated the level of influence of the presence of reaction wood and symptoms of crown yellowing on the physical-mechanical properties of *Pinus taeda* L. wood. Trees with obvious symptoms of crown yellowing, presence of compression wood and healthy trees were sampled to evaluate basic and apparent density, dimensional stability, static bending, shear, parallel compression and hardness. Among the physical properties, compression wood differed from healthy trees in terms of tangential and volumetric shrinkage. Wood with crown yellowing symptoms showed differences in relation to healthy wood for most of the mechanical properties evaluated. It is concluded that different woods can be subjected to the same industrialization process.

Keywords: Reaction wood, Conifer, Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022) no ano de 2021 a área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 9,93 milhões de hectares e

desse total, a maioria (75,8%) foi representada pelo cultivo de eucalipto, com 7,53 milhões de hectares, e 19,4% de pinus, com 1,93 milhão de hectares, dos quais 88,9% dos plantios de pinus se concentram na região Sul, sendo o Paraná e Santa Catarina os principais estados produtores.

Segundo o IBÁ (2019) o cultivo de árvores gera matéria prima para fins industriais cuja variedade de produtos pode chegar a 5 mil, o que inclui madeira serrada, papel, celulose, pisos e painéis de madeira e carvão vegetal. Portanto, para a destinação adequada da madeira diante das diversas possibilidades de uso, e a previsão do comportamento da mesma frente ao processo de industrialização, são imprescindíveis a presença de características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas compatíveis com a qualidade requerida da matéria prima.

O lenho de reação se manifesta visualmente pela presença de medula excêntrica no tronco das árvores como resultado de diferenças na atividade cambial, por consequência de um estímulo desordenado de hormônios de crescimento pela copa. Segundo Vidaurre *et al.* (2013) a presença de tecidos de reação, por menor que seja sua quantidade, causa mudanças significativas nas propriedades da madeira e, conseqüentemente, na qualidade desta, o que de fato fundamenta a classificação da madeira de reação como um defeito, conforme já contemplado em normas para classificação de madeira serrada e roliça na Europa, América do Norte, Ásia e na Oceania.

Embora o gênero *Pinus* não seja tão exigente quanto à composição nutricional do solo, de acordo com Chaves e Corrêa (2003) a presença do amarelecimento pode ser um indicativo de problemas nutricionais e tem se mostrado cada vez mais frequente. De acordo com Rigatto *et al.* (2004) os atributos do solo são um dos fatores de interferência na taxa de crescimento dos sítios florestais e, conseqüentemente, na qualidade da madeira produzida, e uma questão a ser elucidada é se estas interferências na taxa de crescimento geradas pelos atributos do solo podem resultar em madeira de baixa qualidade, sendo ainda poucos os estudos que relacionam diretamente estas características.

Nesse sentido, tendo em vista a importância econômica da madeira de *P. taeda* para o setor industrial madeireiro no estado de Santa Catarina, e a influência já relatada dos fatores mencionados sobre a qualidade da madeira, faz-se necessário a investigação da magnitude destas diferenças a fim de prever a necessidade de tratamento diferenciado da madeira produzida sob tais condições.

Tendo em vista a importância da qualidade da madeira para seu uso racional e sustentável, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o nível de influência da presença de lenho de reação e sintomas de amarelecimento de copa sobre as propriedades físico-mecânicas da madeira de *Pinus taeda* comparativamente a madeira considerada normal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparo do material

As árvores de *Pinus taeda* L. avaliadas foram obtidas de talhões localizados no município de Capão Alto, SC com evidente sintoma de amarelecimento de copa (Amarela), presença de lenho de reação do tipo compressão (compressão) e de árvores aparentemente normais (sadias). De cada condição, na idade de 20 anos, foram amostrados 3 indivíduos, num total de 9 árvores, submetidas a 3 operações de desbaste, sendo o último realizado 4 anos antes da amostragem. As árvores apresentavam diâmetro médio de 33,8 cm e altura total de 25,7 m, com volume comercial de 1,3761 m³ para as árvores sadias, 0,8664 m³ para as árvores com sintomas de amarelecimento de copa e 1,2416 m³ para as árvores contendo madeira de reação do tipo compressão.

Para determinação da densidade básica ponderada foram extraídos discos ao longo do comprimento comercial do fuste (8,0 cm de diâmetro), conforme metodologia de Vital (1984). Para determinação da estabilidade dimensional e da densidade básica e aparente foi amostrado um disco na posição referente ao diâmetro à altura do peito (DAP) com aproximadamente 8,0 cm de espessura. Também foi amostrada a tora compreendida entre a posição da base e DAP com comprimento de 1,30 m da qual foi extraído um pranchão central bem orientado que foi utilizado na confecção de pontaletes que deram origem aos corpos de prova para condução dos ensaios mecânicos.

2.2 Determinação das propriedades físicas

As propriedades físicas avaliadas foram densidade básica, densidade da madeira verde, densidade aparente a 12% e da madeira anidra, as contrações linear

e volumétrica, bem como do coeficiente de anisotropia para contração. Para isso, foram confeccionados corpos de prova bem orientados de dimensões de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal), desde a região mais próxima à casca em direção à medula, que tiveram demarcados seus 3 sentidos anatômicos para a determinação da contração sempre no mesmo ponto. As dimensões do material e procedimentos de avaliação seguiu o recomendado pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 2022).

2.3 Determinação das propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos foram conduzidos em uma máquina universal de ensaios mecânicos com a capacidade de 30 ton. As madeiras amostradas foram caracterizadas quanto à resistência (MOR) e rigidez (MOE) ao ensaio de flexão estática, à resistência ao ensaio de compressão paralela à grã e cisalhamento paralelo à grã e dureza Janka. O dimensionamento e condução do ensaio de flexão estática foi conduzido de acordo com a norma 555 da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1973). Já os demais seguiram recomendação da norma D-143 da American Society of Testing and Materials (ASTM, 1994).

2.4 Análise estatística

As médias dos parâmetros avaliados entre a madeira dos talhões amostrados foram analisados estatisticamente fazendo uso do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) pelo Programa estatístico SPSS e aplicada a Análise de Variância com nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas

Os valores médios para as propriedades físicas da madeira de *P. taeda* proveniente dos talhões amostrados estão listados na tabela 1.

Tabela 1. Valores referentes às propriedades físicas.

Condição	DBP	DB	D12%	D0%	DV	βL	βR	βT	βV	CA
	kg m ⁻³					%				
Sadia	380a*	320a	390a	350a	870a	0,23a	3,70a	6,30a	9,93a	1,72a
Amarela	390a	350a	410a	380a	860a	0,26a	3,83a	5,64ab	9,50ab	1,50a
Compressão	400a	340a	400a	370a	860a	0,45a	2,83a	4,94b	8,04b	1,83a

*=Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. DBP= Densidade básica ponderada. DB=Densidade básica. D12%=Densidade da madeira à umidade de 12%. D0%=Densidade da madeira anidra. DV=Densidade da madeira verde. βL = Contração longitudinal. βR = Contração radial. βT = Contração tangencial. βV = Contração volumétrica. CA=coeficiente de anisotropia.

Observa-se que tanto a densidade básica ponderada como a densidade básica da região do DAP permite classificar a madeira dos talhões avaliados como de baixa densidade uma vez que foram inferiores a 400 kg m⁻³, segundo classificação da International Association of Wood Anatomists Committee (IAWA, 1989).

Observa-se que a presença de lenho de reação do tipo compressão nas árvores, bem como a presença de sintomas como o amarelecimento de copa não promoveram alterações significativas nos diferentes tipo de densidade em relação a madeira sadia. Já em relação à estabilidade dimensional, verifica-se pelo teste de médias em relação às contrações tangencial e volumétrica a influência da particularidade anatômica do lenho de reação do tipo compressão. Para este lenho Vidaurre *et al.* (2013) cita a ocorrência de um ângulo de inclinação das microfibrilas na camada S2 da parede celular secundária superior ao intervalo de 0 a 30° mencionado para a madeira normal. Este fato promove uma maior contração no sentido longitudinal, e por consequência uma menor contração nos sentidos transversais, conforme observado.

Os percentuais de contração registrados não influenciaram significativamente no coeficiente de anisotropia que se mantiveram inferiores a 2,0, indicando qualidade normal para a geração de produtos sólidos, segundo classificação de Durlo e Marchiori (1992), bem como indicando a possibilidade de que as madeiras provenientes dos talhões amostrados possam ser submetidas a um mesmo programa de secagem, sem comprometimento da qualidade.

3.2 Propriedades mecânicas

Os valores médios para as propriedades mecânicas da madeira de *P. taeda* proveniente dos talhões amostrados estão listados na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios referentes ao ensaio de flexão estática, cisalhamento e compressão paralela à grã.

Condição	Flexão estática		Cisalhamento		Compressão paralela	
	MOR MPa	DA ¹ kg m ⁻³	Resistência MPa	DA ² kg m ⁻³	Resistência MPa	DA ³ kg m ⁻³
Sadia	57,79a	523	9,07ab	484	25,32b	479
Amarela	55,91a	523	9,86a	534	29,62a	516
Compressão	49,63b	493	8,64b	494	27,00ab	491

MOR= Módulo de ruptura.¹ = Densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão estática. ² = Densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova submetidos ao ensaio de cisalhamento paralelo à grã. ³ = Densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão paralela.

Observa-se com relação ao ensaio de flexão estática que o MOR da madeira de compressão foi inferior em relação às demais o que pode ter sido influenciado pela menor densidade dos corpos de prova, condição diferente do esperado para este tipo de lenho que tem como característica o aumento da espessura da parede dos traqueídeos. Já para a propriedade mecânica de cisalhamento observa-se que as anormalidades existentes não foram capazes de promover alterações significativas em relação à madeira sadia. Em relação à resistência à compressão paralela à grã observou-se diferença estatística entre a madeira proveniente do talhão de árvores com sintomas de amarelecimento de copa e a madeira procedente de árvores sadias.

Barnasky *et al.* (2017) observou para a mesma espécie e posição de amostragem aos 18 anos valores de MOR de 42,91 MPa, e de resistência ao cisalhamento e compressão paralela à grã de 10,00 e 22,92 MPa, respectivamente, todos próximos ao do presente estudo.

Na tabela 3 constam informações referentes aos resultados do ensaio mecânico de dureza Janka.

Tabela 3. Valores médios referentes ao ensaio de dureza Janka.

Condição	Dureza Janka			
	Topo	Tangencial	Radial	DA ¹
	MPa			kg m ⁻³
Sadia	39,27bA*	36,23aA	25,16bB	474
Amarela	45,23aA	29,77bB	30,08aB	517
Compressão	41,24abA	27,39bB	28,20abB	489

*=Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ¹ = Densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova submetidos ao ensaio de dureza Janka.

Observa-se que para a dureza Janka houve uma tendência geral da madeira de árvores com sintomas de amarelecimento de copa diferir estatisticamente da madeira de árvores sadias, resultando em valores médios superiores. Com relação à dureza de topo tangencial a madeira de compressão foi equivalente a de árvores com amarelecimento de copa e ambas mostraram-se de dureza inferior em relação à madeira sadia. De maneira geral em função da anisotropia da madeira, qualquer tipo de esforço que incida no sentido da grã favorece a resistência em relação aos sentidos transversais. Esse comportamento foi registrado no presente estudo, em que a dureza de topo apresentou média estatisticamente superior em relação aos demais sentidos, com exceção do registrado para a madeira sadia em que a dureza de topo e tangencial foi equivalente.

Observa-se que os valores médios foram superiores aos registrados por Barnasky *et al.* (2017) para a mesma espécie que encontraram dureza de 29,03 MPa para o topo, 23,44 MPa para o sentido radial e 25,60 MPa para o tangencial.

4. CONCLUSÃO

A presença de lenho de reação do tipo compressão nas árvores, bem como a presença de sintomas como o amarelecimento de copa não promoveram alterações significativas na densidade e estabilidade dimensional da madeira, com exceção da contração tangencial e volumétrica que não influenciaram significativamente no coeficiente de anisotropia.

De maneira geral observou-se uma melhor performance frente aos ensaios mecânicos da madeira de árvores com sintomas de amarelecimento de copa, o que pode ser atribuído à maior densidade da madeira dos corpos de prova avaliados,

como consequência da restrição ao crescimento das árvores, tendo em vista o menor volume observado para as mesmas.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia: ASTM, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 7190-3**: Projeto de estruturas de madeira Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARNASKY, R.; CUNHA, A. B. da; BRAND, M. A.; *et al.* Propriedades mecânicas da madeira de *Pinus taeda* com lenho anormal de compressão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, 2017, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBCTEM/UDESC, 2017. p. 1-8.

CHAVES, R. de Q.; CORRÊA, G. F. Micronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Árvore**. v. 27, n.6, p. 769-778, 2003.

COMISSIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 555**: Método de Ensayo de flexión estática. Buenos Aires: COPANT, 1973.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. Tecnologia da Madeira: retratibilidade. Santa Maria: UFSM/ CEPEF/ FATEC, 1992. (Série Técnica, 10).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório Anual 2022. São Paulo: IBÁ, 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório Anual 2019. São Paulo: IBÁ, 2019.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE - IAWA. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Árvore**. v. 28, n. 2, p.267-273, 2004.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; *et al.* Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**. v. 20, n. 1, p. 26 – 37, 2013.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. (Boletim técnico, 1)