










Propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Cryptomeria japonica*

Magnos Alan Vivian^{1*}, Karina Soares Modes¹, Manoela Magnani Fogliatto¹, Rafael Cavali Schlichting¹, Ronan Corrêa¹,
Évelyn Janaina Grosskopf¹, Mário Dobner Júnior¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas, Rodovia Ulysses Gaboardi, Km 3, CEP 89520-000, Curitiba, SC, Brasil

*Autor correspondente:
magnos.alan@ufsc.br

Termos para indexação:

Densidade da madeira
Variação dimensional
Produto florestal

Index terms:

Wood density
Dimensional variation
Forest product

Histórico do artigo:

Recebido em 02/03/2020
Aprovado em 15/07/2021
Publicado em 30/01/2023

Resumo - O presente estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Cryptomeria japonica*. Foram coletadas árvores, com 13 anos de idade, provenientes de um plantio experimental. A madeira foi classificada como leve ou de baixa densidade ($0,314 \text{ g cm}^{-3}$), com valores baixos de contração longitudinal (0,31%), radial (2,09%), tangencial (5,48%) e volumétrica (7,57%), porém elevado coeficiente de anisotropia (2,62), indicando a susceptibilidade dessa espécie frente aos defeitos de secagem. Em relação à composição química, apresentou baixos teores de extrativos (2,14%) e de cinzas (0,32%), porém alto teor de lignina (31,36%). As traqueídes apresentaram comprimento de 2,18 mm; largura de 25,06 μm ; diâmetro do lúmen de 15,89 μm e espessura da parede de 4,59 μm , com indicadores interessantes para fabricação de papel, sendo verificada boa qualidade pelo índice de Runkel (0,61) e de enfiamento (87,78) e média qualidade para coeficiente de flexibilidade (61,23%) e fração da parede (36,94%). As características da madeira de *C. japonica* indicam potencial para suprir a demanda de matéria-prima do setor industrial, especialmente na região Sul do Brasil.

Physical, chemical and anatomical properties of *Cryptomeria japonica* wood

Abstract - The present study aimed to evaluate the physical, chemical and anatomical properties of *Cryptomeria japonica* wood. For that, trees with 13 years old, from an experimental planting, were sampled. The wood was classified as low density (0.314 g cm^{-3}), with low values of longitudinal contractions (0.31%), radial (2.09%), tangential (5.48%) and volumetric (7.57%), but high anisotropy coefficient (2.62), indicating the susceptibility of this species to drying defects. Regarding the chemical composition, it presented low levels of extractives (2.14%) and ashes (0.32%), but high content of lignin (31.36%). The tracheids have 2.18 mm length; width of 25.06 μm ; lumen diameter of 15.89 μm and wall thickness of 4.59 μm , with interesting indicators for papermaking, and presenting good quality due to the Runkel index (0.61) and felting (87.78) and medium quality for flexibility coefficient (61.23%) and wall fraction (36.94%). The characteristics of *C. japonica* wood indicate potential to be used as alternative to supply the demand of the industrial sector for raw material, especially in the South of Brazil.



Introdução

Atualmente, na região Sul do país, o gênero *Pinus* é o que mais se destaca no fornecimento de madeira para as mais diversas finalidades industriais. No Brasil, a área plantada com o gênero, chegou a 1,6 milhões de ha em 2019, representando 18% do total de 9,0 milhões de ha de florestas plantadas (IBÁ, 2020). Apenas duas espécies do gênero se destacam (*Pinus taeda* e *P. elliottii*), sendo destinadas a diversos fins, como para indústrias laminadoras e de serrados, celulose e papel, painéis de madeira, resinagem, entre outros.

Entretanto, não é indicado, e até certo ponto preocupante, ter toda a cadeia produtiva de uma região baseada em apenas um gênero ou em poucas espécies, pois o fornecimento de matéria-prima pode ser comprometido, em função de danos por pragas e doenças que possam vir a atacar estas espécies. Nos últimos anos, em Santa Catarina vem ocorrendo relatos de uma doença que causa o amarelecimento e morte de árvores de *Pinus*, não sendo conhecido a causa até o momento. Assim, é importante o estudo de novas espécies, que possam ser alternativas ao setor industrial.

Neste contexto, surge *Cryptomeria japonica*, que é uma conífera, assim como o *Pinus*, e se adapta muito bem às condições edafoclimáticas da região Sul do país. A espécie é da família Cupressaceae, de origem japonesa, com grandes utilidades em seu país de origem e bem difundida nos EUA. Sua madeira tem características que lhe conferem boa trabalhabilidade, sendo muito utilizada em indústrias com fins madeireiros, como serrados em geral, chapas, móveis e para produção de celulose e papel (Pereira et al., 2003).

No Brasil, a espécie é conhecida como cedrinho japonês. Foi introduzida pela Companhia Melhoramentos, principalmente nas cidades de Caieiras, SP e Camanducaia na Serra da Mantiqueira, MG (Carneiro et al., 2009). De acordo com Pereira et al. (2003), a espécie tem alto potencial de cultivo na região Sul, com crescimento rápido e fácil adaptação ao clima e solo, além de responder bem aos tratamentos silviculturais. Carvalho (2001) e Dobner Júnior et al. (2013) citaram valores de incremento médio anual de madeira de 45 e 43 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, os quais comprovam seu potencial de crescimento, uma vez que a produtividade de *P. taeda* pode chegar a 44 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (ACR, 2016).

Segundo Carpanezzi et al. (1988), *C. japonica* é plantada comercialmente há décadas no Brasil, porém, em pequena escala em regiões de São Paulo e Minas Gerais, com altitude superior a 1.000 m. De acordo com os mesmos autores, a sua madeira é de alta qualidade, apresentando fuste reto, crescimento rápido, facilidade no processamento e cor agradável, com potencial para aplicação para diversos fins. Apesar de apresentar boas características, as pesquisas sobre a sua madeira ainda são escassas, sendo necessário realizar novos estudos com intuito de identificar o uso mais adequado desta promissora espécie florestal. Deste modo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *C. japonica* aos 13 anos de idade.

Material e métodos

Para a condução deste estudo, utilizou-se a madeira de *Cryptomeria japonica*, com 13 anos de idade, proveniente de plantio experimental pertencente à Empresa Florestal Gateados Ltda, localizado no município de Campo Belo do Sul, SC (27°57'06"S, 50°49'08"W e 930 m de altitude). O plantio apresentava espaçamento de 2,5 x 2,5 m e foi submetido ao trato silvicultural de poda até à altura de 5,8 m, porém não recebeu nenhum desbaste até a data da coleta.

Foram selecionadas três árvores médias, das quais retiraram-se discos nas seguintes alturas: 0 (base), DAP (diâmetro a 1,30 m do solo), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro de ponta fina de 8 cm). As árvores selecionadas apresentaram as médias de: 18,6 cm de diâmetro, 13,8 m de altura total e 9,6 m de altura comercial. Após a coleta, os discos foram transportados para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, onde se procederam as avaliações físicas, químicas e anatômicas da madeira.

Características físicas

Para determinação da densidade básica e verde foram seccionadas, de cada disco, duas cunhas simetricamente opostas, conservando as mesmas em água até atingirem a completa saturação.

A massa e o volume verde foram determinados para cada uma das cunhas, pelo método de balança hidrostática, segundo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Após a

obtenção da massa e volume verde, as cunhas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 2 °C, por aproximadamente 24 h, até massa constante. Após este período, foi obtida massa seca de cada cunha.

A densidade básica (g cm^{-3}) foi calculada pela razão entre a massa seca (g) e o volume verde (cm^3) e a densidade da madeira verde (g cm^{-3}) foi calculada pela razão entre a massa (g) e o volume (cm^3) verdes.

$$D_{bp} = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{dap}^2) \cdot (d_B + d_{dap}) + (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2) \cdot (d_{dap} + d_{25\%}) + (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2) \cdot (d_{25\%} + d_{50\%}) + (D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2) \cdot (d_{50\%} + d_{75\%}) + (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) \cdot (d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (1)$$

Em que: D_{bp} = densidade básica ponderada (g cm^{-3}); $D_{(B)}$, $D_{(dap)}$, $D_{(25\%)}$, $D_{(50\%)}$, $D_{(75\%)}$ e $D_{(100\%)}$ = diâmetros dos discos em diferentes alturas (cm); $d_{(B)}$, $d_{(dap)}$, $d_{(25\%)}$, $d_{(50\%)}$, $d_{(75\%)}$ e $d_{(100\%)}$ = densidades básicas em diferentes alturas (g cm^{-3}).

Para determinação dos valores de contração da madeira, foram confeccionados 20 corpos de prova medindo 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial, radial e longitudinal), de acordo com recomendações da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Após saturação completa, os corpos de prova foram pesados, delimitados e mensurados nos sentidos radial, tangencial e longitudinal. Foram marcadas linhas, para que as medidas fossem realizadas sempre no mesmo local. O material foi acondicionado em câmara climática, com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%, até atingir massa constante, convencionada como umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

O material climatizado passou pelas mesmas mensurações realizadas na condição de saturação completa. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa à temperatura de 103 ± 2 °C, até que não ocorressem mais variações em sua massa. Foram calculadas as contrações máximas da madeira nos sentidos lineares (longitudinal, radial e tangencial) e volumétrico, de acordo com a Equação 2.

$$\beta(\%) = \frac{D; Vv - D; Vs}{D; Vv} * 100 \quad (2)$$

Em que: β = contração linear ou volumétrica máxima (%); $D; Vv$ = dimensão linear ou volume da madeira saturada (verde) (cm ou cm^3); $D; Vs$ = dimensão linear ou volume da madeira anidra (seca) (cm ou cm^3).

O coeficiente de anisotropia foi calculado a partir da razão entre os valores de contração linear total nos sentidos tangencial (%) e radial (%).

Após a obtenção dos valores de densidade em cada altura do fuste (através da média das duas cunhas), foi calculada a densidade básica ponderada, utilizando os diâmetros dos discos nas diferentes alturas e suas respectivas densidades básicas (Equação 1). O cálculo da densidade verde ponderada foi feito utilizando-se a mesma equação, substituindo-se os valores de densidade básica pelos de densidade verde.

Características químicas

Para determinar a composição química da madeira, utilizou-se uma amostra composta dos discos das diferentes alturas do fuste comercial, que foram transformados em serragem utilizando-se um moinho do tipo Willey. Essa foi classificada em peneiras vibratórias, selecionando-se a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh (entre 40 e 60 mesh).

A análise foi realizada em triplicata, com base nas normas da Tappi (2007), para os seguintes compostos: cinzas (TAPPI T211 om-02), extrativos totais (TAPPI T264 cm-97, adaptada pelo Laboratório de Química da Madeira, Universidade Federal de Santa Maria), lignina Klason (TAPPI T222 om-98) e holocelulose (celulose e hemicelulose), sendo esta obtida pela diferença dada pela Equação 3.

$$HC = 100 - (TC + TE + TL) \quad (3)$$

Em que: HC = teor de holocelulose (%); TC = teor de cinzas (%); TE = teor de extrativos totais (%); TL = teor de lignina (%).

Características anatômicas

Para determinação das dimensões das traqueídes, foram utilizados os discos retirados do DAP, sendo confeccionados pequenos fragmentos, em forma de palitos, para maceração. Estes fragmentos foram depositados em tubos de ensaio contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção de 5:2:1) para individualização das traqueídes. Os tubos de ensaio

foram mantidos em banho-maria em temperatura próxima a 100 °C, por um período de aproximadamente 1 h, segundo metodologia proposta por Barrichelo & Foelkel (1983). Finalizado este procedimento, o material foi lavado com água destilada até remoção completa das substâncias utilizadas no processo.

Na sequência, foram montadas lâminas com adição do macerado, além de safranina (1%), glicerina e água (1 gota de cada), visando a obtenção de imagens das traqueídes, a partir de uma lupa (aumento de 6,3 vezes para o comprimento) e um microscópio (aumento de 400 vezes para largura e diâmetro do lúmen). As dimensões determinadas nas traqueídes foram: comprimento, largura e diâmetro de lúmen, baseando-se em IAWA Committee (1989). As médias de cada parâmetro foram obtidas pela mensuração de 105 traqueídes (35 traqueídes por árvore). Após a obtenção destas medidas, foram calculados: espessura da parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel (Equações 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente).

$$E = \left(\frac{L - DL}{2} \right) \quad (4)$$

$$FP = \left(\frac{2 \cdot E}{L} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

$$IE = \left(\frac{C}{\frac{L}{1000}} \right) \quad (7)$$

$$IR = \left(\frac{2 \cdot E}{DL} \right) \quad (8)$$

Em que: E = espessura da parede celular (µm); L = largura da traqueíde (µm); DL = diâmetro do lúmen (µm); C = comprimento da traqueíde (mm); FP = fração parede (%); CF = coeficiente de flexibilidade (%); IE = índice de enfiamento; IR = índice de Runkel.

Resultados

Características físicas

As densidades básica e verde, bem como os valores de contração da madeira de *Cryptomeria japonica* aos 13 anos estão apresentados na Tabela 1.

O valor encontrado de densidade básica (0,314 g cm⁻³) da madeira de *C. japonica* foi considerado baixo. A

densidade verde observada foi de 1,027 g cm⁻³. Este último indica a densidade da madeira recém-cortada, a qual apresenta seu volume máximo.

Tabela 1. Características físicas da madeira de *Cryptomeria japonica*.

Table 1. Physical characteristics of *Cryptomeria japonica* wood.

Característica	<i>Cryptomeria japonica</i>
Densidade básica (g cm ⁻³)	0,314 (± 0,017)
Densidade verde (g cm ⁻³)	1,027 (± 0,024)
Contração (%)	
Longitudinal	0,31 (± 0,21)
Radial	2,09 (± 0,62)
Tangencial	5,48 (± 1,11)
Volumétrica	7,57 (± 1,34)
Coeficiente de anisotropia	2,62 (± 0,61)

Desvio padrão entre parênteses.

Os valores de contração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica podem ser considerados baixos, porém o coeficiente de anisotropia é alto, indicando a susceptibilidade dessa espécie frente aos defeitos de secagem.

Características químicas

Foram obtidos baixos teores de extrativos e cinzas, intermediários para holocelulose e elevados para lignina, conforme pode ser observado na Figura 1.

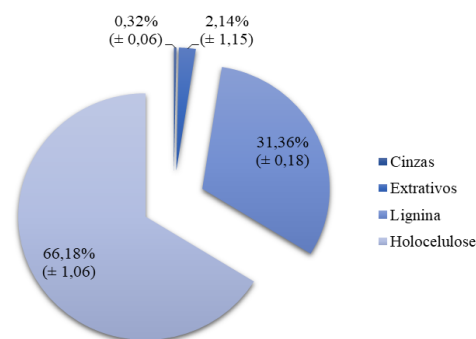


Figura 1. Caracterização química da madeira de *Cryptomeria japonica*. Desvio padrão entre parênteses.

Figure 1. Chemical characterization of *Cryptomeria japonica* wood. Standard deviation in parentheses.

Características anatômicas

Os valores referentes à morfologia das traqueídes da madeira de *C. japonica* podem ser observados na Tabela 2. Além dos valores morfológicos, também encontram-se os indicadores anatômicos de qualidade da madeira.

Tabela 2. Dimensões médias das traqueídes da madeira de *Cryptomeria japonica*.

Table 2. Average dimensions of the tracheids of *Cryptomeria japonica* wood.

Característica	<i>Cryptomeria japonica</i>
Comprimento (mm)	2,18 (\pm 0,15)
Largura (μm)	25,06 (\pm 3,03)
Diâmetro de lúmen (μm)	15,89 (\pm 3,92)
Espessura de parede (μm)	4,59 (\pm 1,22)
Fração parede (%)	36,93 (\pm 10,14)
Coefficiente de flexibilidade (%)	61,23 (\pm 11,61)
Índice de Runkel	0,61 (\pm 0,27)
Índice de enfiletramento	87,78 (\pm 11,03)

Desvio padrão entre parênteses.

Discussão

Características físicas

O valor de densidade básica encontrado para a madeira de *Cryptomeria japonica* no presente estudo (Tabela 1) está dentro da faixa observada por outros autores para a espécie, variando de 0,255 g cm⁻³ (Carneiro et al., 2009) a 0,360 g cm⁻³ (Pereira et al., 2003).

Na Tabela 3 foram apresentados valores de densidade básica citados por outros autores para *C. japonica* e outras espécies de coníferas, como *Cupressus lusitanica*, *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus sylvestris*. A densidade básica da madeira de *C. japonica* se assemelha com a de *C. lusitanica*, que também pode ser classificada como de baixa densidade, bem como a de *C. japonica* de outras idades. Quando se compara *C. japonica* com espécies do gênero *Pinus*, a mesma apresenta valores mais baixos.

De acordo com Segura (2015), a densidade básica é um importante parâmetro de qualidade da madeira, pois ela está correlacionada com os processos de polpação e com as demais propriedades da madeira. Dias & Simonelli (2013) sugerem que a densidade básica da madeira para produção de polpa celulósica deve estar entre 0,40 a 0,55 g cm⁻³, porém existe uma discussão sobre esse quesito na literatura. Conforme Vivian et al.

Tabela 3. Densidade básica da madeira de diferentes espécies de coníferas.

Table 3. Basic wood density of different conifer species.

Espécie	Idade (anos)	Densidade básica (g cm ⁻³)	Fonte
<i>Cryptomeria japonica</i>	14	0,255	Carneiro et al. (2009)
<i>C. japonica</i>	22	0,360	Pereira et al. (2003)
<i>C. japonica</i>	35	0,356	Trianoski et al. (2013a)
<i>Cupressus lusitanica</i>	16	0,375	Vivian et al. (2020)
<i>C. lusitanica</i>	19	0,396	Almeida et al. (2017)
<i>Pinus taeda</i>	14	0,410	Andrade (2006)
<i>P. taeda</i>	17	0,415	Trianoski et al. (2013b)
<i>P. taeda</i>	21	0,435	Vivian et al. (2015)
<i>P. elliottii</i>	15	0,472	Palermo et al. (2004)
<i>P. sylvestris</i>	45	0,436	Vivian et al. (2015)

(2020), de modo geral, madeiras com baixa densidade são mais fáceis de picar, impregnar e cozinhar, porém resultam em menos massa de polpa celulósica por cozimento, ou seja, menor rendimento. Segura (2015) menciona que a densidade básica afeta de forma direta a picagem dos cavacos, impregnação da madeira e cozimento. Mesmo que a densidade básica da madeira de *C. japonica* seja baixa, pesquisadores como Fantuzzi Neto (2012) afirmam que madeiras de baixa e alta densidade podem proporcionar os mesmos rendimentos, tendo-se cuidado com o fator H (que expressa tempo e temperatura do cozimento) utilizado, pois o rendimento é afetado também pelos parâmetros de cozimento e não apenas pelas características da madeira.

Trianoski et al. (2013a) citam que a madeira de *C. japonica*, mesmo com densidade baixa, apresenta viabilidade técnica para produção de painéis de madeira aglomerada, a qual apresentou resultados superiores aos dos painéis de *Pinus* spp. e aos requisitos mínimos das normas.

A densidade verde é importante durante as etapas de abastecimento, compra e venda de madeira pelas empresas. Isso porque as transações comerciais de madeira entre produtores e empresas são feitas por peso ou volume. Núñez (2007) cita que tal parâmetro é utilizado principalmente para calcular o peso da carga dos veículos de extração e transporte de madeira dos reflorestamentos até às empresas madeireiras. Assim, é importante saber relacionar peso, volume e densidade da madeira para facilitar a negociação, sem perdas por

ambas as partes (Oliveira et al., 2011). A densidade verde da madeira representa o ponto de saturação máximo da árvore, e esse teor de umidade influencia tanto no peso como no volume da madeira (Lousada et al., 2008). Desta forma quando se conhece a densidade verde, é possível estimar o volume de madeira da carga de um caminhão, quando esse é pesado, sendo essa a principal forma de comércio de madeira atual, por ser mais rápido e prático.

Observa-se que a contração linear total foi maior no sentido tangencial, seguida da radial e da longitudinal (Tabela 1). Na Tabela 4 encontram-se valores de contração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica, bem como do coeficiente de anisotropia da madeira de *C. japonica*, citados por outros autores para a mesma espécie e outras espécies de coníferas.

Oliveira et al. (2010) enfatizam que para a seção longitudinal os valores, normalmente, não ultrapassam 1%. Tal fato justifica-se pela orientação primordial dos elementos celulares, que estão na sua maioria no sentido vertical ou longitudinal, com um número menor de paredes neste sentido.

Com relação ao índice de contração total volumétrica, o valor médio registrado neste estudo (7,57%) é inferior ao observado por Carneiro et al. (2009) e Fonte et al. (2017) para a mesma espécie em idade superior.

Comparando-se os resultados de contração total da madeira de *C. japonica* com espécies de *Pinus* de mesma idade, observa-se que as contrações linear e volumétrica da madeira de *C. japonica* são inferiores ao registrado por Santini et al. (2000) com as madeiras de *P. taeda* e *P. elliottii*, o que indica as melhores características de estabilidade dimensional da espécie avaliada no presente estudo.

Conforme evidenciado da Tabela 4, o coeficiente de anisotropia obtido para a madeira de *C. japonica* (2,62) foi semelhante ao registrado por outros autores com a mesma espécie, porém superior em comparação ao *P. taeda*. Com base na classificação de Durlo & Marchiori (1992), a madeira de *C. japonica* empregada neste estudo é considerada de alta instabilidade, o que torna necessário o emprego de um programa de secagem de baixa agressividade a fim de se evitar a incidência de defeitos de secagem nas peças de madeira serrada.

De acordo com Muniz (1993), as divergências existentes entre resultados de estudos disponíveis na literatura é um fato bastante comum, uma vez que esses valores são alterados pela porcentagem de lenho juvenil e adulto. Além disso, os constituintes anatômicos da madeira, que são resultado das influências climáticas e silviculturais.

Tabela 4. Contrações e coeficiente de anisotropia da madeira de diferentes espécies de coníferas.

Table 4. Wood contractions and anisotropy coefficient of different conifer species.

Espécie	Idade (anos)	CL (%)	CR (%)	CT (%)	CV (%)	CA	Fonte
<i>Cryptomeria japonica</i>	14	-	2,96	6,59	9,96	2,54	Carneiro et al. (2009)
<i>C. japonica</i>	22	0,90	3,00	7,10	10,90	2,60	Pereira et al. (2003)
<i>Pinus taeda</i>	17	-	3,38	6,44	10,64	2,20	Trianoski et al. (2013b)
<i>P. taeda</i>	13	-	4,40	6,50	10,90	-	Santini et al. (2000)
<i>P. elliottii</i>	13	-	3,90	5,80	9,8	-	Santini et al. (2000)

Em que: CL = contração longitudinal; CR = contração radial; CT = contração tangencial; CV = contração volumétrica; CA = coeficiente de anisotropia

Características químicas

Na Tabela 5 são apresentadas as características químicas de diferentes espécies de coníferas. Os valores obtidos para a madeira de *C. japonica* no presente estudo (Figura 1) estão consoantes com os citados na literatura para a espécie (Pereira et al., 2003; Fonte et al., 2017; Bonfatti Junior et al., 2019).

As madeiras de *C. japonica*, *C. lusitanica* e *Pinus* apresentam composição química similar, apesar de *C. japonica* apresentar teores de lignina mais elevados que as madeiras de *Pinus*.

A composição química pode afetar alguns usos da madeira, especialmente quando se trata da produção de polpa celulósica pelo processo químico, onde se busca

Tabela 5. Composição química da madeira de diferentes espécies de coníferas.**Table 5.** Chemical composition of wood of different conifer species.

Espécie	Idade (anos)	TC (%)	TE (%)	TL (%)	HC (%)	Fonte
<i>Cryptomeria japonica</i>	13	0,42	0,81	30,38	68,81	Bonfatti Junior et al. (2019)
<i>C. japonica</i>	22	-	4,90	32,70	62,50	Pereira et al. (2003)
<i>C. japonica</i>	35	0,39	3,77	35,46	-	Fonte et al. (2017)
<i>Cupressus lusitanica</i>	16	0,27	2,13	32,52	65,08	Vivian et al. (2020)
<i>C. lusitanica</i>	19	0,51	4,08	36,21	59,19	Almeida et al. (2016)
<i>Pinus taeda</i>	16	0,36	3,65	29,83	66,17	Ampessan et al. (2015)
<i>P. taeda</i>	21	-	2,83	26,71	70,46	Vivian et al. (2015)
<i>P. sylvestris</i>	45	-	6,40	25,61	67,99	Vivian et al. (2015)

Em que: TC = teor de cinzas; TE = teor de extrativos totais; TL = teor de lignina; HC = teor de holocelulose.

a individualização das fibras/traqueídes. Em vista disto, apenas o teor de lignina observado para a madeira de *C. japonica* (31,36%) pode ser considerado um problema visando o processo de polpação. É importante que o teor de lignina seja baixo, pois ele está relacionado com a carga alcalina necessária para o processo e interfere na qualidade da polpa celulósica.

O teor de extrativos encontrado para a madeira de *C. japonica* é baixo quando comparado com *P. taeda* e *P. sylvestris*. Baixo teor de extrativos é uma característica desejável para o processo de polpação, pois consomem a carga alcalina e podem gerar incrustações nos equipamentos e na polpa celulósica, conhecidos como *pitch*, que danificam os mesmos e interferem no processo (Barbosa et al., 2005). Em se tratando do teor de cinzas, este também deve ser baixo, pois pode causar problemas como corrosões, entupimentos e incrustações nos equipamentos industriais, sendo assim, um teor de cinzas baixo como o de *C. japonica* (0,32%) é desejável para o processo (Freddo et al., 1999). Por fim, o teor de holocelulose deve ser alto, pois se relaciona diretamente com o rendimento final em polpa. O valor observado para a *C. japonica* (66,18%) é satisfatório, quando comparado com os valores de *P. taeda* e *P. sylvestris*, que são espécies utilizadas no Brasil e Europa, respectivamente, para produção de polpa celulósica.

Características anatômicas

Na Tabela 6 são apresentadas as características anatômicas da madeira de *C. japonica* citadas por outros autores para *C. japonica* e para outras espécies de coníferas. O comprimento médio das traqueídes (2,18 mm), observado no presente estudo (Tabela 2), está

condizente com a literatura para a mesma espécie, porém é inferior ao observado para *C. lusitanica*. Quando se compara com o comprimento das traqueídes de *Pinus*, *C. japonica* apresenta elementos muito menores.

Os valores médios de largura, diâmetro de lúmen e espessura de parede observados nesse trabalho (25,06; 15,89 e 4,59 μm , respectivamente) estão abaixo do citado na literatura para a mesma espécie. De modo geral, todas as dimensões das traqueídes da madeira de *C. japonica* são inferiores, quando comparadas às principais espécies de coníferas utilizadas no Brasil (*P. taeda* e *P. elliottii*) e no mundo (*P. sylvestris*), como pode ser observado na Tabela 6.

A dimensão das traqueídes pode ser utilizada como um parâmetro para determinação do potencial de determinada madeira frente à produção de papel, por meio de indicadores de qualidade. Na Tabela 7 são apresentados indicadores da qualidade da madeira para fabricação de papel de *C. japonica* e de outras espécies de coníferas.

O valor encontrado de fração parede (36,93%) para a madeira de *C. japonica* está dentro da faixa de 35% a 50%, o que corresponde ao tipo de parede celular média, que apresentará uma rigidez média ao papel (Klock & Andrade, 2013). De acordo com Shimoyama & Wiecheteck (1993), tal valor pode ser considerado excelente. Segundo esses autores, valores abaixo de 40%, em geral, conferem uma alta resistência à tração e estouro, mostrando que as traqueídes podem se colapsar com maior facilidade, que confere maior resistência ao papel.

Conforme Nisgoski et al. (2012), o coeficiente de flexibilidade está relacionado ao grau de colapso das fibras durante o processo da fabricação de papel, sendo

Tabela 6. Dimensões das traqueídes da madeira de diferentes espécies de coníferas.**Table 6.** Tracheid dimensions of wood of different conifer species.

Espécie	Idade (anos)	C (mm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)	Fonte
<i>Cryptomeria japonica</i>	14	2,15	29,40	18,60	5,30	Carneiro et al. (2009)
<i>C. japonica</i>	22	2,21	30,10	19,20	5,50	Pereira et al. (2003)
<i>Cupressus lusitanica</i>	16	2,41	31,40	25,15	3,12	Vivian et al. (2020)
<i>C. lusitanica</i>	56	2,90	34,30	-	5,90	Pereira & Higa (2003)
<i>Pinus taeda</i>	9	3,61	41,67	30,63	5,52	Gomes (2009)
<i>P. taeda</i>	16	3,71	41,35	-	6,54	Ampessan et al. (2015)
<i>P. taeda</i>	21	3,50	40,55	27,71	6,41	Vivian et al. (2015)
<i>P. elliotii</i>	30	3,70	47,23	-	7,64	Muñiz (1993)
<i>P. sylvestris</i>	45	3,10	43,73	28,15	7,59	Vivian et al. (2015)

Em que: C = comprimento; L = largura; DL = diâmetro do lúmen; EP = espessura da parede celular.

Tabela 7. Indicadores da qualidade da madeira de diferentes espécies de coníferas para fabricação de papel.**Table 7.** Wood quality indicators of different conifer species for papermaking.

Espécie	Idade (Anos)	FP (%)	CF (%)	IR	IE	Fonte
<i>Cupressus lusitanica</i>	16	20,03	79,97	0,25	76,50	Vivian et al. (2020)
<i>Pinus taeda</i>	9	26,49	73,51	0,36	86,63	Gomes (2009)
<i>P. taeda</i>	16	29,98	70,02	0,47	93,44	Ampessan et al. (2015)
<i>P. taeda</i>	21	32,00	68,00	0,46	86,00	Vivian et al. (2015)
<i>P. sylvestris</i>	45	36,00	64,00	0,55	71,00	Vivian et al. (2015)

Em que: FP = fração parede; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IE = índice de enfieltamento.

que quanto maior o valor, maior a resistência à ruptura do papel. Segundo Costa (2011), quanto maior o coeficiente de flexibilidade, mais flexíveis serão as traqueídes, conferindo maior resistência à tração e ao estouro do papel. O valor encontrado para a madeira de *C. japonica* (61,23%) está na faixa de 50 a 75%, o que indica que ela apresentará um colapso parcial das traqueídes, com uma boa união e superfície de contato entre as mesmas (Nisgoski, 2005).

O índice de Runkel está associado à flexibilidade das fibras, conferindo capacidade de união das mesmas, sendo que quanto mais baixo o valor, melhor será o papel quanto à tração e ao arrebetamento (Nisgoski et al., 2012). O valor encontrado para a madeira de *C. japonica* (0,61) indica que a mesma apresenta boa qualidade para produção de papel, se enquadrando na categoria III (entre 0,50 e 1,00) da classificação criada por Runkel (Tostes et al., 2013).

O valor de índice de enfieltamento (87,78) observado indica, segundo Nisgoski et al. (2012), boa qualidade para o papel quanto ao rasgo e ao arrebetamento, por serem valores acima de 50.

Os índices de qualidade da madeira de *C. japonica* (Tabela 2) indicam que a mesma tem menor aptidão para produção de papel em comparação a *Pinus*, como pode ser observado na Tabela 7. Deve ser considerado que *C. japonica* não teve seleção ou programa de melhoramento genético para qualidade da madeira, como conduzido com *Pinus*, em especial *P. taeda* (Aguilar et al., 2011). Ainda assim, os indicadores da espécie mostram potencial para o seu uso na produção de celulose de fibra longa.

Conclusões

A madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta densidade básica classificada como baixa ou leve, baixos

valores de contração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica, porém elevado coeficiente de anisotropia, indicando a susceptibilidade dessa espécie frente aos defeitos de secagem. Foram observados baixos teores de extrativos e de cinzas, porém alto teor de lignina e traqueídes com dimensões inferiores a outras coníferas, porém seus indicadores para fabricação de papel são promissores, com boa qualidade pelo índice de Runkel e de enfielamento e média qualidade para coeficiente de flexibilidade e fração da parede.

As características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *C. japonica* indicam potencial para suprir a demanda de matéria-prima do setor industrial, especialmente na região Sul do Brasil.

Conflito de interesses

Os autores não têm conflito de interesse a declarar.

Contribuição de Autoria

Magnos Alan Vivian: conceituação; curadoria de dados; análise Formal; investigação; metodologia; escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição.

Karina Soares Modes: análise Formal; investigação; metodologia; supervisão.

Manoela Magnani Fogliatto: curadoria de dados; análise formal; investigação; metodologia.

Rafael Cavali Schlichting: curadoria de dados; análise formal; investigação; metodologia.

Ronan Corrêa: investigação; metodologia.

Évelyn Janaina Grosskopf: investigação; metodologia.

Mário Dobner Júnior: análise formal; investigação; metodologia; supervisão.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11.941:** madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190:** projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais. **Anuário estatístico de base florestal para o Estado de Santa Catarina 2016:** ano base 2015. Lages, 2016. 108 p.
- Aguiar, A. V. et al. **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas.** Colombo: Embrapa Floresta, 2011. 83 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 233). <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61074/1/Documento-233.pdf>.
- Almeida, C. C. F. et al. Applicability evaluation of *Cupressus lusitanica* for pulp production. **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, v. 18, n. 4, p. 651-662, 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000057>.
- Almeida, C. C. F. et al. Avaliação da qualidade da colagem de topo da madeira de *Cupressus lusitanica* Mill. para a produção de painéis colados lateralmente. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 9-19, 2017. <http://www.dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.01>.
- Ampessan, C. G. M. et al. Otimização do tempo de estocagem de cavacos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* para a produção de celulose e papel. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 885-893, 2015. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.13>.
- Andrade, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.:** influência da idade e classe de produtividade. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Barbosa, L. C. A. et al. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciencia & Engenharia**, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.
- Barrichelo, L. E. G. & Foelkel, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeiras. **Silvicultura**, v. 28, p. 732-733, 1983.
- Bonfatti Junior, E. A. et al. Kraft pulping and papermaking of *Cryptomeria japonica*. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 124, p. 811-822, 2019. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v47n124.22>.
- Carneiro, M. E. et al. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. DON. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 913-920, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v39i4.16328>.
- Carpanezzi, A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 103 p.
- Carvalho, P. E. R. Novas alternativas para reflorestamento. **Revista da Madeira**, n. 60, p. 66-67, 2001.
- Costa, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Dias, O. A. & Simonelli, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.
- Dobner Júnior, M. et al. Crescimento de um povoamento de *Cryptomeria japonica* no sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 39-46, 2013.
- Durlo, M. A. & Marchiori, J. N. C. **Tecnologia da madeira:** retratibilidade. Santa Maria, RS: CEPEF/FATEC, 1992. 33 p.
- Fantuzzi Neto, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft.** 2012. 105 f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Fonte, A. P. N. et al. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017. <https://doi.org/10.5965/223811711632017277>.
- Freddo, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 193-209, 1999.

- Gomes, F. A. **Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids para madeira de *Pinus taeda***. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- IWA Committee. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2020**: ano base 2019. São Paulo, 2020. 66 p.
- Klock, U. & Andrade, A. S. **Química da madeira**. 4. ed. Curitiba, 2013. 87 p.
- Lousada, J. et al. Relações entre peso, volume e densidade para a madeira de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) Cultivado em Portugal. **Silva Lusitana**, v. 2, n. 16, p. 183-196, 2008.
- Muñiz, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 252 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Nisgoski, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Nisgoski, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.
- Núñez, C. E. Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de Madera. **Revista Ciencia e Tecnologia**, v. 9, n. 7, p. 44-50, 2007.
- Oliveira, J. T. S. et al. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.
- Oliveira, E. B. et al. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal**. Colombo: Embrapa Floresta, 2011. 39 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 220). <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40634/1/Doc220.pdf>.
- Pereira, J. C. D. et al. **Propriedades da madeira do cedrinho japonês**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 88). https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPf-2009-09/35544/1/Com_tec88.pdf.
- Pereira, J. C. D. & Higa, R. C. V. **Propriedades da madeira de *Cupressus lusitanica* Mill.** Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 107). http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPf-2009-09/35567/1/Com_tec107.pdf.
- Palermo, G. P. et al. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2004.
- Santini, E. J. et al. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.
- Segura, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada**. 2015. 198 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Shimoyama, V. R. S. & Wiecheteck, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.
- Tappi. Technical Association of Pulp and Paper Industry. **Test Methods**. Atlanta, 2007. 2 v.
- Tostes, L. C. L. et al. Morfometria das fibras do sistema radicular de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Família Araceae; subgênero Meconostigma). **Biota Amazônia**, v. 3, n. 3, p. 15-22, 2013. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v3n3p15-22>.
- Trianoski, R. et al. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 57-64, 2013a.
- Trianoski, R. et al. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013b. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.071>.
- Vivian, M. A. et al. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 105, p. 183-191, 2015.
- Vivian, M. A. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Cupressus lusitanica* visando à produção de polpa celulósica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, e201901894, p. 1-9, 2020. <http://dx.doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201901894>.