

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS
FIBRAS DA MADEIRA DE ACORDO COM A INCLINAÇÃO DOS
ANÉIS DE CRESCIMENTO NA SEÇÃO TRANSVERSAL**

Edson Fernando Castanheira Rodrigues

São Carlos
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS
FIBRAS DA MADEIRA DE ACORDO COM A INCLINAÇÃO DOS
ANÉIS DE CRESCIMENTO NA SEÇÃO TRANSVERSAL**

Edson Fernando Castanheira Rodrigues

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de São Carlos
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil

Área de Concentração: Estruturas e
Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. André Luis
Christoforo

São Carlos
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Edson Fernando Castanheira Rodrigues, realizada em 24/02/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Andre Luis Christoforo (UFSCar)

Prof. Dr. Tulio Hallak Panzera (UFMG)

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco (UFMG)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família por sempre me apoiar desde meus estudos mais incipientes. Obrigado mãe Maria Abadia de Souza Castanheira Rodrigues, pai Sebastião Olegario Rodrigues, irmão Junior Sebastião Castanheira Rodrigues e ao meu tão saudoso e querido avô José Barbosa de Souza. Obrigado pelo amor de vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Luis Christoforo por toda atenção, carinho e esforços a mim destinados. Mais que um orientador, um ser humano de grande coração que tem a minha mais pura admiração. Muito obrigado por tudo, meu amigo.

Ao Prof. Dr. Tulio Hallak Panzera e ao Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco, pela disponibilidade em participarem das bancas de avaliação deste trabalho. Agradeço-os imensamente pelo zelo e por toda contribuição.

Aos profissionais do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM - USP), em especial ao Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr pela atenção, carinho e por todo conhecimento compartilhado. Sinto grato pela amizade e parceria construída ao longo desses últimos anos.

A todos os amigos que conheci em São Carlos, em especial aos amigos João Paulo Boff, Fernando Mascarenhas e Isabela Pietrobon pela parceria demonstrada durante toda essa caminhada.

Aos inestimáveis amigos e familiares de Campo Florido – MG e Uberaba – MG, pelo carinho, apoio, e por torcerem para a realização dessa conquista.

À minha namorada e amiga Gabriela Guedes pelo seu carinho, cuidado e por comemorar tão espontaneamente a minha aprovação na defesa do mestrado. Obrigado pelo companheirismo e pelos momentos de alegria.

Ao PPGE Civ pela oportunidade em cursar esse mestrado acadêmico que tanto me enriqueceu de conhecimento.

Ao apoio financeiro concedido pela CAPES, sendo que “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

Por fim, sou grato pela vida e por todos momentos vividos até aqui, pelo simples ato de respirar e sentir a brisa calma da manhã, bem como pela felicidade de vivenciar momentos de grande superação.

“Para criaturas tão pequenas como nós, a vastidão só é suportável através do amor” (CARL SAGAN, 1985).

Resumo

RODRIGUES, Edson Fernando Castanheira. **Análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de acordo com a inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal.** 2022. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) é bastante importante para que possa ser verificada no Estado Limite Último (ELU) de ligações (cisalhamento simples) e em peças fletidas e cisalhadas (cisalhamento transversal). A madeira é um material ortotrópico, no entanto a norma ABNT NBR 7190 (1997) não considera qualquer diferença na f_{v0} ao se mudar a direção de aplicação de carga em relação à disposição dos anéis de crescimento. Assim, este trabalho avalia se há uma diferença estatística entre os resultados médios da f_{v0} quando a carga é aplicada na direção tangencial (Tan) e a na direção radial (Rad) da seção transversal de espécimes de doze espécies do grupo das folhosas. Os achados foram explicados por meio da anatomia dessas madeiras. Os protocolos da ABNT NBR 7190 (1997) foram considerados para a obtenção da f_{v0} em um plano de aplicação da força tangenciando os anéis de crescimento (240 ensaios) e na orientação radial (240 ensaios) da seção, além da determinação dos seus valores característicos ($f_{v0,k}$). Ainda foram utilizados 240 espécimes em cada um dos ensaios de umidade, densidade aparente e de compressão paralela às fibras. O último se fez importante por obter o valor característico ($f_{c0,k}$) e classificar mecanicamente as espécies, enquanto que o ensaio de umidade e de densidade aparente foram imprescindíveis por se tratar de um material higroscópico. A respeito dos valores da f_{v0} , esses foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância, enquanto que os testes de Anderson Darling (AD) e o de comparações múltiplas (CM) foram realizados para a validação da ANOVA. Com relação aos resultados encontrados, os valores de densidade aparente variaram de 437 Kg/m³ para a *Simarouba amara* (Caixeta) até 1013,00 Kg/m³ para a *Peltogyne* spp. (Roxinho), enquanto que a resistência média na compressão variou de 32 MPa para a Caixeta até 93,72 MPa para a *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá). Já com relação aos valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo, apenas as espécies de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra), *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa) e *Couratari* sp. (Tauari) exibiram valores estatisticamente diferentes quando se mudou o plano de aplicação de carga, alcançando-se relações entre o plano longitudinal tangencial (LT) e longitudinal radial (LR) [$f_{v0,T}/f_{v0,R}$] iguais a: 0,50, 1,39 e 0,90, juntamente das relações para valores característicos ($f_{v0T,k}/f_{v0R,k}$) de 0,33, 1,65 e 0,85. Assim, foi identificado que quando a espécie exibe as paredes de suas fibras espessas/lúmen delgado e abundância de parênquima axial, a direção menos resistente foi a paralela aos seus anéis de crescimento (Angelim-pedra e Tauari), enquanto que quando apresenta fibras com paredes delgadas/lúmen espesso, mesmo exibindo abundância de parênquima axial, a direção de menor resistência se torna a perpendicular/radial (Cambará-rosa). Ainda foi encontrado que com exceção da espécie de Angelim-pedra que apresentou na sua direção tangencial uma resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) equivalente a 10% da resistência característica na compressão paralela ($f_{c0,k}$), as demais espécies e direções analisadas nunca apresentaram $f_{v0,k}$ menor que 22% do valor da $f_{c0,k}$, evidenciando uma norma conservadora ao prescrever que $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ seja igual a 0,12 (12%) para todas as espécies de folhosas. Por último, foi identificada uma tendência da norma brasileira em apresentar valores de f_{v0} consideravelmente subestimados na comparação com esse e até outros estudos, sendo que no pior caso, a espécie de Cambará-rosa chegou a apresentar um valor de f_{v0} no seu plano LT ($f_{v0,T}$) equivalente a 238% do determinado pela ABNT NBR 7190 (1997).

Palavras-chave: Madeiras folhosas; resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; direção tangencial e radial da seção; espessura das fibras; parênquima axial.

Abstract

RODRIGUES, Edson Fernando Castanheira. **Análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de acordo com a inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal.** 2022. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

The shear strength parallel to the fibers (f_{v0}) is quite important, so that it can be verified in the Ultimate Limit State (ULS) of connections (simple shear) and in bending and sheared beams (transverse shear). Wood is an orthotropic material, however the ABNT NBR 7190 (1997) standard does not consider any difference in f_{v0} changing the loading direction in terms of growth ring arrangements. So, this work assesses whether there is a statistical difference between the mean f_{v0} results when the load is applied in the tangential (Tan) and radial (Rad) directions of specimens' cross-section of twelve species of the hardwood group. The findings are explained through the anatomy of these wood species. The protocols of ABNT NBR 7190 (1997) are considered to obtain f_{v0} in a plane tangential to the growth rings (240 tests) and in the radial orientation (240 tests) of the section, in addition to their characteristic values ($f_{v0,k}$). Moreover, 240 samples were used in each test of moisture content, apparent density and compression parallel to the fibers. The latter is important to obtain the characteristic value ($f_{c0,k}$) and classify mechanically the species, while the moisture content test and apparent density were essential because it is a hygroscopic material. Regarding the f_{v0} values, these were analyzed by means of analysis of variance (ANOVA) at a 5% significance level, while the Anderson Darling (AD) and multiple comparisons (MC) tests were performed for the ANOVA validation. Regarding the results found out, the apparent density values ranged from 437 Kg/m³ for *Simarouba amara* (Caixeta) to 1013.00 Kg/m³ for *Peltogyne* spp. (Roxinho), while the average compressive strength ranged from 32 MPa for Caixeta to 93.72 MPa for *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá). In relation to the mean parallel shear strength values, only the species of *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra), *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa) and *Couratari* sp. (Tauari) exhibited statistically different values when the load application plane was changed, reaching ratios between the tangential longitudinal (LT) and radial longitudinal (LR) planes ($f_{v0,T}/f_{v0,R}$) equal to: 0.50, 1.39 and 0.90, along with their ratios for characteristic values of 0.33, 1.65 and 0.85, respectively. Thus, it was identified that when the species exhibit thick fiber walls/thin lumen and abundance of axial parenchyma, the weakest strength direction was the parallel to its growth rings (Angelim-pedra and Tauari), on the other hand, when it presents fibers with thin walls/thick lumen, even exhibiting abundance of axial parenchyma, the lower strength direction turns to be the perpendicular/radial one (Cambará-rosa). It was also found that except for the species of Angelim-pedra, which presented in its tangential direction a characteristic shear strength parallel to the fibers ($f_{v0,k}$) equivalent to 10% of the characteristic strength in parallel compression ($f_{c0,k}$), the other species and directions analyzed never presented $f_{v0,k}$ less than 22% of the value of $f_{c0,k}$, evidencing a conservative standard in prescribing that $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ is equal to 0.12 (12%) for all hardwood species. Lastly, it was identified a tendency of the Brazilian standard to present considerably underestimated f_{v0} values in comparison to this and even other works, so that in the worst case, the Cambará-rosa species reaches a value of f_{v0} in its LT plane ($f_{v0,T}$) equivalent to 238% of that determined by ABNT NBR 7190 (1997).

Keywords: Hardwoods; shearing strength parallel to the fibers; tangential and radial direction of the section; fiber thickness; axial parenchyma.

Figura 1.1: Representação das Células de parênquima da espécie <i>Simarouba amara</i> Aubl. (Caixeta)	12
Figura 1.2: Falha por cisalhamento longitudinal	14
Figura 2.1: Imagens macro e micro da espécie de <i>Hymenolobium petraeum</i> (Angelim-pedra)	18
Figura 2.2: Imagens macroscópicas da espécie <i>Protium</i> sp. (Breu-vermelho)	25
Figura 2.3: Imagens macro e micro da espécie de <i>Simarouba amara</i> (Caixeta)	29
Figura 2.4: Floema incluso, presente nas faixas do parênquima.....	36
Figura 2.5: Imagens macro e micro da espécie de <i>Erisma uncinatum</i> (Cambará-rosa).....	38
Figura 2.6: Imagens macro e micro da espécie <i>Goupia Glabra</i> (Cupiúba)	48
Figura 2.7: Imagens macro e micro da espécie <i>Hymenaea stilbocarpa</i> (Jatobá).....	59
Figura 2.8: Imagens macro e micro da espécie <i>Ocotea guianensis</i> (Louro-preto).....	67
Figura 2.9: Imagens macro da espécie <i>Ocotea</i> sp. (Louro-preto).....	68
Figura 2.10: Imagens macro e micro da espécie <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)	75
Figura 2.11: Imagens macro e micro da espécie de <i>Aspidosperma polyneuron</i> (Peroba-rosa)	82
Figura 2.12: Imagens macro e micro da espécie de <i>Peltogyne cattingae</i> (Roxinho)	90
Figura 2.13: Imagens macro e micro da espécie de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	100
Figura 2.14: Imagens macro e micro da espécie de <i>Couratari guianensis</i> (Tauari)	110
Figura 3.1: Máquina AMSLER (ensaios mecânicos)	126
Figura 3.2: Corpo de prova para o ensaio de umidade	127
Figura 3.3: Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento com medidas em milímetro (mm)	128
Figura 3.4: Arranjo do ensaio de cisalhamento paralelo em milímetros	129
Figura 3.5: Ensaio de cisalhamento com corpo de prova de Caixeta	129
Figura 3.6: Corpo de prova para o ensaio de compressão com medidas em milímetro (mm)	130
Figura 3.7: Arranjo do ensaio de Compressão paralela	130
Figura 3.8: Ensaio de compressão paralela com o corpo de prova de Tauari	131
Figura 4.1: Gráfico do intervalo de confiança da f_{v0} por espécie e direção de aplicação da força.....	142
Figura 4.2: Gráfico do Intervalo de confiança para os valores médios da f_{v0} sem distinção de direção	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-Pedra.....	19
Tabela 2.2: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-pedra	19
Tabela 2.3: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-Pedra.....	19
Tabela 2.4: Propriedades físicas da madeira de Angelim-Pedra.....	20
Tabela 2.5: Propriedades físicas da madeira de Angelim-Pedra.....	20
Tabela 2.6: Propriedades mecânicas da madeira de Angelim-Pedra	21
Tabela 2.7: Composição química da madeira de Angelim-Pedra	21
Tabela 2.8: Propriedades químicas da madeira de Angelim-Pedra.....	22
Tabela 2.9: Empenos na madeira de Angelim-Pedra	22
Tabela 2.10: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Angelim-Pedra	23
Tabela 2.11: Propriedades colorimétricas da espécie de Breu-vermelho	24
Tabela 2.12: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) [Breu]	26
Tabela 2.13: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Caixeta	30
Tabela 2.14: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da Caixeta.....	31
Tabela 2.15: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Simarouba amara</i> (Caixeta)....	32
Tabela 2.16: Propriedades físicas da madeira de Caixeta	32
Tabela 2.17: Propriedades mecânicas da madeira de Caixeta	33
Tabela 2.18: Composição química da madeira de Caixeta	33
Tabela 2.19: Composição química da madeira de <i>Simarouba amara</i> (Caixeta).....	34
Tabela 2.20: Propriedades colorimétricas para a madeira de Cambará-rosa	36
Tabela 2.21: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Erisma uncinatum</i> (Cambará- rosa).....	39
Tabela 2.22: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cambará-rosa	39
Tabela 2.23: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cambará-rosa	39
Tabela 2.24: Valores das propriedades físicas da madeira de Cambará-rosa	40
Tabela 2.25: Valores das propriedades mecânicas da madeira de Cambará-rosa.....	40
Tabela 2.26: Propriedades mecânicas para madeira de Cambará-rosa.....	41
Tabela 2.27: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da Cambará-rosa	42
Tabela 2.28: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Erisma uncinatum</i> (Cambará- rosa).....	43
Tabela 2.29: Propriedades físicas da madeira de Cambará-rosa.....	43
Tabela 2.30: Propriedades mecânicas da madeira de Cambará-rosa.....	44
Tabela 2.31: Composição química da madeira de Cambará-rosa.....	44
Tabela 2.32: Composição química da madeira de <i>Erisma uncinatum</i> (Cambará-rosa)	45
Tabela 2.33: Propriedades anatômicas da madeira de Cupiúba	46
Tabela 2.34: Propriedades colorimétricas para a madeira de Cupiúba	49
Tabela 2.35: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba.....	49
Tabela 2.36: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba.....	50
Tabela 2.37: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba.....	50
Tabela 2.38: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba	51
Tabela 2.39: Valores médios dos módulos dinâmicos e estático para a madeira de Cupiúba	51
Tabela 2.40: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Goupia Glabra</i> (Cupiúba).....	52
Tabela 2.41: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba	52
Tabela 2.42: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba	53
Tabela 2.43: Propriedades mecânicas da madeira de Cupiúba	53
Tabela 2.44: Características de secagem da madeira de Cupiúba	54
Tabela 2.45: Composição química da madeira de <i>Goupia Glabra</i> (Cupiúba).....	54
Tabela 2.46: Propriedades químicas da madeira de Cupiúba	55
Tabela 2.47: Empenos na madeira de Cupiúba	55

Tabela 2.48: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Cupiúba	56
Tabela 2.49: Propriedades colorimétricas para a madeira de <i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)	57
Tabela 2.50: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Jatobá (<i>Hymenaea</i> spp.)	60
Tabela 2.51: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Jatobá	60
Tabela 2.52: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)	61
Tabela 2.53: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Hymenaea parvifolia</i> (Jatobá)..	61
Tabela 2.54: Propriedades físicas da madeira de Jatobá.....	61
Tabela 2.55: Propriedades físicas da madeira de <i>Hymenaea stilbocarpa</i> (Jatobá)	62
Tabela 2.56: Propriedades mecânicas da madeira de <i>Hymenaea stilbocarpa</i> (Jatobá)	62
Tabela 2.57: Propriedades físicas da madeira de <i>Hymenaea</i> sp. (jatobá).....	63
Tabela 2.58: Propriedades físicas da madeira de Jatobá.....	63
Tabela 2.59: Propriedades mecânicas da madeira de Jatobá.....	64
Tabela 2.60: Composição química da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i>	64
Tabela 2.61: Composição química da madeira de <i>Hymenaea parvifolia</i>	64
Tabela 2.62: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Ocotea</i> spp. (Louro-preto)	68
Tabela 2.63: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Ocotea</i> sp. (Louro-preto)	69
Tabela 2.64: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Ocotea</i> sp. (Louro-canela)	69
Tabela 2.65: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Ocotea</i> sp. (Louro-cunuaru)....	70
Tabela 2.66: Composição química da madeira de <i>Ocotea</i> sp. (Louro Preto)	70
Tabela 2.67: Propriedades colorimétricas da madeira de <i>Caryocar glabrum</i> (Pequiarana) ..	71
Tabela 2.68: Propriedades anatômicas da madeira de <i>Caryocar glabrum</i> (Piquiarana)	73
Tabela 2.69: Dados qualitativos sobre a anatomia microscópica da espécie de <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá).....	73
Tabela 2.70: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá).....	76
Tabela 2.71: Propriedades físicas da madeira de <i>Caryocar glabrum</i> (Piquiarana)	76
Tabela 2.72: Propriedades físicas da madeira de <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)	77
Tabela 2.73: Composição química da madeira de <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)	78
Tabela 2.74: Características de secagem da madeira de <i>Caryocar glabrum</i> (Piquiarana) ...	78
Tabela 2.75: Composição química da madeira de <i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)	78
Tabela 2.76: Propriedades anatômicas microscópicas da espécie de <i>Aspidosperma polyneuron</i> (Peroba-rosa)	80
Tabela 2.77: propriedades mecânicas da madeira de <i>Aspidosperma polyneuron</i> (Peroba Rosa)	83
Tabela 2.78: Características físico-mecânicas da madeira de <i>Aspidosperma populifolium</i> A. DC. (Peroba-mica)	84
Tabela 2.79: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Peroba-rosa.....	85
Tabela 2.80: Propriedades físicas da madeira de Peroba-rosa.....	85
Tabela 2.81: Propriedades mecânicas da madeira de Peroba-rosa	85
Tabela 2.82: propriedades químicas da espécie de <i>Aspidosperma polyneuron</i> (Peroba-rosa)	86
Tabela 2.83: Propriedades colorimétricas da madeira de <i>Peltogyne confertiflora</i> (Roxinho)	88
Tabela 2.84: Propriedades anatômicas da madeira de <i>Peltogyne cf. subsessilis</i> (Roxinho)	89
Tabela 2.85: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Peltogyne paniculata</i> Benth. (Roxinho)	91
Tabela 2.86: Propriedades físicas da madeira de <i>Peltogyne cf. subsessilis</i> (Roxinho).....	91
Tabela 2.87: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da <i>Peltogyne</i> sp. (Roxinho)	92
Tabela 2.88: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Peltogyne recifenses</i> (Roxinho)	93
Tabela 2.89: Propriedades físicas da madeira de <i>Peltogyne confertiflora</i> (Roxinho)	93
Tabela 2.90: Propriedades mecânicas da madeira de <i>Peltogyne confertiflora</i> (Roxinho)	94
Tabela 2.91: Propriedades físicas da madeira de Roxinho	94
Tabela 2.92: Propriedades mecânicas da madeira de Roxinho	95
Tabela 2.93: Características de secagem da madeira de <i>Peltogyne cf. subsessilis</i> (Roxinho)	95

Tabela 2.94: Composição química da madeira de <i>Peltogyne recifenses</i> (Roxinho)	96
Tabela 2.95: Propriedades colorimétricas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba) ...	97
Tabela 2.96: Dados qualitativos sobre a anatomia microscópica da espécie de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba).....	98
Tabela 2.97: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	101
Tabela 2.98: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	101
Tabela 2.99: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	102
Tabela 2.100: Características físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	102
Tabela 2.101: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da <i>Bagassa guianenses</i> (Tatajuba)	103
Tabela 2.102: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianenses</i> (Tatajuba)	104
Tabela 2.103: Propriedades físicas da madeira de <i>Bagassa guianenses</i> (Tatajuba)	104
Tabela 2.104: Propriedades físico-mecânicas da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba)	105
Tabela 2.105: Composição química da madeira de <i>Bagassa guianensis</i> (Tatajuba).....	106
Tabela 2.106: Propriedades colorimétricas para a madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari)	107
Tabela 2.107: Propriedades colorimétricas da madeira de <i>Couratari</i> sp. (Tauari)	107
Tabela 2.108: Propriedades colorimétricas da madeira de Tauari	108
Tabela 2.109: Propriedades físico-mecânicas das madeiras de Tauari	111
Tabela 2.110: Características físico-mecânicas da madeira de Tauari-rosa e Tauari-vermelho	112
Tabela 2.111: Propriedades físicas da madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari).....	112
Tabela 2.112: Propriedades mecânicas da madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari).....	112
Tabela 2.113: Propriedades físicas da madeira de Tauari	113
Tabela 2.114: Propriedades físicas da madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari).....	114
Tabela 2.115: Propriedades mecânicas da madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari).....	114
Tabela 2.116: Composição química das madeiras de Tauari.....	115
Tabela 2.117: Propriedades químicas da madeira de Tauari	115
Tabela 2.118: Empenos na madeira de Tauari	116
Tabela 2.119: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Tauari	117
Tabela 2.120: Principais propriedades anatômicas utilizadas no trabalho.....	118
Tabela 3.1: Espécies estudadas no trabalho	125
Tabela 4.1: Estatísticas descritivas dos resultados da densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$)	133
Tabela 4.2: Estatísticas e determinações acerca da resistência na compressão paralela..	136
Tabela 4.3: Estatística dos resultados da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) de cada espécie e plano de análise.....	140
Tabela 4.4: Estatística dos resultados da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) considerando os dois planos de análise.....	141
Tabela 4.5: Estimativa do valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) por plano de análise.....	148
Tabela 4.6: Resultados da análise de variância e dos testes de validação da ANOVA.....	150

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 FICHAS DESCRITIVAS DAS ESPÉCIES DE MADEIRA ESTUDADAS.....	15
2.1.1 ANGELIM-PEDRA (<i>Hymenolobium petraeum</i>).....	15
2.1.2 BREU-VERMELHO (<i>Protium sp.</i>).....	23
2.1.3 CAIXETA (<i>simarouba amara</i>).....	26
2.1.4 CAMBARÁ-ROSA (<i>Erismia uncinatum</i>)	34
2.1.5 CUIPIÚBA (<i>Goupia glabra</i>).....	45
2.1.6 JATOBÁ (<i>Hymenaea stilbocarpa</i>).....	56
2.1.7 LOURO PRETO (<i>Ocotea spp.</i>).....	65
2.1.8 PEQUIÁ [<i>Caryocar villosum (Aubl.) Pers.</i>].....	70
2.1.9 PEROBA-ROSA (<i>Aspidosperma polyneuron</i>).....	78
2.1.10 ROXINHO (<i>Peltogyne spp.</i>)	86
2.1.11 TATAJUBA (<i>Bagassa guianensis Aubl.</i>).....	96
2.1.12 TAUARI (<i>Couratari sp.</i>)	106
2.1.13 RESUMO DA ANATOMIA DAS ESPÉCIES	117
2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ENVOLVENDO PLANOS DIFERENTES DE APLICAÇÃO DE CARGA NA SEÇÃO TRANSVERSAL	118
3 MATERIAIS E MÉTODOS	124
3.1 ENSAIO DE UMIDADE	126
3.2 ENSAIO DE DENSIDADE APARENTE	127
3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO.....	127
3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA	129
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	131
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	132
4.1 DENSIDADE APARENTE	132
4.2 COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	135
4.3 CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS.....	139
5 CONCLUSÕES	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159

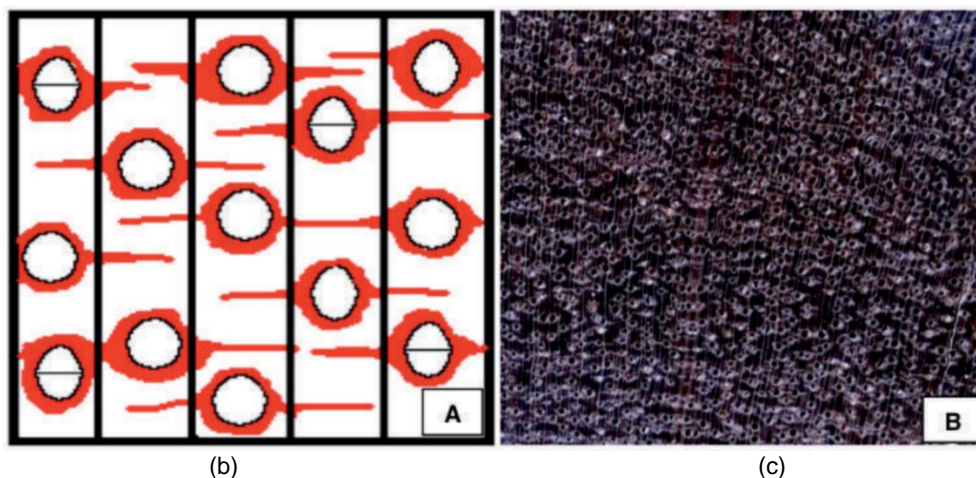
1. Introdução

A madeira é a matéria-prima mais antiga empregada em construções. Dentre as características que facilitam seu uso, pode ser citada a facilidade de seu manuseio (facilidade de usinagem), além de ser um material natural, renovável, biodegradável, abundante em terras brasileiras e com boa resistência ao fogo. Além dessas vantagens, ainda pode ser destacada a sua alta resistência pelo seu peso próprio, que inclusive chega a ser três vezes maior que a do aço e doze vezes maior que a do concreto (ALMEIDA *et al.*, 2020).

A madeira também tem um comportamento mecânico diferenciado quando comparada com o concreto e o aço. Suas propriedades mecânicas variam dependendo da orientação em que é solicitada, tendo então resistências diferentes na direção longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T), que por sua vez a classificada como um material ortotrópico. Logo, devido à sua composição natural, complexa e heterogênea, é importante que se verifique tanto as suas resistências quanto as suas rigidezes em direções/planos diferentes de aplicação de carga com relação aos seus próprios anéis de crescimento (AKTER; SERRANO; BADER, 2021; LI *et al.*, 2021).

Na Figura 1.1 pode ser notada parte de tal complexidade pela presença de células de parênquima (Amilíferos) agrupadas paralelamente aos anéis de crescimento da madeira, as quais representam um ponto de menor resistência pelo ponto de vista mecânico, visto que se trata de células geralmente não lignificadas e que servem de depósito de diversas substâncias.

Figura 1.1: Representação das Células de parênquima da espécie *Simarouba amara* Aubl. (Caixeta)



(a) Desenho esquemático & (b) Plano transversal (imagem macroscópica)
Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

Logo, dentre as propriedades mecânicas a serem analisadas na madeira, destaca-se a resistência ao cisalhamento, indispensável para o cálculo de ligações na madeira e para a

verificação no Estado Limite Último em peças submetidas à flexão e a esforço cisalhante, e com um plano de corte que pode coincidir, por exemplo, com a linha axial de células de parênquima e que ao mesmo tempo acompanha o alinhamento dos anéis de crescimento no plano transversal da madeira. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas através do documento de normatização ABNT NBR 7190 (1997) é que trata do cálculo e dimensionamento de estruturas de madeira, além de descrever todos os métodos e recomendações de ensaios para a determinação de propriedades físico-mecânicas de tal material.

No entanto, tal normativa não leva em consideração possíveis alterações que podem haver na resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira devido à variação, por exemplo, da presença de células de parênquima axial ou radial, da quantidade e diâmetro dos vasos e sua porosidade na seção transversal, da espessura das fibras e de seu lúmen e da presença ou não de demarcação dos anéis de crescimento, que separadamente ou ainda em conjunto podem vir a influenciar a resistência ao cisalhamento paralelo analisada em planos diferentes de aplicação de carga (longitudinal radial e longitudinal tangencial). Ademais ela ainda recomenda que para espécies usuais, os valores característicos da resistência ao cisalhamento paralelo ($f_{v0,k}$) possam ser estimados através do valor característico da resistência na compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) da seguinte forma:

$$\text{Coníferas: } f_{v0,k} = 0,15 * f_{c0,k}$$

$$\text{Folhosas: } f_{v0,k} = 0,12 * f_{c0,k}$$

Porém essas relações não levam em conta uma variação do plano de aplicação de carregamento. Portanto, como a norma ABNT NBR 7190 (1997) não faz qualquer menção sobre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira poder resultar em valores significativamente diferentes quando solicitada na direção paralela (tangencial) [$f_{v0,T}$] ou perpendicular (direção radial) [$f_{c0,R}$] aos seus anéis de crescimento, assume-se que tal norma trata que a igualdade de $f_{v0,T} = f_{v0,R}$ seja verdadeira.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é o de investigar a influência causada na resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira quando essa for solicitada perpendicularmente (direção radial) [$f_{v0,R}$] ou paralelamente (direção tangencial) [$f_{v0,T}$] aos seus anéis de crescimento. Já os objetivos específicos são:

- Verificar se para a igualdade $f_{v0,T} = f_{v0,R}$ há equivalência estatística para cada espécie (12) do grupo das folhosas ensaiada nessa pesquisa, visto que a ABNT NBR 7190 (1997) não faz qualquer distinção para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira quando solicitada na direção radial ou tangencial na seção transversal;
- Encontrar uma relação tanto para valores médios ($f_{v0,T}/f_{v0,R}$) quanto para característicos ($f_{v0T,k}/f_{v0R,k}$) caso não haja equivalência estatística entre os valores médios da resistência ao cisalhamento [$f_{v0,T} = f_{v0,R}$] das espécies;
- Verificar se a relação prescrita pela norma de $f_{v0,k} = 0,12 \times f_{c0,k}$ para espécies folhosas se aplica para as espécies desse trabalho, de forma que uma nova relação de $f_{v0,k} = \lambda \times f_{c0,k}$ para cada espécie e direção de aplicação da força na seção transversal será prescrita, caso necessário;
- Explicar as variações estatisticamente significativas de $f_{v0,T}$ para $f_{v0,R}$ através da anatomia das espécies;
- Verificar a umidade, densidade aparente e resistência na compressão paralela das espécies do trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para que estruturas de madeira sejam projetadas com maior segurança e ao mesmo tempo com economia, o conhecimento de suas propriedades mecânicas é imprescindível. Dentre tais propriedades, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras é muito importante para as verificações do Estado Limite Último de ligações (ruptura por cisalhamento simples, ex.: entalhes e sambladuras nas extremidades das tesouras de coberturas) e Estado Limite Último em viga fletida devido à aplicação de carregamento transversal ao seu eixo longitudinal (Tensão de cisalhamento máxima igual a 1,5 vezes a tensão de cisalhamento simples em seções retangulares), como é o caso da viga ensaiada na flexão a três pontos que veio a falhar por cisalhamento longitudinal, ilustrada na Figura 1.2.

Figura 1.2: Falha por cisalhamento longitudinal



Fonte: Matos e Molina (2016)

A Norma ABNT NBR 7190 de forma indireta admite que a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira assume o mesmo valor independentemente desse material ser solicitado na direção paralela (tangencial) ou perpendicular (radial) aos seus anéis de crescimento. Devido à anatomia complexa da madeira, como descrito por Matos e Molina (2016), tal variação da posição dos anéis de crescimento pode levar a uma minoração inesperada da resistência ao cisalhamento, logo se fazendo de grande interesse que seja investigada a equivalência dos valores de resistência quando a madeira é cisalhada na direção paralela e/ou perpendicular [$f_{v0,T} = f_{v0,R}$] aos seus anéis de crescimento.

Por último, a não equivalência entre os valores [$f_{v0,T} = f_{v0,R}$] certamente levaria a adoção de novos valores para a relação apresentada pela ABNT NBR 7190 (1997) que diz que na falta de ensaios para espécies usuais pode-se tomar que $f_{v0,k} = 0,12 * f_{c0,k}$ para as madeiras do grupo das folhosas, sem fazer qualquer distinção da direção do plano de falha (corte) com relação à seção transversal (direção tangencial ou radial) quando a carga na madeira está orientada na direção paralela às fibras.

2 Revisão bibliográfica

A revisão dessa pesquisa foi realizada por meio de trabalhos científicos nacionais e internacionais que refletem o estado da arte em que se encontra a temática aqui estudada. Os mecanismos de busca utilizados foram o Google Scholar, Periódicos Capes e o Web of Science, além do endereço eletrônico de revistas relacionadas a área do conhecimento: Estruturas de madeira, Propriedades mecânicas da madeira e Anatomia da madeira.

2.1 FICHAS DESCRITIVAS DAS ESPÉCIES DE MADEIRA ESTUDADAS

Nos próximos subitens (2.1.1 a 2.1.13) foram descritas as 12 espécies de madeira do grupo das folhosas utilizadas e investigadas nesse trabalho. As espécies foram apresentadas por ordem alfabética, de acordo com o seu nome popular, sendo que no último subitem 2.1.13, foi exibido um resumo acerca da anatomia das espécies estudadas.

2.1.1 ANGELIM-PEDRA (*HYMENOLOBIUM PETRAEUM*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, que foram todas incluídas dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e

demais características encontradas na literatura para a espécie de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra).

2.1.1.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Angelim-pedra também conhecida como angelim, angelim-amarelo, angelim-da-mata, angelim-do-pará, angelim-macho, mirarema, angelim grande, e cientificamente conhecida como *Hymenolobium petraeum* é pertencente à família Leguminosae, e pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Guiana, Guiana Francesa, Suriname, sendo que esses estados brasileiros e os outros três países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações externas, como em pontes, postes, mourões, estacas e dormentes, ou ainda em ambiente interno, como em vigas, caibros, partes secundárias e em ripas. Ademais, ainda pode ser utilizada para usos mais leves, como em esquadrias (porta, venezianas e caixilhos), decoração (forros e lambris), uso temporário (pontaletes, andaimes e fôrmas para concreto) e para Mobiliário (móveis estândar, cabos para cutelaria e lâminas decorativas) [IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021].

Já com relação às suas características organolépticas (sensoriais), possui cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho-avermelhado claro ou escuro, com manchas castanhas mais escuras devido à exsudação de óleo-resina, alburno castanho-pálido; brilho ausente; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; dura ao corte; grã irregular (direita à reversa); textura grossa e aspecto fibroso (IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Angelim-Pedra se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível a olho nu, paratraqueal (envolvendo e ligando os vasos) aliforme, confluyente em trechos longos tendendo a formar faixas largas (IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Seus raios são visíveis a olho nu no topo e na face tangencial na qual sua estratificação (2 a 3 por mm) é regular; existe em quantidade numerosa, apesar de sua espessura fina. Já seus vasos são visíveis a olho nu, de tamanho médio a grande, em pouca quantidade, apresentando porosidade difusa e dispostos de forma solitária ou em múltiplos, às vezes em cadeias radiais, sem preenchimento no seu interior ou com substância esbranquiçada ou amarelada (IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021). As suas

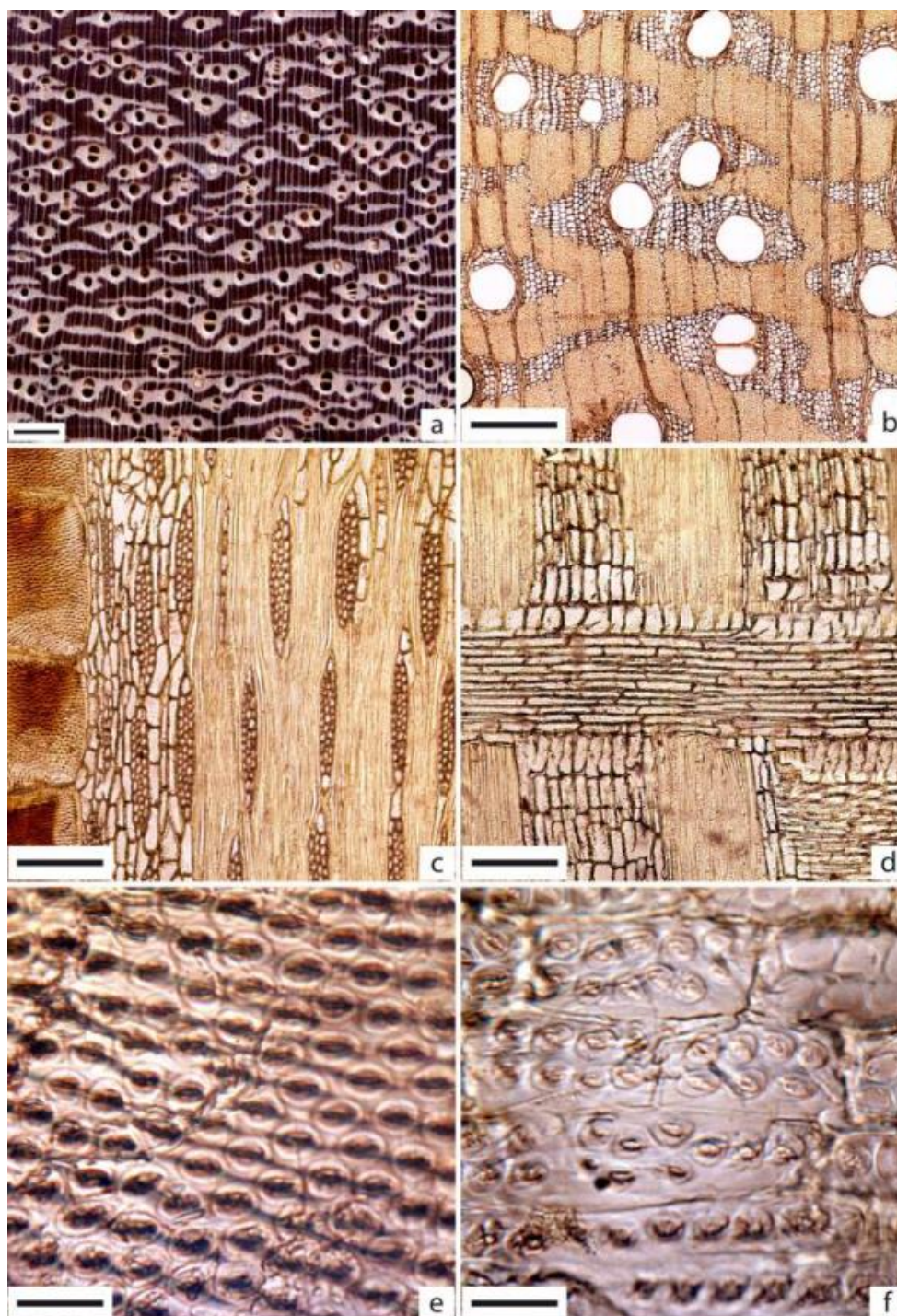
camadas de crescimento são distintas e individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras segundo o IPT (2021a), porém consideradas indistintas mesmo sob lente de 10 vezes por Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021).

Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos são solitários em sua maioria e múltiplos de até seis; com distribuição difusa; poucos em sua totalidade (6 a 14 por mm²); de tamanho médio (132 a 330µm de diâmetro); parcialmente obstruídos por substância amarelada e eventualmente por óleo-resina; apresenta pontoações intervasculares grandes, alternas e guarneçadas; pontoações raiovasculares angulares e arredondadas, além de placa de perfuração simples (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já as fibras são libriformes de parede espessa, contendo lume delgado e pontoações simples. O parênquima axial é confluyente em trechos longos, envolvendo e ligando os vasos, além de ser estratificado. No que diz respeito aos raios, eles são heterocelulares, sua formação é dada por uma fileira de células quadradas marginais e com o corpo procumbente; raros unisseriados (constituído por fileira única de células na largura), sendo predominantes os bisseriados e trisseriados; numerosos (5 até 14 por mm linear); médios (279 até 367µm de altura); com estratificação presente, além de canais intercelulares, cristais e tilos ausentes (IPT, 2021a; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.1a) e micro (Figura 2.1b-g) da anatomia da espécie *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra) estão ilustrados na Figura 2.1 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.1: Imagens macro e micro da espécie de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.1.2 Propriedades físico-mecânicas

A ABNT NBR 7190 (1997), no seu anexo E, também traz valores médios de propriedades físico-mecânicas da madeira de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra) obtidos a partir de uma amostra de 39 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%. Os valores estão contemplados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-Pedra

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
694	59,8	75,5	3,5	8,8	12.912

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra) foram disponibilizados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-pedra

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
663	3,90	6,20	58	71
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
3,40	13,30	0,60	84	11990
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
11096	10755	82	54	0,70

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores físicos e mecânicos de 163 espécies de madeira tropical, dentre elas estava a madeira de Angelim-Pedra que foi caracterizada a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Angelim-Pedra

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
590	4,10	6,30	109,34	11572	52,27
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	
11,28	7659	5786	3,82	12,26	

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem de forma conjunta. Com relação às propriedades físicas [ensaiadas conforme ABNT NBR 7190 (1997)] determinadas, seus valores médios estão dispostos na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Propriedades físicas da madeira de Angelim-Pedra

ρ_{bas} (kg/m ³)	Contrações totais (%)				CA
	L	R	T	V	
590	0,12	4,24	8,33	14,14	2,03

ρ_{bas} = densidade básica; L = contração longitudinal; R = contração radial; T = contração tangencial; V = contração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Com relação ao coeficiente anisotrópico apresentado na Tabela 2.4, que é um indicador de estabilidade dimensional (quanto mais próximo de 1, mais estável) da madeira, e que pode indicar, por exemplo, maior propensão da peça ao encanoamento, o seu valor encontrado se deu por meio da **Eq. 2.1**.

$$CA = \frac{\beta_T}{\beta_R} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Onde, β_T é o valor da retração no sentido tangencial, e β_R da retração no sentido radial aos anéis de crescimento da madeira. Assim sendo, o valor apresentado do CA para a Angelim-Pedra pode ser considerado alto, a caracterizando como sendo de baixa estabilidade dimensional, que por sua vez indica maior propensão da madeira em desenvolver fendilhamento e empenamentos durante as alterações dimensionais devido ao processo de secagem, apesar que para tal valor de CA, a madeira de Angelim-Pedra obteve um valor e frequência média de encanoamento baixo, contrastando com o comportamento esperado. O estudo ainda afirma que tais diferenças de contração radial e tangencial se dão de modo geral pela disposição dos raios perpendicularmente às fibras da madeira (SUSIN, 2018).

Ademais, no sítio eletrônico do IPT (2021a) foram disponibilizados mais valores das propriedades físico-mecânicas para a espécie de Angelim-pedra, conforme os apresentados na Tabela 2.5 e Tabela 2.6.

Tabela 2.5: Propriedades físicas da madeira de Angelim-Pedra

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,12}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
590	710	1190	4,1	6,3	10,1

$\rho_{ap,12}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021a)

Tabela 2.6: Propriedades mecânicas da madeira de Angelim-Pedra

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira		
	$\rho_{ap,12}$	ρ_v	$\rho_{15\%}$
f_M (MPa)	109,3	70,6	-
E_M (MPa)	11572	9414	-
f_{c0} (MPa)	52,3	38	-
f_{c90} (MPa)	11,3	6,4	-
f_{v0} (MPa)	12,3	10	-
f_{t90} (MPa)	3,8	4,2	-
f_{s0} (MPa)	-	1,1	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	-	22,6
f_{H0} (N)	7659	5325	-
f_{H90} (N)	5786	5050	-

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021a)

2.1.1.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Já com relação à composição química da madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke (Angelim-pedra), Santana e Okino (2007) realizaram um estudo por meio de hidrólise total, tendo sido encontrada a divisão de compostos demonstrada na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Composição química da madeira de Angelim-Pedra

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
1,3	30,3	49,1	19,3	0,4	4,4

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem a uma temperatura constante de 60° C, com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem de forma conjunta.

Os autores encontraram um grupo com 83% de similaridade, que inclui as madeiras de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-Pedra), *Ocotea aciphylla* (Canelão) e *Dipteryx odorata* (Cumaru), para as quais foi possível elaborar um processo de secagem comum. Com relação

às propriedades químicas [ensaiadas conforme ABNT NBR 14853 (2002); ABNT NBR 14660 (2003); ABNT NBR 13999 (2003); ABNT NBR 7989 (2003); ABNT NBR 9487 (1986)] determinadas, seus valores médios estão dispostos na Tabela 2.8.

Tabela 2.8: Propriedades químicas da madeira de Angelim-Pedra

Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Holocelulose (%)
29,64	0,12	4,21	66,02

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

No que diz respeito ao processo de secagem, foram utilizadas 20 amostras de cada espécie. O tempo e redução de umidade por hora (hr) foi tomado referente da condição verde da madeira até 8% de umidade. Com relação às madeiras presentes nesse trabalho, a madeira de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-Pedra) inicialmente com teor de umidade de 89,55% levou um total de 112 horas até atingir 8% de umidade, com uma taxa média de redução de umidade igual a 0,728%/hr à uma temperatura constante de 60° C para todas as espécies, como já dito. Com teor de umidade parecido (89,02%), a madeira de Cambará (*Qualea paraenses* Ducke) levou apenas 93 horas para atingir 7,25% de umidade, com taxa média de redução da umidade igual a 0,88%/hr, enquanto que as madeiras de Tauari (*Couratari guianensis* e *Couratari stellata*) apresentaram taxa média de a 0,58%/hr e 0,39%/hr, respectivamente (SUSIN, 2018).

No que diz respeito à taxa de secagem, os intervalos analisados foram os referentes à condição verde da madeira até o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) [30%], PSF até 8% de umidade, e da condição verde até 8%. Com relação à condição verde até 8% de umidade, a madeira de Angelim-Pedra obteve uma taxa de secagem de 0,00663 g.cm⁻².hr⁻¹. O estudo ainda apresenta que características de permeabilidade e anatômicas, como a frequência, diâmetro e abundância de vasos e presença de tilos ou ainda outras substancias que podem obstruir o deslocamento de fluídos no interior dos vasos, influenciam na taxa de secagem, e conseqüentemente na velocidade com que a madeira seca. No que diz respeito à defeitos de secagem (empenos), a Tabela 2.9 disponibiliza os valores médios encontrados na pesquisa para a madeira de Angelim-Pedra (SUSIN, 2018).

Tabela 2.9: Empenos na madeira de Angelim-Pedra

Arqueamento		Encurvamento		Encanoamento		Torcimento	
F _{Arq.} (mm.m ⁻¹)	X _{Arq.} (%)	F _{Encur.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encur.} (%)	F _{Encan.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encan.} (%)	F _{Tor.} (mm.m ⁻¹)	X _{Tor.} (%)
1,73	80,95	1,25	47,62	0,24	19,05	2,00	52,38

F_{Arq.} = flecha de arqueamento; X_{Arq.} = peças com arqueamento; F_{Encur.} = flecha de encurvamento; X_{Encur.} = peças com encurvamento; F_{Encan.} = flecha de encanoamento; X_{Encan.} = peças com encanoamento; F_{Tor.} = flecha de torcimento; X_{Tor.} = peças com torcimento.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

O autor ainda destaca que todos os valores médios para arqueamento, encurvamento, encanoamento foram menores que os aceitos pela ABNT NBR 9487 (1986), apesar de haver torcimento na madeira de Angelim-Pedra, conforme apresentado na Tabela 2.9, que não é admitido por tal normativa. Com relação ao arqueamento, a pesquisa afirma que é um tipo de empenamento difícil de ser controlado durante o processo de secagem por não haver qualquer restrição mecânica nessa direção.

O trabalho ainda afirma que tal espécie apresenta tendência ao torcimento e ao aparecimento de rachaduras em nível moderado quando submetida à secagem em estufa, além de ser de secagem rápida na própria estufa. Com relação às rachaduras, a Tabela 2.10 demonstra os valores médios encontrados para a madeira de Angelim-Pedra segundo Susin (2018).

Tabela 2.10: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Angelim-Pedra

Rachadura de topo		Rachaduras de superfície (%)	Rachaduras internas (%)
IRT médio (%)	Peças com defeito (%)		
1,76	19,05	0	4,76

IRT= índice de rachaduras de topo.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

2.1.2 BREU-VERMELHO (*PROTIUM SP.*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas, físicas, colorimétricas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso de tal espécie. Porém, devido às poucas informações disponíveis na literatura acerca da espécie de *Protium sp.* (Breu-vermelho), todas as informações foram disponibilizadas de maneira conjunta, e não em tópicos, para que o texto ficasse o mais fluído possível.

Sendo assim, a madeira de Breu-vermelho também conhecida como barrote, breu, e cientificamente denominada como *Protium punctulatum*, é pertencente à família Burseraceae, e pode ser encontrada no sul do estado do Pará (clima equatorial úmido), onde é a quinta espécie com maior ocorrência (IWAKIRI *et al.*, 2016). Com relação às suas características organolépticas (sensoriais), possui densidade moderadamente pesada, entre 0,50 e 0,60 g/cm³, cerne bege rosado brilhante; grã regular; textura média, e cheiro e gosto indistintos (TOMAZELLO Filho; CHIMELO; GARCIA, 1983).

Já para Iwakiri *et al.* (2016), a coloração da madeira de Breu Vermelho varia de marrom acinzentado a marrom avermelhado claro, possui alburno e cerne pouco distintos, anéis de crescimento indistintos, grã direita (regular), textura média a fina e brilho forte, além de possuir

boa trabalhabilidade, sendo utilizada na construção em geral, e também em caixotarias e marcenarias.

Ainda sobre sua cor, Barros, Muniz e Matos (2014) utilizaram o método CIELAB 1976 para realização de ensaios colorimétricos nas espécies de *Cariniana micrantha* Ducke (Tauari-vermelho), *Caryocar glabrum* (Pequiarana) e *Protium puncticulatum* (Breu-vermelho). Com relação à madeira de Breu-vermelho, as propriedades colorimétricas encontradas estão dispostas na Tabela 2.11

Tabela 2.11: Propriedades colorimétricas da espécie de Breu-vermelho

L*	DP (%)	a*	DP (%)	b*	DP (%)
55,72	12,61	7,95	1,62	15,11	5,37
C	DP (%)	h*	DP (%)		
17,31	4,83	60,50	8,79		

L* = luminosidade; a* = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b* = tonalidade nos eixos amarelo/azul; C = saturação; h* = ângulo da tinta; DP = desvio padrão.

Fonte: Adaptado de Barros, Muniz e Matos (2014)

Através dos resultados da Tabela 2.11 pode-se constatar um baixo valor de saturação que pode ser explicado pelos valores dos parâmetros a* e b* (podem variar de 0 a 60) variando entre 7 e 18. Também pode ser notada a proximidade do parâmetro a* de 0, que ajuda a explicar a cor vermelha de tal espécie, além do valor encontrado da claridade ser considerado como intermediário. A pesquisa ainda realizou a obtenção das propriedades colorimétricas nos planos radiais, tangenciais e na seção transversal. A única propriedade que variou significativamente quando analisada em planos diferentes, foi propriedade colorimétrica a*.

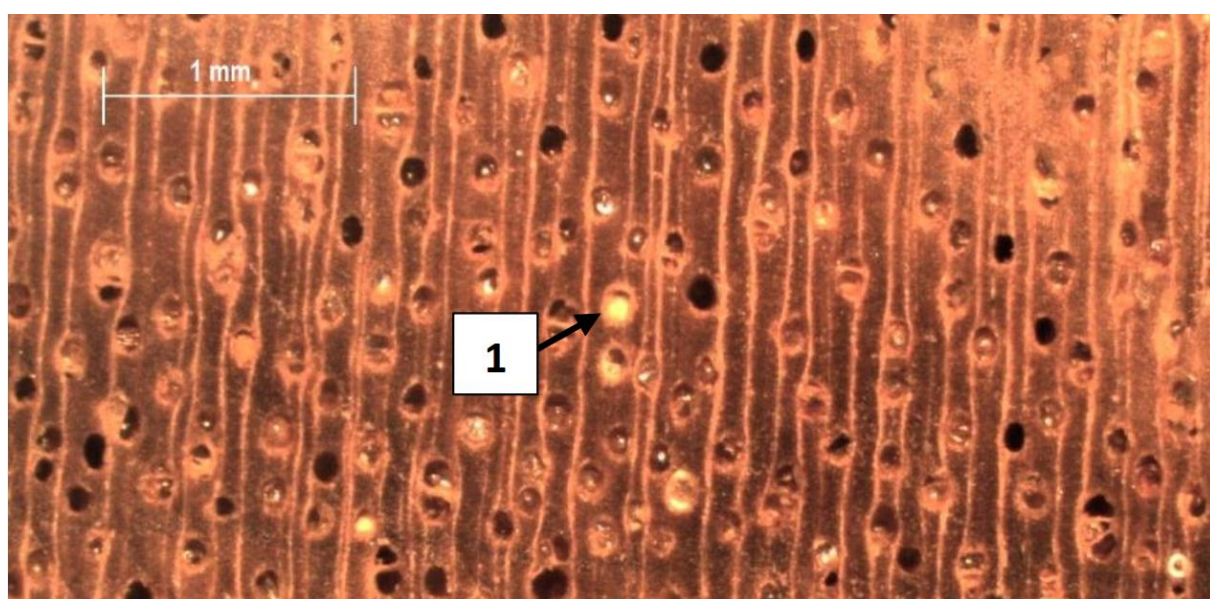
Tratando-se das suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Breu Vermelho se caracteriza por possuir parênquima indistinto mesmo sob lente. Os poros de seus vasos são visíveis apenas sob lente, pequenos e numerosos, apresentando-se de forma solitária, ligeiramente predominantes, geminados e agrupados em número de três, não preenchidos por substâncias, além de possuir também linhas vasculares longas, retas e numerosas. Já seus raios foram identificados como sendo muito finos no topo e numerosos, visíveis só sob lente; apresentando distribuição regular na largura e no espaçamento; na face tangencial são também visíveis apenas sob lente e irregularmente dispostos, enquanto quena face radial, os raios são contrastados. Ademais, as Camadas de crescimento foram identificadas como sendo indistintas (TOMAZELLO Filho; CHIMELO; GARCIA, 1983).

Já para Zaque e Melo (2019), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas a espécie de *Protium* sp. (Breu-vermelho) apresenta parênquima indistinto. Já seus poros podem ser observados a olho nu, além de serem pequenos e numerosos, solitários e múltiplos, de apresentarem porosidade difusa e de serem obstruídos por óleo-resina-vermelhado, este último destacado no plano transversal da Figura 2.2a pela seta 1. Da

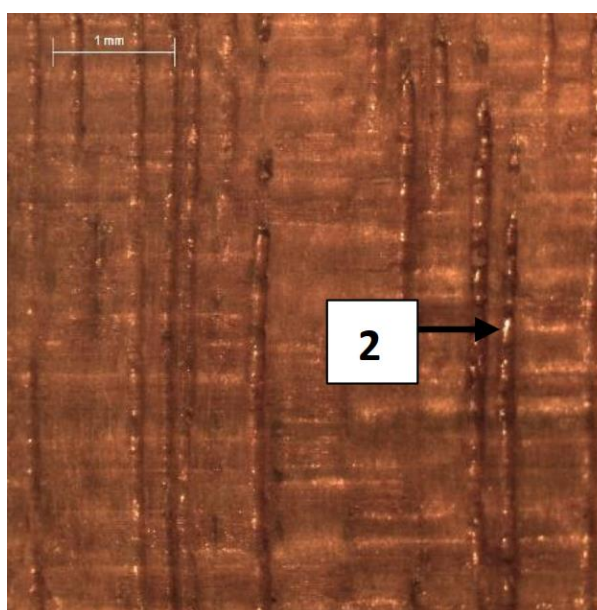
mesma maneira, suas linhas vasculares são visíveis a olho nu, finas e obstruídas por óleo-resina-avermelhado, conforme onde a seta 2 da Figura 2.2b aponta.

Com relação aos seus raios, esses são visíveis sob lente de 10 vezes no topo, além de serem finos e numerosos (9 raios/mm), sendo que na face tangencial são visíveis apenas sob lente de 10 vezes, enquanto que na radial se apresentam pouco contrastados. Dando continuidade, as suas camadas de crescimento foram observadas como indistintas, e por fim, com relação às suas estruturas especiais, foi constatada a presença de canais secretores radiais, conforme pode ser visto na seta 3 da Figura 2.2c. Cabe ainda ressaltar que todas imagens apresentadas estavam na escala de 1 mm (ZAQUE E MELO, 2019).

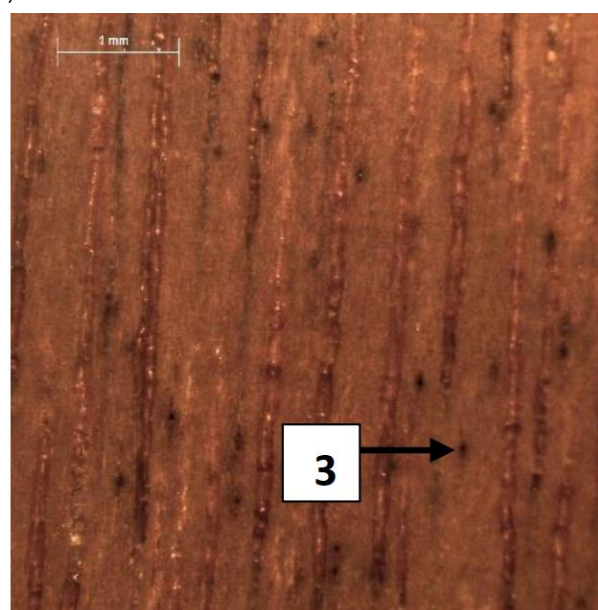
Figura 2.2: Imagens macroscópicas da espécie *Protium* sp. (Breu-vermelho)



(a)



(b)



(c)

(a) Plano transversal, (b) Plano radial, (c) plano tangencial

Fonte: Zaque e Melo (2019)

No que diz respeito às suas características microscópicas, não foram encontradas quaisquer informações disponíveis na literatura. Segundo Santos (2018) apesar da boa qualidade da madeira de Breu Vermelho, há uma carência de estudos científicos a seu respeito, o que confirma a escassez de informações envolvendo tal espécie. Da mesma forma, não foram encontrados quaisquer valores de retração disponíveis para o Breu-vermelho.

Já a respeito de suas propriedades físico-mecânicas, Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontrava a madeira da espécie de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) [Breu], que é do mesmo gênero da espécie *Protium* sp. Os seus valores encontrados e já corrigidos para um teor de umidade igual a 12% foram disponibilizados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) [Breu]

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
550	-	-	85,12	9807	48,05
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
6,77	4452	3903	5,39	-	9,81

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

2.1.3 CAIXETA (*SIMAROUBA AMARA*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, sendo todas essas informações incluídas dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, onde optou-se por disponibilizar também os dados colorimétricos devido à correlação encontrada com propriedades mecânicas e físicas em Almeida (2017), e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Simarouba amara* (Caixeta), esse último subitem ainda contou com o resultado de porosidade encontrado por Duarte (2017), por ter sido utilizado em conjunto de outras propriedades.

2.1.3.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Caixeta também conhecida como caxeta, marupaúba, paraparaíba, pararaúba, parariúba, pau-paraíba, simaruba, tamanqueira, marupá, caixeta amarela, e cientificamente conhecida como *Simarouba amara*, é pertencente à família Simaroubaceae, e pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Amazônia, Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes

países/regiões: América Central, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela, sendo que esses estados brasileiros e os outros países citados possuem um clima equatorial (floresta tropical) que se caracteriza por ser tipicamente quente e úmido (IPT, 2021b; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, a madeira de Caixeta pode ser utilizada na construção civil em ambientes internos para usos mais leves e utilidade geral, como em cordões, guarnições, rodapés, forros, lambris e em compensados (IPT, 2021b; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já com relação às suas características organolépticas (sensoriais), possui cerne e alburno indistintos pela cor, sendo esbranquiçada a levemente amarelada, com brilho moderado, cheiro imperceptível e gosto levemente amargo. A sua densidade é considerada baixa, possuindo ainda grã direita, textura média a grossa e superfície lustrosa, além de ser macia ao corte (IPT, 2021b). Tais informações vão de encontro ao que Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) descreveram, com exceção do gosto, que foi relatado como sendo imperceptível.

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Caixeta se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível a olho nu, paratraqueal aliforme de extensão linear, com finos e longos prolongamentos laterais. Os raios são visíveis a olho nu no topo, e na face tangencial é visível a sua estratificação (2 por mm). Os vasos são também visíveis a olho nu, pequenos até médios, em pequena quantidade, com porosidade difusa, além de serem vazios, e ser encontrado de forma solitária, em múltiplos e às vezes em cadeias radiais. Já suas camadas de crescimento são indistintas, e ainda pode-se perceber a presença de canais axiais traumáticos em alguns corpos de prova de tal espécie (IPT, 2021b).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) as camadas de crescimento são distintas somente sob lente de 10x, demarcadas pelo achatamento das fibras e pelos canais axiais em disposição tangencial. O parênquima axial é visível a olho nú, paratraqueal aliforme linear, confluyente em trechos finos e longos. Os raios são também visíveis a olho nú; finos, numerosos, regularmente espaçados e com presença de estratificação. Da mesma maneira, os vasos são visíveis a olho nú, solitários e múltiplos, com arranjo difuso, além de serem pequenos, pouco abundantes, eventualmente obstruídos por substância branca, além de possuírem placa de perfuração simples.

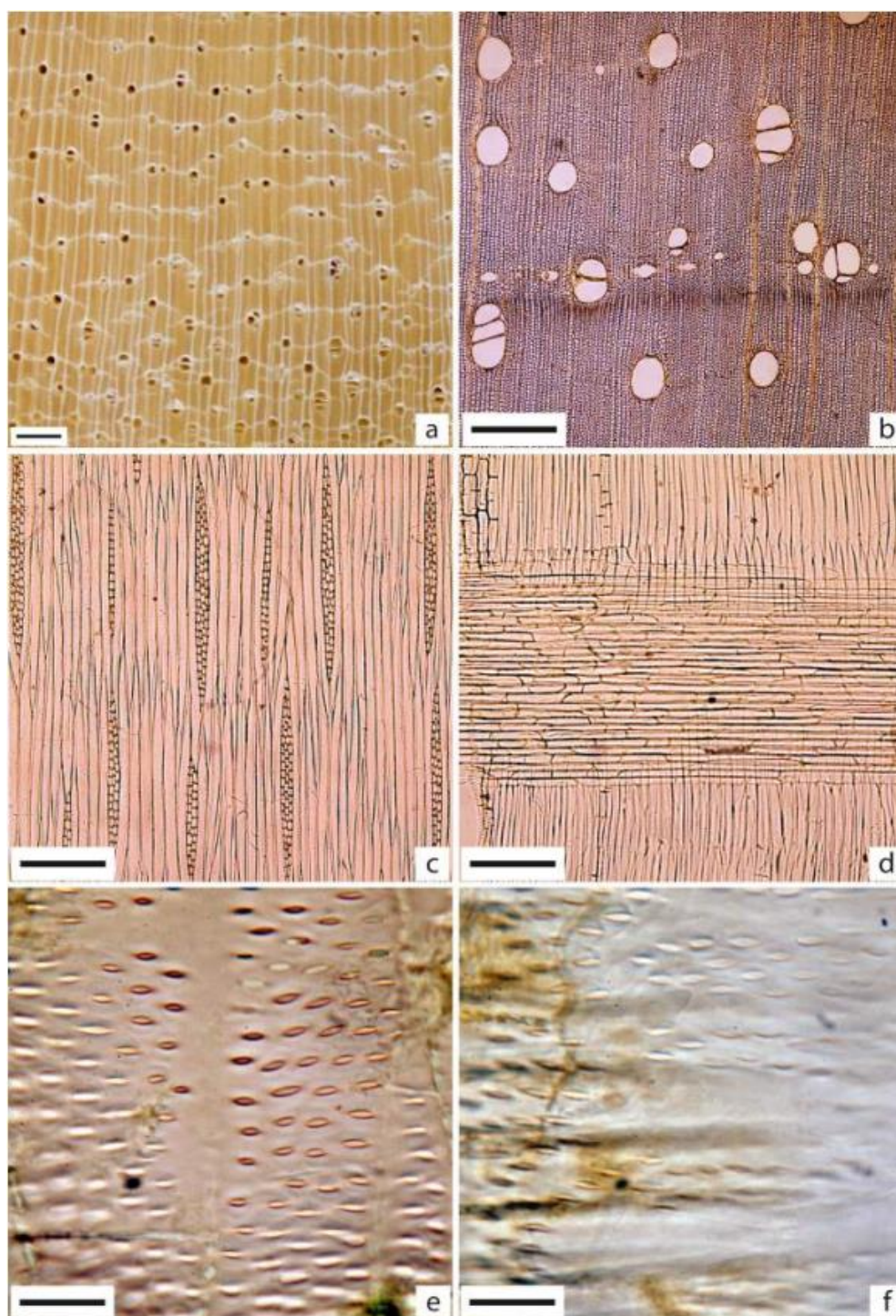
Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos são solitários em maioria ou múltiplos de até 5; com distribuição difusa, pouco abundantes (3 até 5 por mm²), médios em seu diâmetro (132 a 315 µm), eventualmente obstruídos por substância branca; possuem pontoações intervasculares médias, alternas, não guarnecidas, ovaladas ou com contorno poligonal. Os vasos possuem ainda placa de perfuração simples, e pontoações raiovasculares

semelhantes às intervasculares em tamanho e formato (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já as fibras na madeira de Caixeta são libriformes, de parede delgada, lume médio e pontuações simples. O Parênquima axial é paratraqueal aliforme de extensão linear, confluindo em trechos longos e finos ligando os vasos, eventualmente interrompidos, e não estratificado. Com respeito aos raios, eles são homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes, raramente unisseriados, com bisseriados e trisseriados sendo predominantes; pouco numerosos (4 a 8 por mm linear), baixos a médios em sua altura (142 a 305 μ m), com estratificação presente e irregular. Os canais intercelulares axiais são visíveis em disposição longitudinal tangencial, formando uma série contínua de canais. Por último, não se nota a presença de cristais nas células parenquimáticas e nem tilos na obstrução dos poros (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.3a) e micro (Figura 2.3b-g) da anatomia da espécie *Simarouba amara* (Caixeta) estão ilustrados na Figura 2.3 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.3: Imagens macro e micro da espécie de *Simarouba amara* (Caixeta)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.3.2 Propriedades físico-mecânicas

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores físicos e mecânicos de 163 espécies de madeira tropical, dentre elas estava a madeira de Caixeta que foi caracterizada com teor de umidade igual a 12%, conforme apresentado na Tabela 2.13

Tabela 2.13: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Caixeta

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
370	4,8	6,8	64,04	7257	33,05
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
4,41	2707	1402	2,75	3,82	6,96

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Santos e Del Menezzi (2010) avaliaram o uso das madeiras de *Allantoma lineata* (Seru) e *Simarouba amara* (caixeta) na confecção de madeira laminada colada (MLC) por meio de ensaios de cisalhamento na linha de cola de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997). Através da variação da gramatura de adesivo utilizado em cada madeira ou na mistura entre as duas espécies, foi encontrada que a parcela de gramatura mais efetiva se equívaleu a 300 g/m² para ambas as espécies. Com relação à linha de cola, o maior valor médio para a resistência ao cisalhamento foi encontrado para a madeira colada apenas com a espécie de Seru ($\rho_{ap,12\%} = 0,6$ g/cm³). Em contrapartida, a madeira de caixeta ($\rho_{ap,12\%} = 0,37$ g/cm³) mostrou-se mais eficiente (maior porcentagem de falha na madeira do que na linha de cola) na ligação adesivo-madeira.

Freitas (2015) realizou uma pesquisa da qual teve o objetivo de investigar a influência do tratamento termomecânico nas propriedades físicas, mecânicas e superficiais da madeira de Caixeta. Os ensaios foram realizados sob temperatura de 180°C e 200°C, e pressão de 7,94 MPa e 11,90 MPa, com tempo de 30 minutos. Como resultado, foi constatado o aumento da densidade da madeira, do escurecimento, dureza, resistência à compressão paralela e do módulo de ruptura, além de haver a redução da molhabilidade e melhora da estabilidade dimensional da madeira.

Almeida (2017) estimou propriedades de resistência e rigidez através da técnica de Colorimetria para as espécies de Caixeta (*Simarouba amara* Aubl.), Cajueiro (*Anacardium giganteum* W. Hancock), Cambará (*Erismia uncinatum* Warm), Tatajuba (*Bagassa guianenses* Aubl.) e Roxinho (*Peltogyne* sp.) a 12% de umidade. Através dos ensaios mecânicos e de Colorimetria, os valores médios das propriedades mecânicas e dos parâmetros colorimétricos foram encontrados e dispostos na Tabela 2.14. A pesquisa ainda traz o valor da densidade aparente de tal espécie determinado conforme ensaio contido na ABNT NBR 7190 (1997) e disposto também na Tabela 2.14.

Tabela 2.14: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da Caixeta

Propriedades	Intervalo de Confiança			CV (%)
	L. Inferior	Média	L. Superior	
f_M (MPa)	60,12	63	65,19	7,98
E_M (MPa)	6821	7114	7366	7,13
f_{c0} (MPa)	31,64	32	33,02	4,26
f_{H90} (N)	2107,40	2188,18	2268,90	7,42
$\rho_{ap,12}$ (g/cm ³)	0,40	0,41	0,41	2,44
L	78,47	78,89	79,31	1,06
a	1,30	1,45	1,59	20,23
b	18,32	18,66	19	3,68

L. = limite; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; L = luminosidade; a = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b = tonalidade nos eixos amarelo/azul; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Almeida (2017)

Destaca-se ainda que entre as espécies estudadas, a madeira de caixeta obteve o menor valor de densidade aparente, e os maiores de luminosidade (L) e de tonalidade do eixo a. As estimativas para a caixeta em função dos parâmetros colorimétricos resultaram em coeficientes de determinação satisfatórios, com destaque para a regressão encontrada na determinação do E_M de 75,54% (ALMEIDA, 2017).

Com o intuito de se obter um processo menos dispendioso tanto no sentido financeiro quanto com relação ao tempo e esforço demandado para a obtenção de propriedades físico-mecânicas da madeira, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar tais propriedades com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de tal material de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Simarouba amara* (Caixeta) se encontrava. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas através de ensaios conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997) e estão disponibilizadas na Tabela 2.15.

Tabela 2.15: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Simarouba amara* (Caixeta)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
\bar{X}	410	4,81	7,89	48	7944	31
CV (%)	8,29	11,25	11,46	14,38	16,88	20,10
	E_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)
\bar{X}	6123	4	390	39	7821	2
CV (%)	19,03	28,25	17,95	14,64	20,43	28,00
	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	W (daN.m)	
\bar{X}	6	0,32	40	21	1,25	
CV (%)	33,50	20,31	20,05	16,04	26,40	

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Vale destacar também que com relação à classificação mecânica da madeira de *Simarouba Amara* Aubl (Caixeta), a pesquisa de Souza, Bufalino e Gomes (2020) enquadraram tal espécie na classe de resistência D20. Ademais, no sítio eletrônico do IPT (2021b) foram disponibilizados mais valores das propriedades físico-mecânicas para a espécie de Caixeta, conforme os apresentados na Tabela 2.16 e Tabela 2.17.

Tabela 2.16: Propriedades físicas da madeira de Caixeta

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,12}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
370	440	1120	4,8	6,8	11,8

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021b)

Tabela 2.17: Propriedades mecânicas da madeira de Caixeta

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	$\rho_{ap,12}$	ρ_v
f_M (MPa)	64	43,6
E_M (MPa)	7257	6570
f_{c0} (MPa)	33	19,5
f_{c90} (MPa)	4,4	2,8
f_{v0} (MPa)	7	6
f_{t90} (MPa)	-	3,6
f_{H0} (N)	2707	1343
f_{H90} (N)	1402	1206

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021b)

2.1.3.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Já com relação à composição química da madeira de Caixeta, Santana e Okino (2007) realizaram um estudo por meio de hidrólise total, tendo sido encontrada a divisão de compostos demonstrada na Tabela 2.18.

Tabela 2.18: Composição química da madeira de Caixeta

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,9	31,1	48,5	19,5	0,3	2,1

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Stangerlin *et al.* (2013) realizaram ensaios de dureza rockwell para examinar sua efetividade na análise de bioteterioração de três espécies de madeira, das quais a caixeta se enquadrou. Após a madeira ser submetida a ensaios de apodrecimento acelerado com fungos apodrecedores de *Trametes versicolor* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) conforme metodologia adaptada da ASTM D2017 (2005), pôde ser constatado que tal ensaio analisado (dureza rockwell) foi sensível aos diferentes mecanismos enzimáticos de deterioração e que o fungo de podridão parda proporcionou a maior deterioração da madeira de Caixeta.

Através de ensaios de apodrecimento e de intemperismo, Teles (2014) encontrou que a durabilidade natural (campo de deterioração em região de cerrado) da madeira de caixeta

sem tratamento químico foi de 20 semanas, enquanto que a tratada com CCA foi de 24 meses. O trabalho ainda afirma que apenas nas madeiras de Caixeta e Tauari (*Couratari sp.*) foi capaz de se impregnar o preservante na camada permeável do cerne. Com relação ao intemperismo acelerado realizado de acordo com o ciclo 7 da norma ASTM G154 (2006), a caixeta foi a madeira sem tratamento químico que mais sofreu com a exposição às intempéries após 1200 horas, apesar de sua densidade aparente não variar mais que 7% de seu valor original (0,4g/cm³). Foi notado também o rompimento de fibras e vasos da madeira de caixeta sem tratamento químico, um aumento de fissuras na região das pontoações, que se estenderam para as camadas internas dos elementos celulares, sendo que os vasos exibiram maior grau de deterioração, com rupturas extensas e dissociações com os demais elementos celulares.

Como já dito no subitem anterior, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar propriedades físico-mecânicas com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Simarouba amara* (caixeta) se encontrava. Os componentes químicos e a porosidade foram determinadas pelo método Klason adaptado a partir da norma TAPPI T-222 om-02 (2002), e pelo método de intrusão de mercúrio, respectivamente. Assim, os valores dos componentes químicos encontrados nos ensaios foram disponibilizados na Tabela 2.19. Além disso, através de modelos de regressão multivariadas foram encontradas equações significativas com altos valores de R² para as propriedades físico-mecânicas estimadas através da porosidade, densidade aparente e de sua composição química. Ademais, o valor da porosidade para a madeira de Roxinho foi encontrado igual a 73,25% (DUARTE, 2017).

Tabela 2.19: Composição química da madeira de *Simarouba amara* (Caixeta)

	Resultados somados				Outros compostos	
	Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
	Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
\bar{X}	0,96	31,63	47,39	13,93	0,51	6,17
CV (%)	4,02	0,20	2,63	3,49	1,40	3,38

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

2.1.4 CAMBARÁ-ROSA (*ERISMA UNCINATUM*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídas dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, onde também foi inserido o trabalho de Almeida (2017) que correlaciona rigidez e resistências com parâmetros colorimétricos, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na

literatura para a espécie de *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa), esse último subitem ainda contou com resultado de porosidade para tal espécie encontrado por Duarte (2017), que foi usado em conjunto de outras propriedades.

2.1.4.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Cambará-rosa também conhecida como bruteiro, cachimbo-de-jabuti, cambará, cedrilho, jaboti, jaboti-da-terra-firme, quaruba-vermelha, quarubarana, quarubatinga, verga-de-jabuti, cedrinho, e cientificamente conhecida como *Erismia uncinatum*, pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Guiana, Guiana Francesa, Suriname e Venezuela, sendo que esses estados brasileiros e os outros quatro países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021c; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para uso leve em esquadrias (portas, venezianas e caixilhos); leve, interno e com função estrutural (ripas); leve e interno para utilidade geral (lambris, molduras e forros); uso temporário (andaimes, formas para concreto e pontalotes); mobiliário (móveis estandar e partes internas de móveis); outros usos (lâminas decorativas, chapas compensadas e em embalagens) [IPT, 2021c; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021].

Já com relação às suas características organolépticas (sensoriais), possui cerne e alburno distintos pela cor, sendo o cerne castanho avermelhado; madeira sem brilho e com gosto e cheiro imperceptíveis, de baixa densidade, grã direita variando até revessa, e com textura de média à grossa (IPT, 2021c). Por outro lado, Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) descreveram que a espécie de Cambará-rosa se trata de uma madeira moderadamente pesada, porém macia ao corte; com cerne róseo-acastanhado e pouco distinto do alburno; de textura grossa; possui grã direita, superfície sem brilho, áspera ao tato e de cheiro e gosto imperceptíveis.

Com relação à sua cor, Ribeiro (2017) determinou as propriedades colorimétricas de 20 espécies de madeira, das quais, a espécie de Cambará-rosa se encontrava. A metodologia utilizada foi a proposta por Gonzalez (1993), seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976. As propriedades determinadas estão dispostas na Tabela 2.20. A pesquisa também apresenta o estudo de tais propriedades em faces diferentes (radial e tangencial), porém não foi encontrada qualquer diferença significativa para as propriedades colorimétricas da madeira de Cambará-rosa.

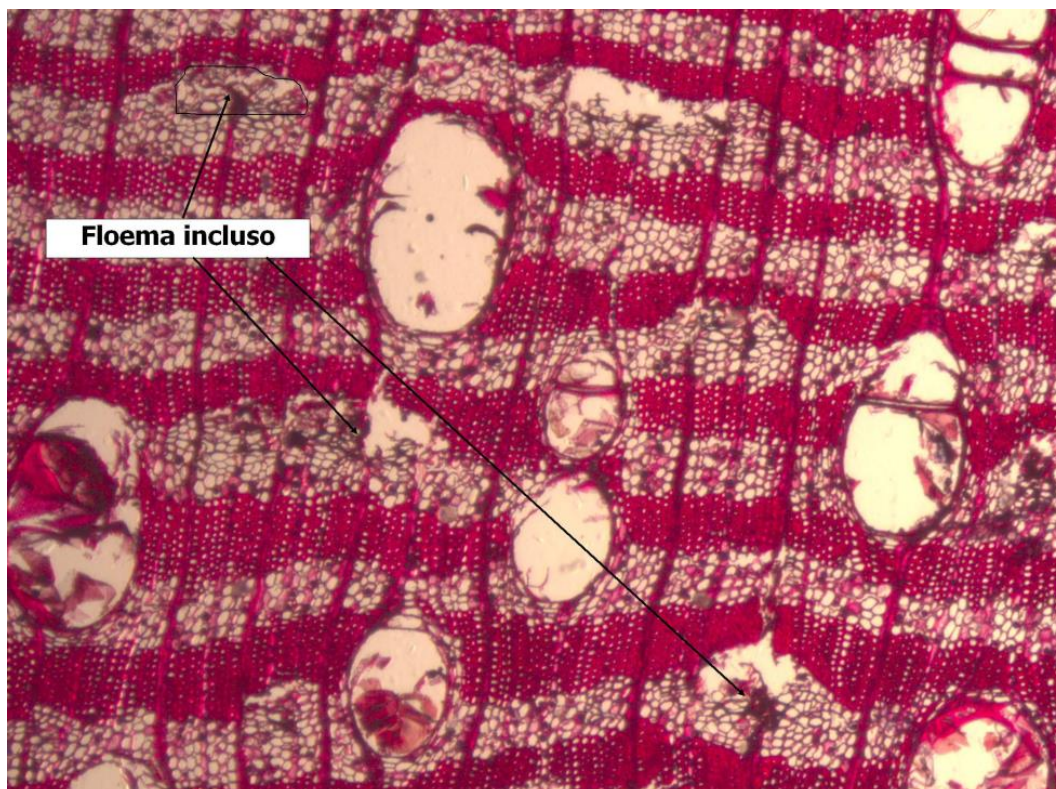
Tabela 2.20: Propriedades colorimétricas para a madeira de Cambará-rosa

L*	a*	b*	C	h*	Cor
55,05	11,90	22,29	25,34	62,03	Rosa acinzentado

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Cambará-rosa se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível a olho nu, em faixas largas e longas, tangenciando e ligando os vasos, e também em trechos curtos. Seus raios são visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial, finos e em pouca quantidade. Os seus vasos (poros) são visíveis a olho nu, de médios a grandes, de muito poucos a poucos em sua quantidade e apresenta porosidade difusa (dispersos pelo lenho, independente dos anéis de crescimento). Quanto ao seu agrupamento, são encontrados de forma solitária e em múltiplos de dois a três; obstruídos por tilos. As suas camadas de crescimento são indistintas, e seu floema é incluso (dentro do interior do tronco) e presente nas faixas do parênquima (IPT, 2021c). Uma representação de tal floema incluso, pode ser visto na Figura 2.4 (NISGOSKI, 2016).

Figura 2.4: Floema incluso, presente nas faixas do parênquima



Fonte: Nisgoski (2016)

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), com relação às propriedades macroscópicas da madeira de Cambará-rosa, apesar dos raios serem finos, são encontrados em quantidade numerosa, irregularmente espaçados e sem a presença de estratificação. Por último, os vasos podem ser encontrados em sua maioria solitários e em

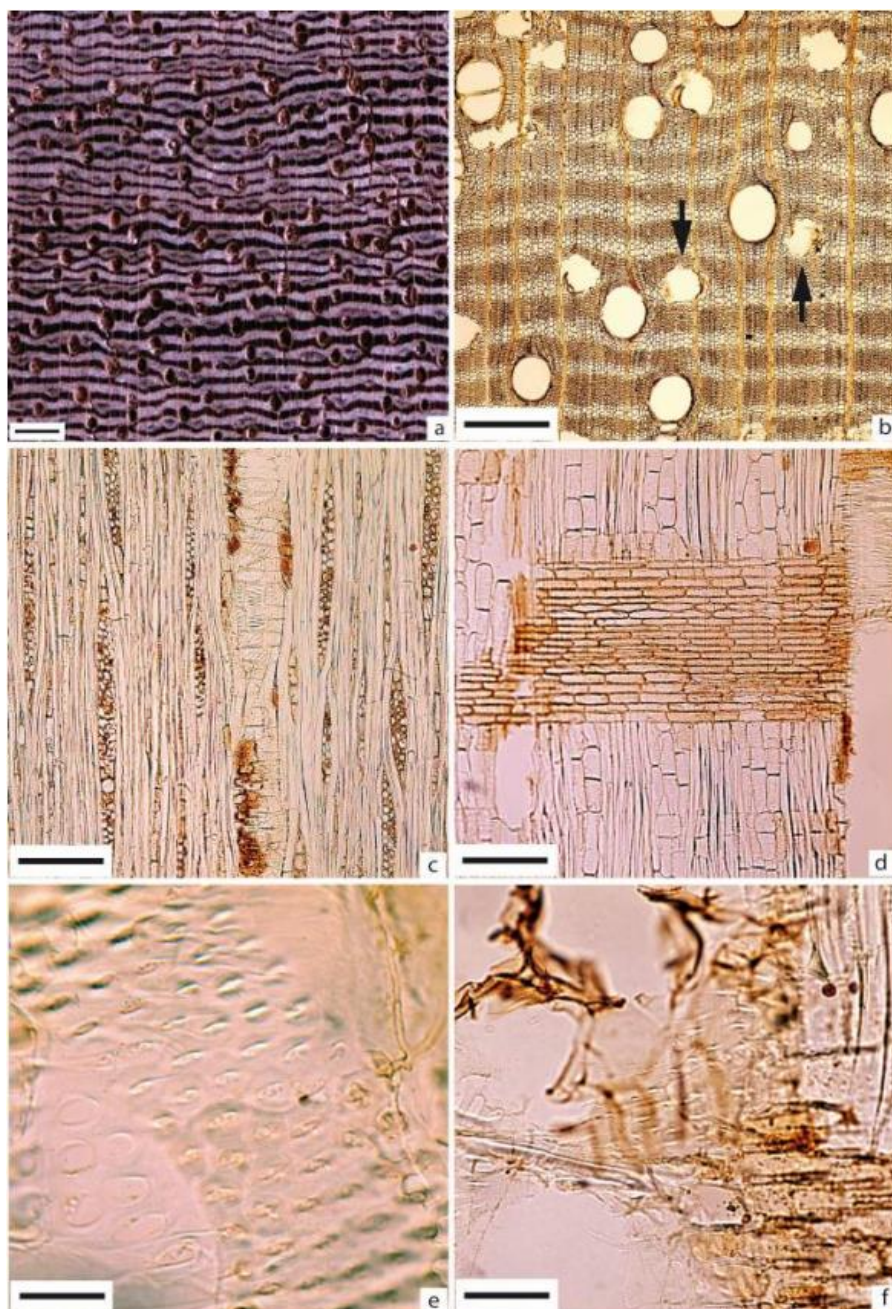
alguns casos em múltiplos, com seus poros totalmente obstruídos por tilos, além de possuírem placa de perfuração simples.

Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos são solitários em maioria e múltiplos de 2 a 3, com distribuição difusa, secção ovalada, em pouca quantidade (4 até 9 por mm²), de diâmetro médio a grande (150 até 320µm) e totalmente obstruídos por tilos; com pontoações intervasculares de tamanho médio, areoladas, alternas, guarnecidas; possui placa de perfuração simples, pontoações raiovasculares com bordas distintas e aparentemente simples. As suas fibras são libriformes, de paredes delgadas e lume espesso; com pontoações simples (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

O Parênquima axial é disposto em faixas tangenciais contínuas, às vezes interrompidas em alguns trechos, e não estratificado. Os raios são heterocelulares, com células eretas e quadradas na margem e corpo (miolo) procumbente (maior dimensão no sentido radial); raramente unisseriados, sendo os bisseriados e trisseriados predominantes, pouco numerosos (4 até 8 por mm linear), com células de altura média (290 até 745µm), e estratificação ausente. O floema incluso (responsável pela condução da seiva elaborada) é presente nas faixas do parênquima axial (setas na Figura 2.5b). Ademais, o Cambará-rosa não possui canais intercelulares e cristais, mas apresenta tilos em abundância (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.5a) e micro (Figura 2.5b-g) da anatomia da espécie *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa) estão ilustrados na Figura 2.5 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.5: Imagens macro e micro da espécie de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.4.2 Propriedades físico-mecânicas

A ABNT NBR 7190 (1997), no seu anexo E, também traz valores médios de propriedades físico-mecânicas da madeira de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa) obtidos de uma amostra de 11 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%. Os valores estão contemplados na Tabela 2.21.

Tabela 2.21: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas as propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa) foram disponibilizados na Tabela 2.22.

Tabela 2.22: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cambará-rosa

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
544	3,6	7,2	38	58
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
2,6	9,6	0,4	67	8783
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
9172	8842	64	39	0,49

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores físicos e mecânicos de 163 espécies de madeira tropical, dentre elas estava a madeira de Cambará-rosa que foi caracterizada a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.23.

Tabela 2.23: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cambará-rosa

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
460	4,3	10	87,48	10787	49,72
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
5,59	5786	3864	3,04	3,73	7,85

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Lahr *et al.* (2016a) caracterizaram mecânica e fisicamente a madeira de Cambará-rosa. Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para 204 amostras apresentando 12% de teor de umidade padrão. Os valores encontrados das propriedades físicas e mecânicas foram dispostos na Tabela 2.24 e Tabela 2.25.

Tabela 2.24: Valores das propriedades físicas da madeira de Cambará-rosa

$\rho_{ap,12\%}$		$\epsilon_{r,2}$		$\epsilon_{r,3}$	
\bar{X} (Kg/m ³)	CV (%)	\bar{X} (%)	CV (%)	\bar{X} (%)	CV (%)
680	5	5,83	12	10,55	9

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente a 12% de umidade; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; \bar{X} = valor médio.

Fonte: Adaptado de Lahr *et al.* (2016a)

Tabela 2.25: Valores das propriedades mecânicas da madeira de Cambará-rosa

f_{c0}		f_{c90}		f_{t0}		f_{t90}	
\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)
34	15	7	17	45	30	4,9	15
f_{v0}		f_{s0}		f_M		E_{c0}	
\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)
14	16	0,8	16	63	21	12967	18
E_{c90}		E_{t0}		E_M		f_{H0}	
\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (N)	CV (%)
7095	18	12764	14	12376	7	51	9
f_{H90}		W					
\bar{X} (N)	CV (%)	\bar{X} (N.m)	CV (%)				
67	12	33,39	19				

\bar{X} = valor médio; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência a cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Lahr *et al.* (2016a)

Ribeiro *et al.* (2016) utilizaram 20 amostras da madeira *Qualea brevipedicellata* Stafleu e mais 20 da madeira de *Erismia uncinatum* Warm (Cambará-rosa) com dimensões de 2 x 2 x 30 cm³ para estimarem os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico através de ensaio não-destrutivo de ultrassom (MOEdu) e através do ensaio não-destrutivo de Stress Wave (MOEds). Subsequentemente, os corpos de prova foram também utilizados para que fossem encontrados os módulos de elasticidade estática (MOE) e módulos de ruptura (MOR) através de ensaios destrutivos conforme dispõe a norma COPANT 30:1 – 006 (1972). Os

valores médios (VM) e seus coeficientes de variação (CV) para a madeira de Cambará-rosa estão dispostos na Tabela 2.26.

Tabela 2.26: Propriedades mecânicas para madeira de Cambará-rosa

MOEds		MOEdu		MOE		MOR	
VM (MPa)	CV (%)	VM (MPa)	CV (%)	VM (MPa)	CV (%)	VM (MPa)	CV (%)
16756,02	12,34	19678,33	11,31	8103,68	16,28	68,9	15,18

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2016)

A pesquisa ainda aponta que os valores encontrados para os módulos de elasticidade dinâmicos por ultrassom e por stress wave foram maiores se comparados com os encontrados de maneira estática. Uma razão para isso pode ser a natureza viscoelástica da madeira, sendo que quanto menor a frequência de excitação de tal material, menor seria a diferença entre os resultados (dinâmico x estático) [RIBEIRO *et al.*, 2016].

Também pode ser notada a diferença entre as espécies estudadas com relação ao valor encontrado nas razões de MOEdu/MOE e MOEds/MOE. Para a madeira de *Qualea brevipedicellata* as razões MOEdu/MOE e MOEds/MOE foram iguais a 1,6 e 1,05, respectivamente. Já para a madeira de Cambará-rosa, os valores para as razões MOEdu/MOE e MOEds/MOE foram de 2,4 e 2,06, respectivamente. Outro ponto a ser considerado é o CV para os ensaios não destrutivos que foram sempre menores do que os dos ensaios estáticos, mostrando assim maior homogeneidade dos resultados encontrados por tais métodos (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Almeida (2017) estimou propriedades de resistência e rigidez através da técnica de Colorimetria para as espécies de Caixeta (*Simarouba amara* Aubl.), Cajueiro (*Anacardium giganteum* W. Hancock), Cambará-rosa (*Erismia uncinatum* Warm), Tatajuba (*Bagassa guianenses* Aubl.) e Roxinho (*Peltogyne* sp.) a 12% de umidade. Através dos ensaios mecânicos e de Colorimetria, os valores médios das propriedades mecânicas e dos parâmetros colorimétricos para a espécie de Cambará-rosa, foram encontrados e dispostos na Tabela 2.27.

Tabela 2.27: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da Cambará-rosa

Propriedades	Intervalo de Confiança			CV
	L. Inferior	Média	L. Superior	
f_M (MPa)	106,90	120	133,99	21,88
E_M (MPa)	12598	13767	14937	16,50
f_{c0} (MPa)	49,26	59	59,37	18,11
f_{H90} (N)	4289	4622	4955	14,02
$\rho_{ap,12}$ (g/cm ³)	0,71	0,74	0,75	4,99
L	61,54	63,04	64,54	4,62
a	6,98	7,89	8,80	22,44
b	14,04	14,70	15,36	8,71

L. = limite; CV = coeficiente de variação; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; $\rho_{ap,12}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; L = luminosidade; a = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b = tonalidade nos eixos amarelo/azul; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Almeida (2017)

Pela caracterização mecânica, assume-se que a madeira de Cambará-rosa seja classificada como sendo de classe D40. A pesquisa ainda chama atenção para a grande variação dos resultados encontrados nos ensaios, com destaque para os valores de resistência na flexão estática, compressão paralela às fibras e para o parâmetro colorimétrico a. Com relação à luminosidade, os resultados encontrados foram maiores que resultados presentes na literatura, indicando que a madeira do estudo era mais clara (ALMEIDA, 2017).

No que diz respeito às regressões encontradas para a determinação das propriedades mecânicas através dos parâmetros colorimétricos, o melhor coeficiente de determinação encontrado foi para a estimativa de f_{H90} (79,54%). Por fim, ainda pôde ser observado que quanto maior os parâmetros L (0 = cor preta; 100 = branco) e a (60 implica cor vermelho e -60 implica cor verde), maiores são os valores de f_M e f_{H90} , e menores os de E_M e f_{c0} . Já para o parâmetro b (60 implica cor amarelo e -60 implica cor azul), quanto maior o seu valor, menor é o valor do E_M , f_M e f_{H90} , e maior é a f_{c0} (ALMEIDA, 2017).

Com o intuito de se obter um processo menos dispendioso tanto no sentido financeiro quanto com relação ao tempo e esforço demandado para a obtenção de propriedades físico-mecânicas da madeira, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar tais propriedades com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de tal material de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa) se encontrava. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas através de ensaios conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997) e estão disponibilizadas na Tabela 2.28.

Tabela 2.28: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
\bar{X}	700	5,90	7,31	76	13168	48
CV (%)	2,86	17,46	19,56	18,42	14,85	14,58
	E_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)
\bar{X}	13267	9	587	51	12146	2,1
CV (%)	10,37	23,33	17,55	21,18	14,10	19,52
	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	W (daN.m)	
\bar{X}	9	0,40	59	40	0,78	
CV (%)	27,78	35,00	20,20	20,45	15,38	

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Ademais, no sítio eletrônico do IPT (2021c) foram disponibilizados mais valores das propriedades físico-mecânicas para a espécie de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa), conforme os apresentados na Tabela 2.29 e Tabela 2.30.

Tabela 2.29: Propriedades físicas da madeira de Cambará-rosa

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,15\%}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
480	590	1110	3,3	7,7	12,5

$\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021c)

Tabela 2.30: Propriedades mecânicas da madeira de Cambará-rosa

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira		
	$\rho_{ap,12}$	ρ_v	$\rho_{15\%}$
f_M (MPa)	-	72,5	80,2
E_M (MPa)	10395	9365	-
f_{c0} (MPa)	-	33,7	42,2
E_{c0} (MPa)	-	12101	-
f_{v0} (MPa)	-	7,4	-
f_{t90} (MPa)	-	4,2	-
f_{s0} (MPa)	-	0,5	-
f_{H0} (N)	-	3844	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	-	21,5

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021c)

2.1.4.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Já com relação à composição química da madeira de *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa), Santana e Okino (2007) realizaram um estudo por meio de hidrólise total, tendo sido encontrada a divisão de compostos demonstrada na Tabela 2.31.

Tabela 2.31: Composição química da madeira de Cambará-rosa

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,8	32,8	48	18,4	0,8	1,7

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Como já dito no subitem anterior, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar propriedades físico-mecânicas com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Erismia uncinatum* (Cambará-rosa) se encontrava. Os componentes químicos e a porosidade foram determinadas pelo método Klason adaptado a partir da norma TAPPI T-222 om-02 (2002), e pelo método de intrusão de mercúrio, respectivamente. Assim, os valores dos componentes químicos encontrados nos ensaios foram disponibilizados na Tabela 2.32. Além disso, através de modelos de regressão multivariadas foram encontradas equações significativas com altos valores de R^2 para as propriedades físico-mecânicas estimadas através da porosidade, densidade aparente e de sua composição química.

Ademais, o valor da porosidade para a madeira de Cambará-rosa foi encontrado igual a 46,10% (DUARTE, 2017).

Tabela 2.32: Composição química da madeira de *Erisma uncinatum* (Cambará-rosa)

	Resultados somados				Outros compostos	
	Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
	Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
\bar{X}	1,01	36,98	38,94	15,12	0,86	8,03
CV (%)	8,48	0,52	2,06	1,24	4,14	6,79

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

2.1.5 CUIPIÚBA (*GOUPIA GLABRA*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídas dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Goupia Glabra* (Cupiúba), esse último subitem ainda contou com resultado de porosidade para tal espécie encontrado por Duarte (2017), por ter sido utilizado em conjunto de outras propriedades.

2.1.5.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Cupiúba também conhecida como cachaceiro, copiúba, copiúva, cupiúva, cupiúba-rosa, peniqueiro, peroba-do-norte, peroba de Sinop, peroba bosta, peroba-fedida, vinagreiro, piúva, e cientificamente conhecida como *Goupia Glabra*, e pertencente à família Goupiaceae, pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela, sendo que esses estados brasileiros e os outros seis países citados possuem um clima equatorial (floresta tropical) caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021d; RIBEIRO, 2017; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, a madeira de Cupiúba pode ser utilizada na construção civil para aplicações pesadas externas, como em postes, pontes, mourões, cruzetas, esteios e escoras; pesadas internas em vigas e caibros; leve interna estrutural em ripas e partes secundárias de estruturas. Já com respeito às suas características organolépticas, possui cerne e alborno indistintos pela cor, castanho-avermelhado, com superfície sem brilho, cheiro perceptível e desagradável, gosto imperceptível, densidade alta, grã irregular e textura

média(IPT, 2021d). Além disso, Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) descrevem tal madeira como sendo moderadamente dura ao corte, de cerne róseo-claro indistinto do alborno, grã irregular à revessa, e moderadamente áspera ao tato. Já Ribeiro (2017) descreveu a Cupiúba como sendo de coloração oliva amarelado, e com pouca distinção entre alborno e cerne, além de tal madeira possuir grã revessa ou entrecruzada.

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Cupiúba se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível apenas sob lente, distribuída de forma apotraqueal (não associada aos vasos) difuso em agregados (agrupamento de células distribuídas aleatoriamente entre as fibras). Com relação aos raios, estes são também visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial, são finos e suas células podem ser encontradas variando de pequena até grande quantidade. Já os vasos são visíveis a olho nu, sendo constituídos de células de tamanho médio, em pouca quantidade, com porosidade difusa (poros dispersos pelo lenho independente dos anéis de crescimento); solitários, obstruídos por óleo-resina, e suas camadas de crescimento são indistintas (IPT, 2021d).

Ainda sobre as propriedades anatômicas macroscópicas, alguns pontos de divergência foram encontrados em Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021). Em tal pesquisa, o parênquima axial foi descrito como indistinto mesmo sob lente de 10 vezes; a quantidade de raios foi considerada como numerosa e sem estratificação de tais; as células que compõem os vasos foram consideradas de tamanho pequeno, sendo os vasos eventualmente obstruídos e com placa de perfuração escalariforme.

Marques (2008) realizou a determinação de propriedades físicas e anatômicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras com o seu processo/comportamento de secagem. A Tabela 2.33 traz os valores médios encontrados para as propriedades anatômicas microscópicas da madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba).

Tabela 2.33: Propriedades anatômicas da madeira de Cupiúba

DTP (μm)	FP (nº poros/ mm^2)	FPO/FP (μm)	DTMF (μm)	LLF (μm)	EPF (μm)
174,1	7,1	0,08	32,6811	10,0939	10,9125

DTP = diâmetro tangencial dos poros; FP = frequência dos poros; FPO = frequência dos poros obstruídos; DTMF = diâmetro total máximo das fibras; LLF = largura do lúmen das fibras; EPF = espessura da parede das fibras.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

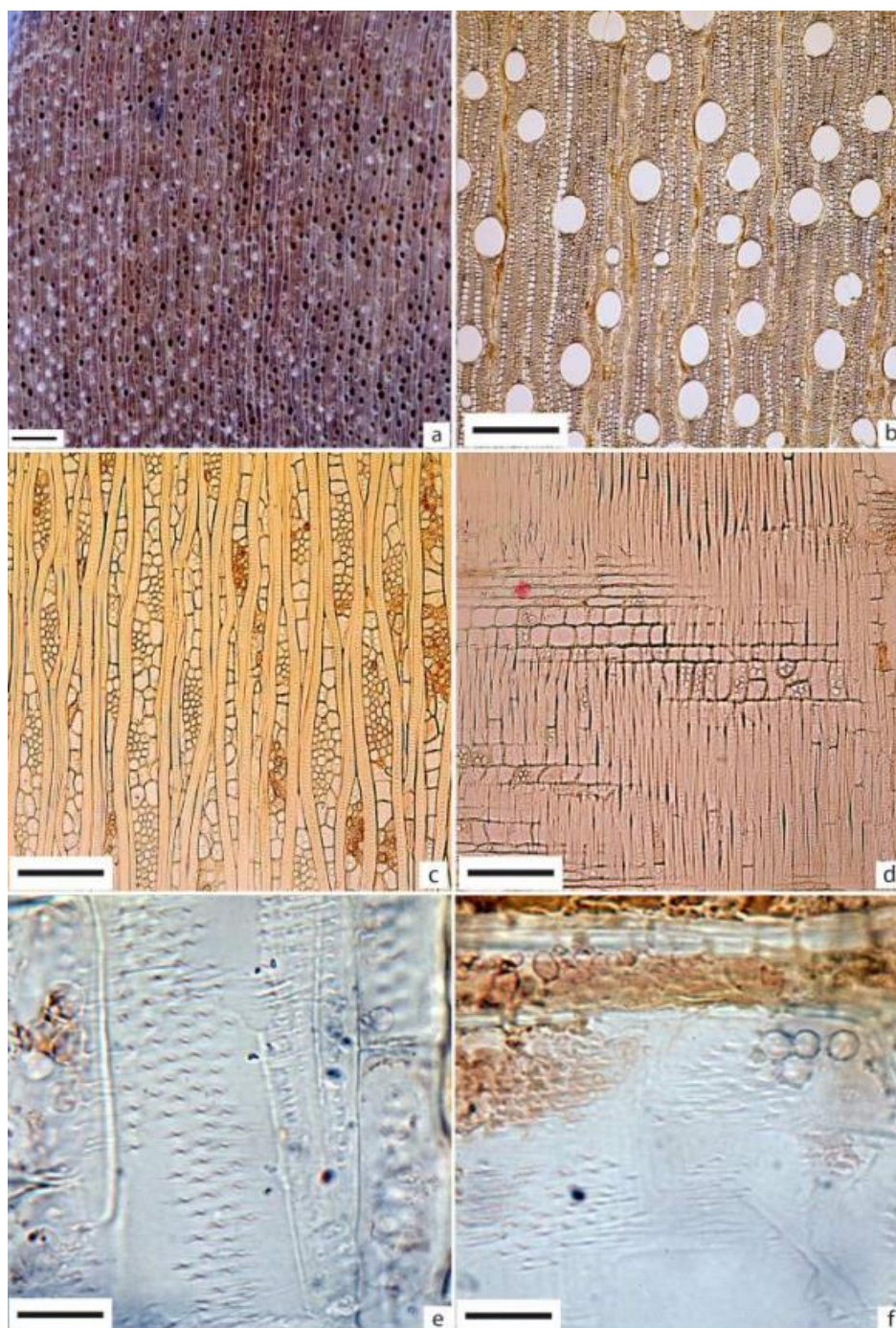
Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos dessa espécie podem ser considerados solitários, distribuídos de forma difusa, encontrados em pouca quantidade (6 a 10 por mm^2), formados por células pequenas em seu diâmetro (83 a 200 μm), eventualmente obstruídos por substância amarelada, além de possuírem pontoações intervasculares

pequenas, alternas, não guarneçadas; placa de perfuração escalariforme; pontoações raiovasculares com bordas pouco distintas, semelhantes às intervasculares em formato e tamanho (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Ao dar continuidade na descrição microscópica, as fibras foram definidas como libriiformes, de paredes espessas e lume reduzido. Com relação ao parênquima axial, este é tomado como apotraqueal difuso e não estratificado. Já os raios são heterocelulares por possuírem células eretas e quadradas na margem, e procumbentes (maior dimensão no sentido radial) no resto do corpo; são também unisseriados (constituídos por fileira única de células na largura do raio) e multisseriados, e encontrados de forma numerosa variando até muito numerosa (8 a 16 por mm linear), de altura média a alta (sendo os mais altos superiores a 1mm de altura), e sem estratificação.

Com relação à presença de estruturas especiais, foi constatado que não há a presença de canais intercelulares, cristais etilos em tal espécie. Por último, com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.6a) e micro (Figura 2.6b-g) da anatomia da espécie *Goupia glabra* (Cupiúba) estão ilustrados na Figura 2.6 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.6: Imagens macro e micro da espécie *Goupia Glabra* (Cupiúba)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

Ribeiro (2017) ainda descreve as células dos vasos da madeira de Cupiúba como de tamanho médio (142,64 μm), sendo os vasos em sua maioria desobstruídos. Os raios foram descritos como heterocelulares formados por células quadradas e eretas, sendo pouco frequentes (8,53 por mm linear) e baixos (0,35 mm). Já as fibras foram descritas como libriformes de extensão longa (2,16 mm) e largura de 28,23 μm , de parede espessa (11,98 μm) e lúmen quase imperceptível.

Ainda em seu estudo, Ribeiro (2017) investigou vinte espécies tropicas comercializadas no estado de Mato Grosso, das quais a madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) foi destacada como sendo a segunda espécie mais comercializada no estado em termos de volume (16% do total). Nesse mesmo trabalho ainda foram determinadas as suas propriedades colorimétricas fazendo-se uso da metodologia proposta por Gonzalez (1993), e seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976. As propriedades determinadas estão dispostas na Tabela 2.34.

Tabela 2.34: Propriedades colorimétricas para a madeira de Cupiúba

L*	a*	b*	C	h*	Cor
59,05	9,28	27,07	28,68	71,12	Oliva amarelado

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

O trabalho também apresenta o estudo de tais propriedades em faces diferentes (radial e tangencial). Como resultado, foram encontradas diferenças significativas entre as coordenadas cromáticas (a* ou b*), que por sua vez não afetou a claridade da madeira por haver também uma compensação no valor da pigmentação vermelha (a*) ou amarela (b*) [se o valor de a* diminui, o de b* diminui na mesma ordem e vice-versa], assim não gerando qualquer interferência nos valores da claridade (L*) da madeira de uma face para a outra.

2.1.5.2 Propriedades físico-mecânicas

A ABNT NBR 7190 (1997), no seu anexo E, também traz valores médios de propriedades físico-mecânicas da madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) obtidos de uma amostra de 33 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%. Os valores estão contemplados na Tabela 2.35.

Tabela 2.35: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Goupia Glabra* (Cupiúba) foram disponibilizados na Tabela 2.36.

Tabela 2.36: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
839	4,3	7,2	54	77
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
3,1	17,1	0,7	79	14125
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
14439	13148	97	65	0,78

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores físicos e mecânicos de 163 espécies de madeira tropical, dentre elas estava a madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) que foi caracterizada a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.37.

Tabela 2.37: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
710	4,5	8,4	131,41	14612	67,57
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
14,51	9993	8140	4,12	5,49	14,51

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Além de propriedades anatômicas, como já mencionadas, Marques (2008) realizou também a determinação de propriedades físicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras estudadas com o seu processo/comportamento de secagem. Os ensaios foram realizados conforme recomendações da norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1972), e os resultados dos valores médios encontrados nesses ensaios para a espécie de (*Goupia glabra*) Cupiúba podem ser conferidos na Tabela 2.38, além dessa mesma tabela trazer valores retirados do Banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro localizado em Brasília – DF. Por último, a pesquisa ainda destaca que os poros (vasos) da madeira de Cupiúba estavam preenchidos por substâncias incrustantes (óleos-resina e goma).

Tabela 2.38: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba

Contração volumétrica total (%)		Massa específica básica (g/cm ³)	
Marques (2008)	Banco de dados do LPF	Marques (2008)	Banco de dados do LPF
13,30	13,12	0,674	0,71

LPF = laboratório de produtos florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília – DF.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Sales, Candian e Cardin (2011) utilizaram 30 corpos de prova em dimensões de escala real (5 x 11 x 300 cm³) da espécie de madeira *Goupia Glabra* (Cupiúba) para a determinação do seu módulo de elasticidade dinâmico médio através dos testes de ultrassom ($E_{d,us}$) e vibração transversal ($E_{d,vt}$) e comparação com resultados médios advindos dos ensaios de flexão estática (MOE). Os resultados encontrados podem ser visualizados na Tabela 2.39.

Tabela 2.39: Valores médios dos módulos dinâmicos e estático para a madeira de Cupiúba

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	VOL (m/s)	$E_{d,us}$ (MPa)	$E_{d,vt}$ (MPa)	MOE (MPa)
\bar{X}	954,10	4828	22.309	15.532	16.410
CV (%)	5,0	5,9	13,0	18,9	22,0

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente com teor de umidade a 12%; VOL = velocidade de onda longitudinal; $E_{d,us}$ = módulo de elasticidade dinâmico via ultrassom; $E_{d,vt}$ = módulo de elasticidade dinâmico via vibração transversal; MOE = módulo de elasticidade na flexão estática; \bar{X} = Valor médio; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Sales, Candian e Cardin (2011)

Foram encontradas funções a partir de regressões lineares, as quais obtiveram coeficiente de determinação $R^2 = 0,89$ para os resultados encontrados na vibração transversal versus MOE, e $R^2 = 0,88$ para os resultados correlacionados pela técnica de ultrassom versus MOE.

Com o intuito de se obter um processo menos dispendioso tanto no sentido financeiro quanto com relação ao tempo e esforço demandado para a obtenção de propriedades físico-mecânicas da madeira, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar tais propriedades com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de tal material de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) se encontrava. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas através de ensaios conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997) e estão disponibilizadas na Tabela 2.40.

Tabela 2.40: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
\bar{X}	860	4,37	7,49	79	13379	57
CV (%)	3,72	12,83	11,09	19,87	19,75	19,18
	E_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)
\bar{X}	13612	14	834	73	13368	3,6
CV (%)	20,91	21,43	18,23	27,29	23,75	30,43
	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	W (daN.m)	
\bar{X}	18	0,73	98	67	0,66	
CV (%)	15,76	27,89	18,27	15,23	44,52	

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem de forma conjunta. Com relação às propriedades físicas [ensaiadas conforme ABNT NBR 7190 (1997)] determinadas, seus valores médios estão dispostos na Tabela 2.41.

Tabela 2.41: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba

ρ_{bas} (kg/m ³)	Contrações totais (%)				CA
	L	R	T	V	
660	0,12	4,51	7,62	13,54	1,74

ρ_{bas} = densidade básica; L = contração longitudinal; R = contração radial; T = contração tangencial; V = contração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Com relação ao coeficiente anisotrópico (CA) apresentado na Tabela 2.41, que é um indicador de estabilidade dimensional (quanto mais próximo de 1, mais estável) da madeira, e que pode indicar, por exemplo, maior propensão da peça ao encanoamento, este foi considerado de valor normal, caracterizando a Cupiúba como sendo de média estabilidade dimensional, que por sua vez indica uma tendência da madeira em não desenvolver muitos problemas de fendilhamento e empenamentos durante as alterações dimensionais devido ao processo de secagem.

Ademais, no sítio eletrônico do IPT (2021d) foram disponibilizados mais valores das propriedades físico-mecânicas para a espécie de Cupiúba, conforme os apresentados na Tabela 2.42 e Tabela 2.43 (IPT, 2021d).

Tabela 2.42: Propriedades físicas da madeira de Cupiúba

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,15}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
710	870	1130	4,8	9,1	16,1

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021d)

Tabela 2.43: Propriedades mecânicas da madeira de Cupiúba

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	ρ_v	$\rho_{ap,15\%}$
f_M (MPa)	96,70	122,1
E_M (MPa)	13690	-
f_{c0} (MPa)	50,8	67,2
E_{c0} (MPa)	17142	-
f_{t90} (MPa)	6,8	-
f_{s0} (MPa)	0,9	-
f_{H0} (N)	6266	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	29,5

$\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021d)

2.1.5.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Marques (2008) realizou a determinação de propriedades físicas e anatômicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras com o seu processo/comportamento de secagem. Após a realização da secagem dos corpos de prova em estufa para que fossem determinados os valores médios da taxa de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (g/h.cm²) [TaS_{s-12%}], taxa de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (g/h.cm²) [TaS_{s-30%}], taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade da amostra (g/h.cm²) [TaS_{30%-12%}], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (h) [TS_{s-12%}], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (h) [TS_{s-30%}], e tempo de secagem da amostra de 30% até 12% de teor de umidade (h) [TS_{30%-12%}]. Todos esses dados podem ser conferidos na Tabela 2.44.

Tabela 2.44: Características de secagem da madeira de Cupiúba

TUI (%)	TaS _{s-12%} (g/h.cm ²)	TaS _{s-30%} (g/h.cm ²)	TaS _{30%-12%} (g/h.cm ²)	TS _{s-12%} (h)	TS _{s-30%} (h)	TS _{30%-12%} (h)
78,1	5,5973E-04	7,8202E-04	3,2126E-04	142,4	73,9	68,5

TUI = teor de umidade inicial; E = exponencial.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Como já dito no subitem anterior, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar propriedades físico-mecânicas com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) se encontrava. Os componentes químicos e a porosidade foram determinadas pelo método Klason adaptado a partir da norma TAPPI T-222 om-02 (2002), e pelo método de intrusão de mercúrio, respectivamente. Assim, os valores dos componentes químicos encontrados nos ensaios foram disponibilizados na Tabela 2.45. Além disso, através de modelos de regressão multivariadas foram encontradas equações significativas com altos valores de R² para as propriedades físico-mecânicas estimadas através da porosidade, densidade aparente e de sua composição química. Ademais, o valor da porosidade para a madeira de Cupiúba foi encontrado igual a 40,36% (DUARTE, 2017).

Tabela 2.45: Composição química da madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba)

	Resultados somados				Outros compostos	
	Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
	Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
\bar{X}	1,49	35,07	41,23	13,73	0,24	13,04
CV (%)	8,82	5,14	7,89	6,22	3,01	6,75

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem a uma temperatura constante de 60° C, com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem em conjunto.

O trabalho então encontrou um grupo do qual foi possível elaborar um processo de secagem comum por haver 83% de similaridade entre as variáveis obtidas em tal processo para as madeiras de *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra), *Ocotea aciphylla* (Canela amarela) e *Dipteryx odorata* (Cumaru), do qual a madeira de *Goupia Glabra* (Cupiúba) não foi enquadrada, mas se mostrou próxima. Com relação às propriedades químicas [ensaiadas conforme ABNT NBR 14853 (2002); ABNT NBR 14660 (2003); ABNT NBR 13999 (2003); ABNT NBR 7989 (2003); ABNT NBR 9487 (1986)] determinadas, seus valores médios para a madeira de Cupiúba estão dispostos na Tabela 2.46.

Tabela 2.46: Propriedades químicas da madeira de Cupiúba

Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Holocelulose (%)
30,71	0,40	5,52	63,38

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Com respeito às propriedades químicas da madeira de Cupiúba apresentadas na Tabela 2.46, tal madeira pôde ser enquadrada em um grupo de madeiras que contam com as espécies de *Ocotea aciphylla* (canelão) e *Couratari guianensis* (Tauari), apresentando 92,92% de similaridade química entre si.

No que diz respeito ao processo de secagem, foram utilizadas 20 amostras de cada espécie. O tempo e redução de umidade por hora (hr) foi tomado referente da condição verde da madeira até aproximadamente 8% de umidade. A madeira de Cupiúba inicialmente com teor de umidade de 60,04% levou um total de 277 horas até atingir 9,05% de umidade, sendo equivalente a uma taxa média de redução de umidade igual a 0,18%/hr a uma temperatura constante de 60° C para essa e todas as outras espécies, como já dito. (SUSIN, 2018).

No que diz respeito à taxa de secagem, os intervalos analisados foram os referentes à condição verde da madeira até o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) [30%], PSF até 8% de umidade, e da condição verde até 8%. Com relação à condição verde até 8% de umidade, a madeira de Angelim-Pedra obteve uma taxa de secagem de 0,00263 g.cm⁻².hr⁻¹. O estudo ainda apresenta que características de permeabilidade e anatômicas, como a frequência o diâmetro, abundância de vasos e presença de tilos ou ainda outras substancias que podem obstruir o deslocamento de fluídos no interior dos vasos, influenciam na taxa de secagem, e conseqüentemente na velocidade com que a madeira seca (SUSIN, 2018). Já no que diz respeito à defeitos de secagem (empenos), a Tabela 2.47 disponibiliza os valores médios encontrados na pesquisa para a madeira de Cupiúba.

Tabela 2.47: Empenos na madeira de Cupiúba

Arqueamento		Encurvamento		Encanoamento		Torcimento	
F _{Arq.} (mm.m ⁻¹)	X _{Arq.} (%)	F _{Encur.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encur.} (%)	F _{Encan.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encan.} (%)	F _{Tor.} (mm.m ⁻¹)	X _{Tor.} (%)
1,06	38,10	1,20	57,14	0,38	28,57	2,33	47,62

F_{Arq.} = flecha de arqueamento; X_{Arq.} = peças com arqueamento; F_{Encur.} = flecha de encurvamento; X_{Encur.} = peças com encurvamento; F_{Encan.} = flecha de encanoamento; X_{Encan.} = peças com encanoamento; F_{Tor.} = flecha de torcimento; X_{Tor.} = peças com torcimento.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

O trabalho ainda destaca que todos os valores médios para arqueamento, encurvamento, encanoamento foram menores que os aceitos pela ABNT NBR 9487 (1986), apesar de haver torcimento na madeira de Cupiúba, conforme apresentado na Tabela 2.47, que não é admito por tal normativa. Com relação ao arqueamento, a pesquisa afirma que é

um tipo de empenamento difícil de ser controlado durante o processo de secagem por não haver qualquer restrição mecânica nessa direção.

O trabalho ainda classificou a madeira como de secagem demorada em estufa, principalmente para umidades abaixo do ponto de saturação das fibras (30%) [200 horas de 60,04% até 9,05%]. Com relação às rachaduras, a Tabela 2.48 demonstra os valores médios encontrados para a madeira de Cupiúba segundo Susin (2018).

Tabela 2.48: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Cupiúba

Rachadura de topo		Rachaduras de superfície (%)	Rachaduras internas (%)
IRT médio (%)	Peças com defeito (%)		
11	80,95	19,05	0

IRT = índice de rachaduras de topo.
Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Pelo resultado apresentado de IRT médio (acima de 10%) para a Cupiúba, essa madeira foi classificada como de segunda categoria, requerendo atenção especial com relação a tal problema, visto que isso significa 10% de perda do comprimento da madeira. Não à toa a madeira de Cupiúba foi a que teve o maior índice de rachaduras de topo, além de ser a que teve a maior porcentagem de peças (80,95%) com esse mesmo defeito (SUSIN, 2018).

2.1.6 JATOBÁ (*HYMENAEA STILBOCARPA*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá).

2.1.6.1 Características gerais e anatômicas

Segundo o IPT (2021e), as espécies do gênero *Hymenaea* podem ser tratadas de forma conjunta por possuírem densidades e características anatômicas semelhantes, inclusive possuindo o mesmo valor no mercado/comércio e nome popular semelhante (Jatobá). Sendo assim, aqui serão descritas as características e propriedades da madeira de *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá), porém outras espécies desse gênero, identificadas ou não, serão noticiadas quando pertinente.

Sendo assim, a madeira da espécie Jatobá, também conhecida comocopal, courbaril, jataí, jataíba, jatobá-curuba, jatobazinho, jutaí, jutaí-açu, jutaí-do-igapó, jutaí-grande, jutaí-mirim, jutaí-vermelho, quebra machado, e cientificamente conhecida como *Hymenaea stilbocarpa* é pertencente à família Leguminosae, e pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia, São Paulo, e na Amazônia e Mata Atlântica. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países/regiões: América Central, Argentina, Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru e Suriname, sendo que esses estados brasileiros e os outros nove países/regiões citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021e; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações pesadas e externas, como em dormentes ferroviários e cruzetas; pesadas e internas como em vigas, caibros e tesouras; leve em esquadrias, e para função decorativa interna, assoalhos, mobiliário e outros. Já a respeito de suas características organolépticas (sensoriais), possui cerne e alburno distintos pela cor, com alburno branco-amarelado e cerne variando do castanho-amarelado ao castanho-avermelhado. O seu cheiro e gosto são imperceptíveis, tem alta densidade, é dura ao corte, possui grã regular a irregular, apresenta textura média, superfície pouco lustrosa e é moderadamente áspera ao tato (IPT, 2021e; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação à sua cor, Ribeiro (2017) investigou vinte espécies tropicais comercializadas no estado de Mato Grosso, das quais a madeira de *Hymenaea courbaril* (Jatobá) se encontrava. No estudo foram determinadas as suas propriedades colorimétricas, apresentadas na Tabela 2.49, fazendo-se uso da metodologia proposta por Gonzalez (1993), e seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976. O trabalho também apresenta o estudo de tais propriedades em faces diferentes (radial e tangencial). Como resultado não foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos parâmetros quando analisados em faces diferentes.

Tabela 2.49: Propriedades colorimétricas para a madeira de *Hymenaea courbaril* (Jatobá)

L*	a*	b*	C	h*	Cor
51,74	14,03	24,37	28,16	59,98	Amarelo amarronzado

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Jatobá se caracteriza por possuir parênquima axial visível a olho nu, em faixas marginais associadas/intercaladas com o parênquima axial paratraqueal vasicêntrico ou aliforme. Os

seus raios são visíveis a olho nu no topo e visíveis sob lente na face tangencial, além de serem presentes em pouca quantidade. Os vasos são também visíveis a olho nú, de tamanho médio, em pouca quantidade, com porosidade difusa, e são encontrados solitários e em múltiplos, além de serem obstruídos por óleo-resina. Por último, as suas camadas de crescimento são classificadas como distintas e individualizadas por parênquima marginal (IPT, 2021e).

Algumas diferenças nas propriedades macroscópicas podem ser notadas em Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), onde tal pesquisa descreve a espécie de *Hymenaea courbaril* (Jatobá) apresentando parênquima axial visível a olho nú, em finas linhas marginais intercaladas com parênquima vasicêntrico e aliforme losangular. Com seus raios finos e numerosos, e os vasos como sendo eventualmente obstruídos, além de possuírem placa de perfuração simples.

Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos são encontrados em múltiplos de até 4, e em sua maioria dispostos de forma solitária, com porosidade difusa (os vasos estão dispersos aleatoriamente na seção transversal), em pouca quantidade (3 a 8 por mm² ou média de 4,3% de área de poros com relação à seção transversal do lenho), com células de diâmetro pequeno (97 até 104 µm), eventualmente obstruídos por óleo-resina; com pontoações intervasculares médias, alternadas, de formato poligonal, com abertura inclusa (abertura dentro das aréolas), guarnecidas (impregnações de parede celular na forma de projeções); com placa de perfuração simples, pontoações raiovasculares com bordas pouco distintas, semelhantes às intervasculares em formato e tamanho (ALMEIDA, 2013; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

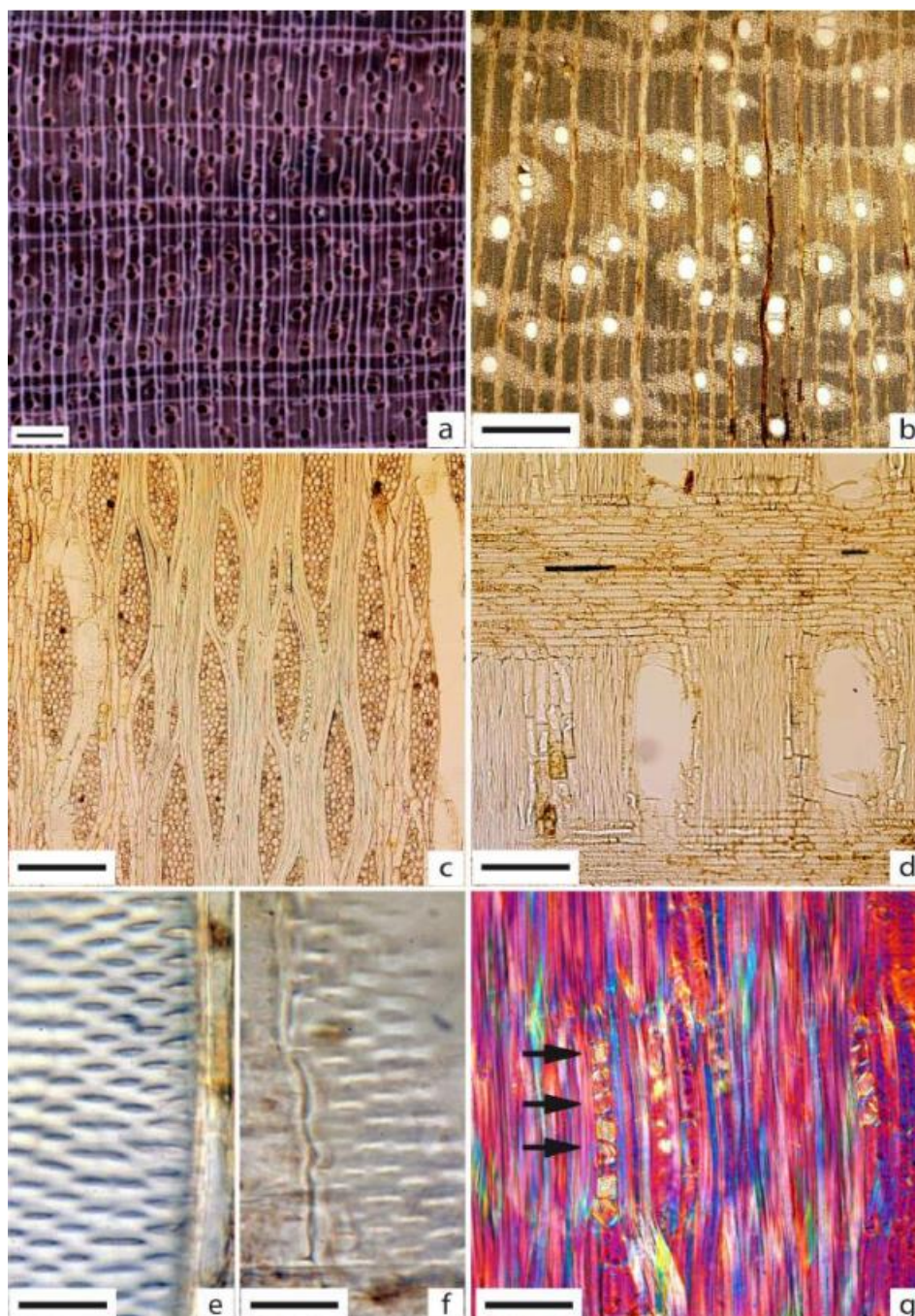
Em referência ainda às propriedades microscópicas, as fibras são libriformes, de paredes espessas e lume reduzido, além de possuírem pontoações simples. Já o parênquima axial é disposto em linhas marginais intercaladas com parênquima paratraqueal vasicêntrico (circundando o vaso totalmente em formato circular) escasso e aliforme losangular e não estratificado (RIBEIRO, 2017; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Os raios são homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes de tamanhos distintos nas margens, raramente unisseriados (constituído por fileira única de células na largura), e predominantemente multisseriados; se apresentam em pequena quantidade (3 a 7 por mm linear), de pequena altura (347 até 456 µm) e com estratificação ausente. Por último, com relação à presença de estruturas especiais, não há a presença de canais intercelulares ou de tilos nos vasos, porém podem ser encontrados cristais prismáticos presentes nas células do parênquima axial (RIBEIRO, 2017; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Logo, com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.7a) e micro (Figura 2.7b-g) da anatomia da espécie

Hymenaea courbaril (Jatobá) estão ilustrados na (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.7: Imagens macro e micro da espécie *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm); (g) plano radial destacando séries cristalíferas no parênquima axial (setas pretas) [20x=100mm].

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.6.2 Propriedades físicas e mecânicas

Com relação aos valores médios físico-mecânicos da madeira de *Hymenaea* spp. (spp. = classificação genérica para várias espécies daquele mesmo gênero), e também conhecida como Jatobá, a norma ABNT NBR 7190 (1997), em seu anexo E, traz valores obtidos a partir

de uma amostra de 20 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%, os quais estão contemplados na Tabela 2.50.

Tabela 2.50: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Jatobá (*Hymenaea* spp.)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Hymenaea* sp. (Jatobá) foram disponibilizados na Tabela 2.51.

Tabela 2.51: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Jatobá

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
1084	3,4	6,8	91	162
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
3,4	25,5	0,8	159	22967
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
21394	21367	165	127	2,11

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontravam as madeiras de *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea parvifolia* (também conhecidas como Jatobá) que foram caracterizadas a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.52 e Tabela 2.53.

Tabela 2.52: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Hymenaea courbaril* (Jatobá)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
760	3,4	7,7	137,20	15593	75,81
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
13,83	12288	10944	6,67	7,45	19,02

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Tabela 2.53: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Hymenaea parvifolia* (Jatobá)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
900	3,7	9,7	169,85	16966	94,73
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
18,83	16387	16867	6,47	7,16	23,14

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Ainda com relação às propriedades mecânicas, Almeida *et al.* (2011) determinaram a resistência ao impacto na flexão de seis espécies (*Pinus oocarpa* Shiede; *Tectona grandis*; *Schizolobium amazonicum*; *Corymbia citriodora*; *Hymenaea* sp.; *Anadenanthera falcata*) de madeira tropical, das quais a madeira de *Hymenaea* sp. (classe de resistência C60) se encontrava. Uma amostra de 18 corpos de prova com teor de umidade a 12% foi utilizada para cada espécie e o ensaio foi realizado conforme ABNT NBR 7190 (1997). A madeira de *Hymenaea* sp. (Jatobá) foi a mais resistente, atingindo seu valor máximo na posição 1 (63 KJ) suportando 132 KJ/m².

Almeida (2013) apresenta valores médios para a variação dimensional da madeira de *Hymenaea* spp. (Jatobá) em direções diferentes, sendo que tal ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), contando com doze corpos de prova apresentando teor de umidade de 9,45%. Os valores médios encontrados juntos do valor de densidade básica foram disponibilizados na Tabela 2.54.

Tabela 2.54: Propriedades físicas da madeira de Jatobá

	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,1}$ (%)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)	CA
\bar{X}	0,748	0,26	2,98	5,99	8,97	2,01
CV (%)	5,47	51,44	11,16	13,10	9,63	6,10

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,1}$ = contração longitudinal; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica; CA = coeficiente de anisotropia.

Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

Lahr *et al.* (2016b) determinaram valores médios de propriedades físico-mecânicas para a madeira de *Hymenaea stilbocarpa* Hayne (Jatobá) de acordo com ensaios recomendados pela ABNT NBR 7190 (1997) a partir de 10 corpos de prova advindos de Caracaraí - sul de Roraima, 13 de Bonfim – Sul de Roraima, e 12 do município de Alta Floresta - Norte de Mato Grosso, todos com teor de umidade a 12%. Os valores das propriedades físicas e mecânicas encontrados foram disponibilizados na Tabela 2.55 e Tabela 2.56, respectivamente.

Tabela 2.55: Propriedades físicas da madeira de *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá)

Cidades		$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)
Caracaraí	\bar{X}	1,05	3,52	7,23
	CV (%)	11	11	8
Bonfim	\bar{X}	1,08	3,63	6,71
	CV (%)	8	18	10
Alta Floresta	\bar{X}	0,91	3,45	6,63
	CV (%)	13	15	8

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial.
Fonte: Adaptado de Lahr *et al.* (2016b)

Tabela 2.56: Propriedades mecânicas da madeira de *Hymenaea stilbocarpa* (Jatobá)

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a cidade					
	Caracaraí		Bonfim		Alta Floresta	
	\bar{X}	CV (%)	\bar{X}	CV (%)	\bar{X}	CV (%)
f_{c0} (MPa)	93,91	7	93,42	11	94,38	8
f_{t0} (MPa)	167,8	16	141,33	19	153,46	19
f_{i90} (MPa)	4,13	19	3,71	23	3,23	17
f_{v0} (MPa)	24,70	18	28	21	26,69	16
f_{s0} (MPa)	0,86	20	0,85	19	0,82	21
f_M (MPa)	163,42	23	151,83	16	148,46	19
E_{c0} (MPa)	22482	21	21403	14	21759	19
E_{t0} (MPa)	22195	6	20801	7	21752	11
E_M (MPa)	22708	11	20864	8	21222	10
f_{H0} (MPa)	160,33	7	166,17	8	169,54	11
f_{H90} (MPa)	133	6	128,67	10	141,08	16
W (N.m)	18,45	13	21,67	13	19,82	19

f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{t0} = resistência à tração normal às fibras; f_{i90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; W = tenacidade; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras.

Fonte: Adaptado de Lahr *et al.* (2016b)

Nesse mesmo sentido, Evangelista e da Costa (2017) determinaram valores médios das propriedades de densidade e estabilidade dimensional (contrações totais) para 20 corpos de prova por espécie da madeira de *Hymenaea* sp. (jatobá) e de *Handroanthus* sp. (ipê) de acordo com os ensaios descritos na norma ABNT NBR 7190 (1997). Os valores referentes à espécie de Jatobá podem ser conferidos na Tabela 2.57.

Tabela 2.57: Propriedades físicas da madeira de *Hymenaea* sp. (jatobá)

	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)	CA
\bar{X}	820	6,11	11,46	16,94	1,89
CV (%)	3,25	10,36	7,92	7,09	12,26

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial total; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial total; ΔV = contração volumétrica total; CA = coeficiente de anisotropia.

Fonte: Adaptado de Evangelista e da Costa (2017)

Já com relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Hymenaea* spp. (Jatobá), a Tabela 2.58 e Tabela 2.59 apresentam, respectivamente, os seus valores médios. Vale ressaltar que os valores de todas propriedades foram encontrados de acordo com a norma ABNT NBR 6230 (1985) (IPT, 2021e).

Tabela 2.58: Propriedades físicas da madeira de Jatobá

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,15\%}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
800	960	-	3,1	7,2	10,7

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; - = valor não tabelado; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021e)

Tabela 2.59: Propriedades mecânicas da madeira de Jatobá

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	ρ_v	$\rho_{ap,15\%}$
f_M (MPa)	131,60	151,80
E_M (MPa)	14837	-
f_{c0} (MPa)	67	82,20
E_{c0} (MPa)	17691	-
f_{t90} (MPa)	13,10	-
f_{s0} (MPa)	1,5	-
f_{v0} (MPa)	17,5	-
f_{H0} (N)	11180	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	33,70

$\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021e)

2.1.6.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Já com relação à composição química das madeiras de *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea parvifolia*, ambas conhecidas popularmente como Jatobá, Santana e Okino (2007) determinaram a divisão de compostos presentes em ambas as espécies por meio dos procedimentos de hidrólise total, cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) e utilização de métodos colorimétricos. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 2.60 e Tabela 2.61.

Tabela 2.60: Composição química da madeira de *Hymenaea courbaril*

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
1,1	30,3	42,8	25,8	0,3	8,5

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Tabela 2.61: Composição química da madeira de *Hymenaea parvifolia*

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
1,2	28,4	45,9	24,5	0,2	3,1

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

2.1.7 LOURO PRETO (*OCOTEA SPP.*)

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Ocotea spp.* (Louro-preto).

2.1.7.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Louro-preto também conhecida como canela, canelão, canela-parda, louro-canela, e cientificamente conhecida como *Ocotea spp.* é pertencente à família Lauraceae. Para essa espécie não foram encontrados registros de quais regiões ela pode ser encontrada, porém, na construção civil ela pode ser utilizada como rodapés, tábuas, venezianas e assoalhos, podendo ser empregada até mesmo na construção naval e cutelaria (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021; ZAQUE; MELO, 2019).

Já a respeito de suas características organolépticas (sensoriais), possui cerne castanho escuro enegrecido, além do seu odor ser perceptível e agradável, porém com gosto imperceptível. É também considerada como uma madeira pesada, ao mesmo tempo que é macia ao corte, lisa ao tato e de textura média. Por último, essa espécie ainda possui grã direita e brilho acentuado (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021). Ainda com respeito às suas características organolépticas, Zaque e Melo (2019) afirmaram que a cor do cerne e do alburno são distintas, sendo a do cerne definida no trabalho como pardo-amarelado a oliváceo. Além disso, a pesquisa classificou a madeira como moderadamente pesada por possuir densidade aparente de $0,73 \text{ g/cm}^3$.

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Louro-preto se caracteriza por possuir parênquima axial visível apenas sob lente de 10 vezes, sendo paratraqueal vasicêntrico escasso ou apotraqueal difuso. Suas camadas de crescimento são distintas sob lente de 10 vezes, demarcadas por zonas fibrosas em faixas mais escuras e pela redução do número de vasos. Da mesma maneira, os seus raios são visíveis apenas sob lente de 10 vezes, porém largos e numerosos, pouco contrastados, além de serem irregularmente espaçados e não estratificados. Por último, os vasos são visíveis também sob lente de 10 vezes, se apresentando individualmente ou em múltiplos, com arranjo difuso, de tamanho pequeno até médio, em pouca quantidade, desobstruídos e com placa de perfuração simples (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

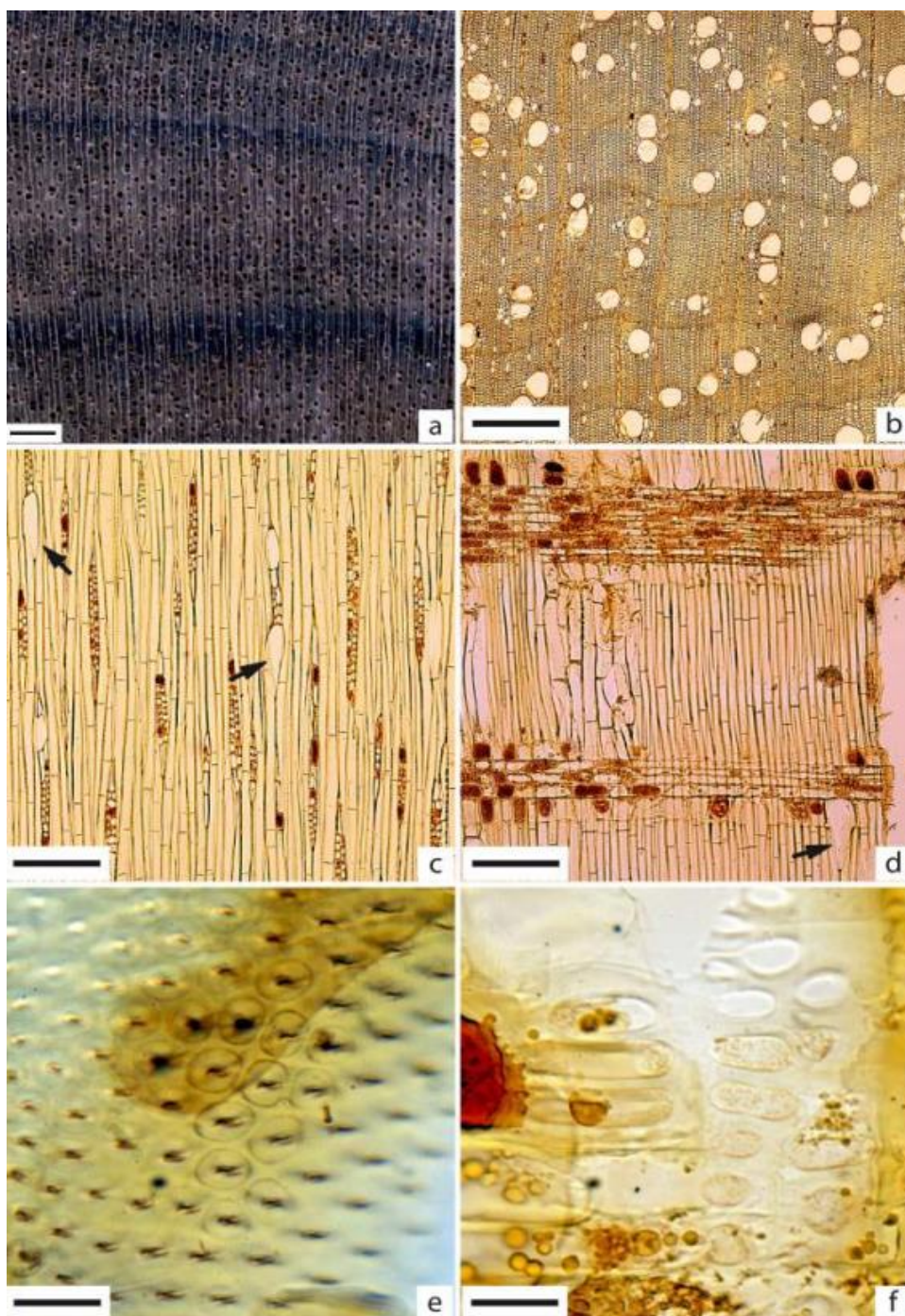
Já para Zaque e Melo (2019), no que diz respeito também à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Louro-preto se caracteriza por possuir parênquima axial indistinto. Ademais, as suas camadas de crescimento foram descritas como pouco

demarcadas por zonas fibrosas mais escuras. Já os raios foram descritos como visíveis apenas sob lente de 10 vezes no topo (seção transversal) e com espaçamento irregular entre eles, contendo aproximadamente 6 raios a cada milímetro. No corte tangencial os raios foram descritos como visíveis apenas sob lente de 10 vezes, e no corte radial, o espelhado dos raios foi tomado como pouco contrastado. Por último, os vasos foram descritos como sendo visíveis a olho nú, se apresentando individualmente ou em múltiplos em sua maioria, com arranjo difuso, de tamanho médio, em pouca quantidade, além de ter sido registrada a presença de tilos no interior de seus poros.

Com relação às suas propriedades microscópicas, os vasos são encontrados solitários de forma predominante e em múltiplos de até 4, com distribuição difusa; em pouca quantidade (6 até 12 por mm²), médios em seu diâmetro (126 até 295 µm) e desobstruídos, além de possuírem pontoações intervasculares médias, alternas, não guarnecidas e ovaladas. Ainda possuem placa de perfuração simples e pontoações raiovasculares grandes com bordas reduzidas, horizontais ou inclinadas (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Ainda com relação às suas propriedades microscópicas, as suas fibras são libriformes e septadas, de parede fina, lume espesso e pontoações simples. Já o parênquima axial é paratraqueal vasicêntrico escasso ou apotraqueal difuso, sempre não estratificado. Os raios são heterocelulares, formados por 1 fileira de células eretas e o corpo procumbente, raramente encontrados como unisseriados, sendo os bisseriados e trisseriados predominantes. Os raios são ainda encontrados em grande quantidade (6 até 11 por mm linear), de altura baixa a média (193 até 412µm), sem estratificação, além de contar com a presença de células oleíferas. Com relação às suas estruturas especiais, não existem canais intercelulares, cristais e/ou tilos. A pesquisa ainda apresentou a representação macro (Figura 2.8a) e micro (Figura 2.8b-f) da anatomia da espécie de *Ocotea guianensis* (Louro Preto) que está ilustrada na Figura 2.8 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.8: Imagens macro e micro da espécie *Ocotea guianensis* (Louro-preto)

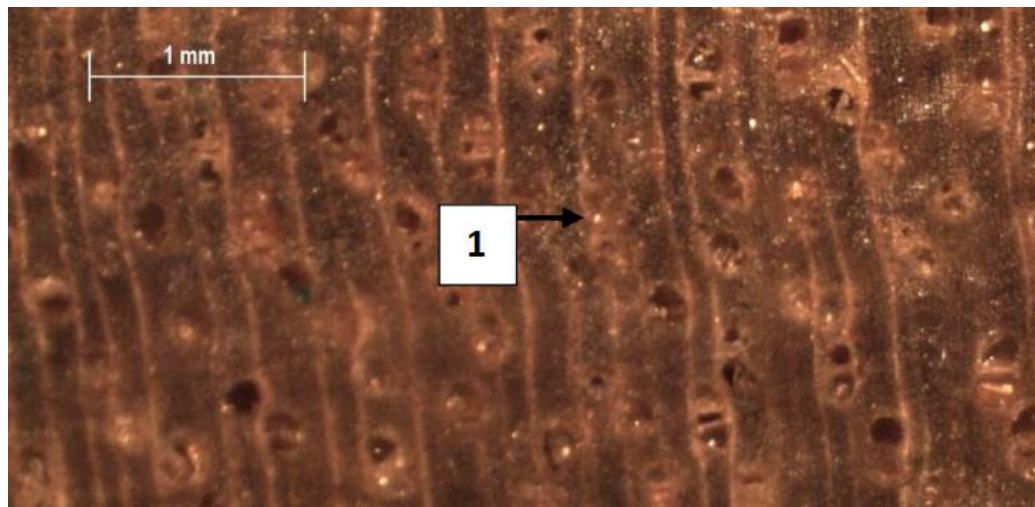


(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial destacando células oleíferas (setas pretas) [10x=200mm], (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

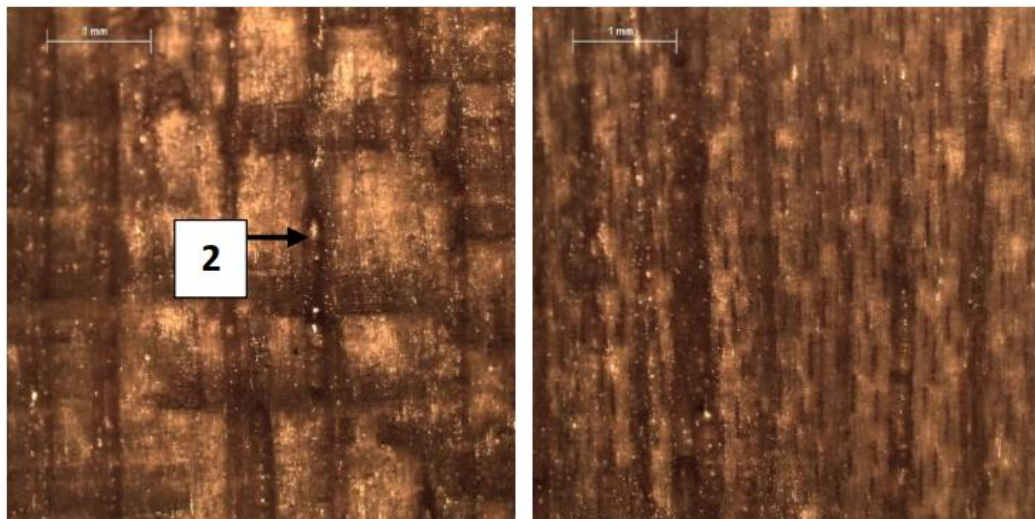
Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

Zaque e Melo (2019) também apresentaram imagens acerca da anatomia da madeira de Louro-preto (*Ocotea* sp.), conforme Figura 2.9, porém apenas representações macroscópicas na escala de 1 mm foram disponibilizadas, nas quais a presença de tilos foram destacadas por setas pretas acompanhadas da numeração 1 na Figura 2.9a e do numeral 2 na Figura 2.9b.

Figura 2.9: Imagens macro da espécie *Ocotea* sp. (Louro-preto)



(a)



(b)

(c)

(b) Plano transversal, (b) Plano radial, (c) plano tangencial
Fonte: Zaque e Melo (2019)

2.1.7.2 Propriedades físico-mecânicas

Com relação aos valores médios físico-mecânicos da madeira de *Ocotea* spp. (spp. = classificação genérica para várias espécies daquele mesmo gênero), e também conhecida como Louro-preto, a norma ABNT NBR 7190 (1997), em seu anexo E, traz valores obtidos a partir de uma amostra de 24 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%, os quais estão contemplados na Tabela 2.62.

Tabela 2.62: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Ocotea* spp. (Louro-preto)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
684	56,5	111,9	3,3	9	14185

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas as propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Ocotea* sp. (Louro-preto) foram disponibilizados na Tabela 2.63.

Tabela 2.63: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Ocotea* sp. (Louro-preto)

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
680	4,1	8,1	55	68
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
3,1	13,8	0,6	85	13536
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
12851	13556	85	50	0,66

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontravam as madeiras de *Ocotea* sp. (Louro-canela) e *Ocotea* sp. (Louro-cunuaru) que foram caracterizadas a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.64 e Tabela 2.65, respectivamente.

Tabela 2.64: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Ocotea* sp. (Louro-canela)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
630	3,60	7,80	119,74	14024	63,45
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
9,71	5237	5256	4,81	6,96	12,36

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Tabela 2.65: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Ocotea* sp. (Louro-cunuaru)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
590	4,30	6,90	126,70	13729	61,98
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
12,06	5560	5403	-	-	-

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Couto *et al.* (2020) estudaram a relação entre a resistência ao cisalhamento (f_{v0}) e a resistência na compressão paralela às fibras (f_{c0}) por meio de ensaios segundo a ABNT NBR 7190 (1997) e auxílio do método dos mínimos quadrados. No estudo foram utilizadas 10 espécies do grupo das folhosas, das quais a espécie de *Ocotea* spp. (Louro-preto) apresentou valores de 52,9 MPa (desvio padrão = 5,67 %) e 11 MPa (1,03 %) na f_{c0} e f_{v0} , respectivamente. No que diz respeito à relação entre f_{v0} e f_{c0} , a expressão matemática encontrada foi a **Eq. 2.2** para a espécie em questão, além de ter sido encontrada a **Eq. 2.3** representativa de todas as espécies do trabalho.

$$f_{v0,k} = 0,19 \times f_{c0,k} \quad \text{Eq. 2.2}$$

$$f_{v0,k} = 0,23 \times f_{c0,k} \quad \text{Eq. 2.3}$$

2.1.7.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Com o intuito de determinar o potencial energético da madeira de *Ocotea* sp. (Louro-preto) e de outras três espécies da Amazônia, Silva *et al.* (2014) estudaram entre outros fatores, a sua composição química. As preparações e os ensaios para a determinação da composição química seguiram as premissas das normas ABNT NBR 14660 (2004), ABNT NBR 7989 (2010), ABNT NBR 14853 (2010) e ABNT NBR 8112 (1983), e a Tabela 2.66 traz os valores pertinentes para a pesquisa corrente.

Tabela 2.66: Composição química da madeira de *Ocotea* sp. (Louro Preto)

Resultados somados		Outros compostos	
Lignina (%)	Holocelulose (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)
33,64	58,68	0,119	7,68

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2014)

2.1.8 PEQUIÁ [*CARYOCAR VILLOSUM* (AUBL.) PERS.]

A seguir foram descritas as propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as

propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Pequiá), que a frente no texto será mencionada apenas como *Caryocar villosum* quando seu nome científico for mencionado.

2.1.8.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Pequiá também conhecida como pequi, pequi-roxo, piquiá, piqui, piqui-rosa, piquiá-bravo, piquiá-verdadeiro e vinagreiro, e cientificamente conhecida como *Caryocar villosum* é pertencente à família Caryocaraceae, e pode ser encontrada em alguns estados brasileiros, tais como: Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países/regiões: Guiana, Guiana Francesa e Suriname, sendo que esses estados brasileiros e os outros três países/regiões citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021f; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações pesadas e externas, como em dormentes ferroviários, cruzetas, postes, estacas, defensas e mourões; pesadas e internas como em vigas, caibros, ripas e como tábuas para assoalhos. Além disso, ela ainda pode ser utilizada na construção naval como costados, quilhas, estacas marítimas e conveses (IPT, 2021f; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação à sua cor, Barros, Muniz e Matos (2014) determinaram as propriedades colorimétricas de 3 espécies de madeira, das quais, a espécie de *Caryocar glabrum* (Pequiarana) se encontrava. A metodologia utilizada foi a proposta por Camargos e Gonçalves (2001) que faz uso da tabela de cores obtida no agrupamento de Cluster para a classificação de cor da madeira com base nos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C & h^*) definidos no sistema CIELAB 1976. Em resumo, as propriedades determinadas estão dispostas na Tabela 2.67.

Tabela 2.67: Propriedades colorimétricas da madeira de *Caryocar glabrum* (Pequiarana)

L^*	a^*	b^*	C	h^*	Cor
64,67	7,58	18,87	20,57	66,52	Cinza-rosado e Rosa-acinzentado

L^* = luminosidade; a^* = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b^* = tonalidade nos eixos amarelo/azul; C = saturação; h^* = ângulo da tinta.

Fonte: Adaptado de Barros, Muniz e Matos (2014)

A pesquisa também apresenta o estudo de tais propriedades em faces diferentes (radial, tangencial e transversal), onde foram encontradas diferenças estatísticas. Sendo assim, a conclusão é que dependendo da direção do desdobro da madeira, a sua cor pode variar, podendo afetar até mesmo o seu valor.

Já a respeito de todas suas características organolépticas (sensoriais), a madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá) possui cerne indistinto do alburno de cor esbranquiçado, levemente rosado, passando geralmente a amarelado-claro, pardo-claro-amarelado ou bege amarelado. O seu cheiro e gosto são imperceptíveis, tem alta densidade, grã revessa, textura grossa, superfície lustrosa, e ainda é dura ao corte e moderadamente áspera ao tato (IPT, 2021f; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Pequiá se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível só sob lente, sendo apotraqueal difuso e difuso em agregados formando uma trama com os raios, às vezes também disposto em finas faixas marginais. Os raios também são visíveis só sob lente no topo, são finos e encontrados em grande quantidade, porém na face tangencial são pouco visíveis mesmo sob lente de aumento. Já seus vasos (poros) são visíveis a olho nu com porosidade difusa (dispersos pelo lenho, independente dos anéis de crescimento); de médios a grandes (diâmetro), encontrados solitários e em múltiplos, além de serem obstruídos por tilos. As suas camadas de crescimento são marcadas por zonas fibrosas bem regulares e, eventualmente, pelo parênquima marginal (IPT, 2021f).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas anatômicas, a madeira de Pequiá se caracteriza por ter a presença de parênquima axial distinto sob lente de 10x, distribuído no formato apotraqueal difuso em agregados. Os raios são também visíveis sob lente de 10x, além de extremamente finos e numerosos, e com estratificação ausente. Já os vasos foram classificados como sendo visíveis a olho nú, sendo encontrados solitários e em múltiplos, com distribuição difusa, tendendo a um arranjo oblíquo, de diâmetro variando entre médio a grande, encontrados em pouca quantidade, além de serem totalmente obstruídos por tilos e possuírem placa de perfuração simples. Por fim, as suas camadas de crescimento foram definidas como sendo visíveis a olho nú, sendo possível ainda identificar demarcações por zona fibrosa (região da qual não há a ocorrência de parênquima axial).

Com relação às propriedades microscópicas, Marques (2008) determinou características dos poros e fibras de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas, dentre as quais se encontrava a espécie de *Caryocar glabrum* (Piquiarana), com o objetivo de relacionar tais propriedades com o seu processo/comportamento de secagem. Como conclusão, o trabalho apresenta os valores médios encontrados para a espécie de Piquiarana disponibilizados na Tabela 2.68, além de destacar a presença de tilos obstruindo seus poros.

Tabela 2.68: Propriedades anatômicas da madeira de *Caryocar glabrum* (Piquiarana)

DTP (µm)	FP poros/mm ²	FPO/FP (µm)	DTMF (µm)	LLF (µm)	EPF (µm)
238,20	4,10	0,93	23,0968	8,2980	7,9683

DTP = diâmetro tangencial dos poros; FP = frequência dos poros; FPO = frequência dos poros obstruídos; DTMF = diâmetro total máximo das fibras; LLF = largura do lúmen das fibras; EPF = espessura da parede das fibras.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Com o intuito de reunir informações sobre madeiras utilizadas na produção de embarcações na Amazônia, Braga Jr. *et al.* (2020) realizaram a caracterização anatômica microscópica de 8 espécies com base nos protocolos da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989a). Com relação aos resultados quantitativos da espécie *Caryocar villosum*, foi identificada a distinção dos anéis de crescimento, a presença de placa de perfuração simples, pontoações intervaseculares alternas, raiovasculares areoladas reduzidas com arranjo irregular, além da presença de parênquima apotraqueal difuso e difuso em agregados.

Já os raios foram descritos com seu corpo sendo composto por células procumbentes, possuindo na maioria das vezes de duas a quatro fileiras de células marginais eretas e ou quadradas. Por fim, foi identificada a deposição de tilos nos poros da madeira, além da inclusão de cristais prismáticos no seu parênquima axial, além de ser constatada a não estratificação das células. Por outro lado, com relação às informações qualitativas acerca das propriedades anatômicas microscópicas, a Tabela 2.69 traz os seus valores encontrados (BRAGA Jr. *et al.*, 2020).

Tabela 2.69: Dados qualitativos sobre a anatomia microscópica da espécie de *Caryocar villosum* (Pequiá)

	VEL (µm)	TDV (µm)	VF (por mm ²)	RF (por mm)	RW (µm)
\bar{X}	514,47	257,74	3,63	10,43	21,56
DP (%)	180,55	40,74	1,52	1,65	5,91
	RH (µm)	FL (µm)	FD (µm)	FLD (µm)	FWT (µm)
\bar{X}	658,35	1201,24	18,01	9,64	4,18
DP (%)	215,32	152,25	5,08	4,63	0,86

VEL = comprimento do elemento de vaso; TDV = diâmetro tangencial do lúmen do vaso; VF = frequência de vasos; RF = frequência de raios; RW = largura do raio; RH = altura do raio; FL = comprimento da fibra; FD = diâmetro da fibra; FLD = diâmetro do lúmen da fibra; FWT = espessura da parede da fibra; DP = desvio padrão.

Fonte: Adaptado de Braga Jr. *et al.*, (2020)

Ainda sobre as suas propriedades microscópicas, Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) apontaram o parênquima axial como apotraqueal difuso em agregados, além de não ser estratificado. Já os seus raios foram classificados como heterocelulares, com células eretas e quadradas na margem e o corpo procumbente. Além disso, os raios podem variar conforme seu formato [unisseriados (constituído por fileira única de células na largura), bisseriados e raramente multisseriados], conforme sua quantidade [desde numerosos até

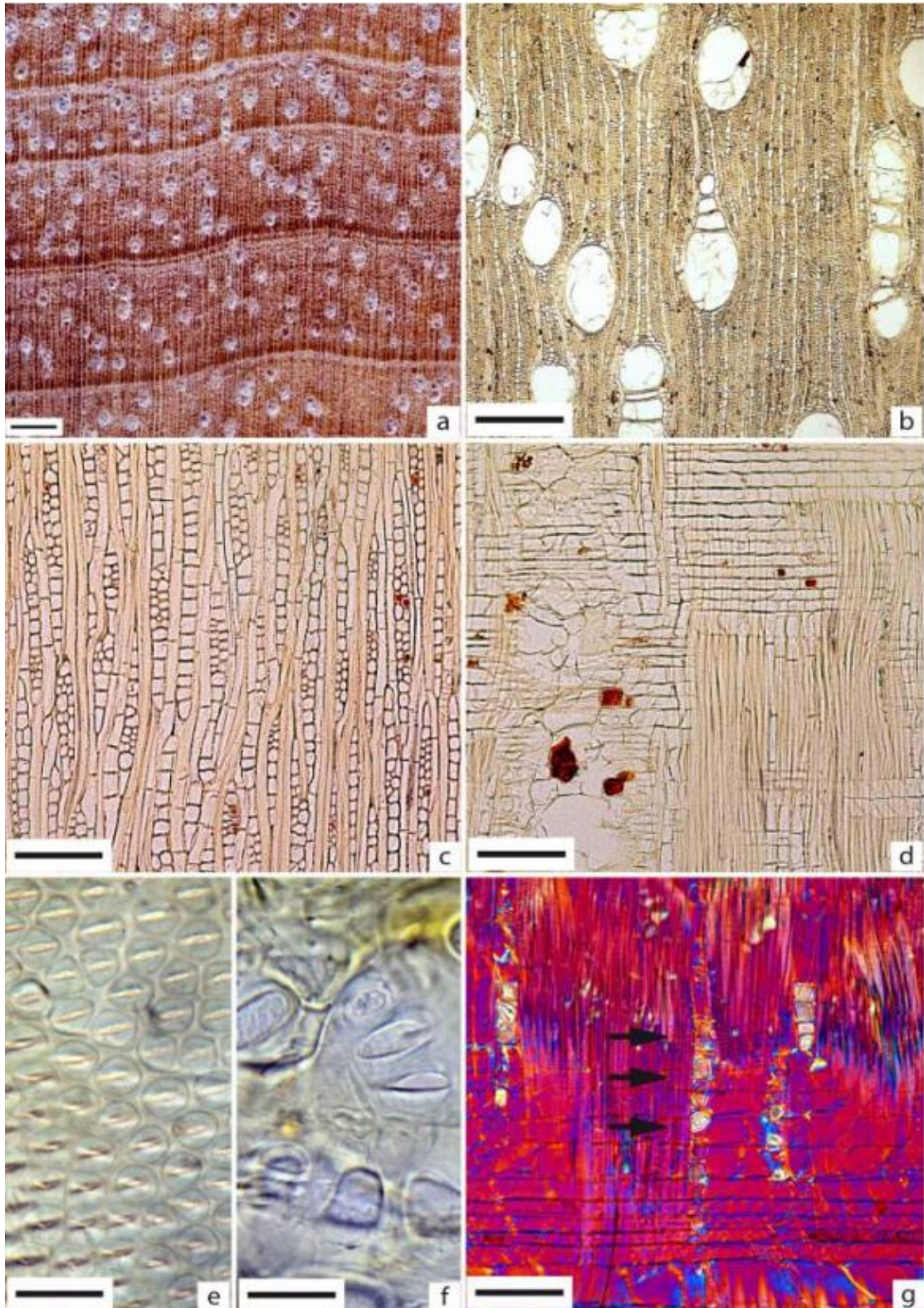
muito numerosos (10 a 18 por mm linear)], e conforme sua altura [médios (286 a 630 μm)], além de não serem estratificados.

Ademais, as suas fibras foram destacadas por serem libriformes, de paredes espessas, lume reduzido e por possuírem pontoações simples (caracterizadas apenas pela interrupção da parede secundária, ou seja, não areoladas). Por último, ainda foi destacada a ausência de canais intercelulares, além da presença de tilos e de cristais prismáticos em séries cristalíferas, este último (cristais) sendo encontrado no parênquima axial (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Para finalizar a sua descrição anatômica microscópica, com relação aos vasos, esses se apresentam solitários e em múltiplos de até 4, sendo sua distribuição difusa e tendendo a um arranjo oblíquo. Além disso, sua quantidade varia de muito pouco a poucos (3 a 7 por mm^2), enquanto a medida de seu diâmetro varia de média a grande (213 a 350 μm). Os vasos são também totalmente obstruídos por tilos, além de contarem com a presença de pontoações intervasculares médias, areoladas, alternas e não guarnecidas. Por último, os vasos ainda apresentam placa de perfuração simples e pontoações raiovasculares areoladas em pares e em arranjo irregular (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.10a) e micro (Figura 2.10b-g) da anatomia da espécie *Caryocar villosum* (Pequiá) estão ilustrados na Figura 2.10 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.10: Imagens macro e micro da espécie *Caryocar villosum* (Pequiá)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm); (g) plano radial destacando séries cristalíferas no parênquima axial (setas pretas) [20x=100mm].

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.8.2 Propriedades físico-mecânicas

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontrava a madeira da espécie de *Caryocar villosum* (Pequiá) que foi caracterizada a 12% de umidade, conforme apresentado na Tabela 2.70.

Tabela 2.70: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
630	4,3	8,5	99,83	11180	46,48
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
9,32	4864	5041	5,49	5,69	12,16

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Além de propriedades anatômicas, como já mencionadas, Marques (2008) realizou também a determinação de propriedades físicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras estudadas com o seu processo/comportamento de secagem. Os ensaios foram realizados conforme recomendações da norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1972), e os resultados dos valores médios encontrados nesses ensaios para a espécie de *Caryocar glabrum* (Piquiarana) podem ser conferidos na Tabela 2.71, além dessa mesma tabela trazer valores retirados do Banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro localizado em Brasília – DF.

Tabela 2.71: Propriedades físicas da madeira de *Caryocar glabrum* (Piquiarana)

Contração volumétrica total (%)		Massa específica básica (g/cm ³)	
Marques (2008)	Banco de dados do LPF	Marques (2008)	Banco de dados do LPF
13,64	11,85	0,611	0,78

LPF = laboratório de produtos florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília – DF.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Com o objetivo de analisar a equivalência entre rigidez/resistência de cinco espécies de folhosas na compressão paralela às fibras entre corpos de prova preconizados pela ABNT NBR 7190 (1997) e peças estruturais de tamanhos de uso na construção, Lanini (2018) encontrou através de ensaio via flexão estática e vibração transversal, e da análise de variância que os ensaios em corpos de provas estabelecidos pela norma citada podem prever com segurança essas propriedades mecânicas. Nesse mesmo estudo foram encontradas a resistência característica e a rigidez média a compressão paralela às fibras da madeira de

Caryocar Villosum iguais a 67 MPa (classe C60) e 18000 MPa, além da densidade aparente igual a 758 Kg/m³, que também foi ensaiada de acordo com a mesma norma.

Com o intuito de reunir informações sobre madeiras utilizadas na produção de embarcações na Amazônia, Braga Jr. *et al.* (2020) realizaram a caracterização anatômica microscópica de 8 espécies como já mencionado. Porém, nesse mesmo estudo foram determinadas algumas propriedades físicas das espécies estudadas, entre elas, a espécie *Caryocar villosum* (Pequiá). Então com base em ensaios descritos na norma ABNT NBR 11941 (2003) para a densidade básica, e na ABNT NBR 7190 (1997) para os ensaios de contração volumétrica e linear, foram encontrados os resultados médios e seus desvios padrões disponibilizados na Tabela 2.72.

Tabela 2.72: Propriedades físicas da madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá)

	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ϵ_v (%)	CA (adimensional)
\bar{X}	590	14,12	15,53	34,18	1,51
DP (%)	0,02	8,57	8,16	6,96	0,99

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; ϵ_v = retração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico; \bar{X} = valor médio; DP = desvio padrão.

Fonte: Adaptado de Braga Jr. *et al.*, (2020)

Com o objetivo de analisar se o modelo de distribuição normal para a determinação do valor de resistência a compressão paralela característica da madeira prescrita pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997) com um coeficiente de variação (δ) médio igual a 18% tem validade, Silva *et al.* (2020) realizaram ensaios de resistência a compressão paralela às fibras (f_{c0}) em 7 espécies de madeira do grupo das folhosas, dentre as quais a madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá) se encontrava. Através dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Kolmogorov - Smirnov foi encontrado que esse tipo de distribuição com tal valor de coeficiente de variação prevê com precisão os valores amostrais. Assim, os valores encontrados para a $f_{c0,m}$, $f_{c0,k}$ e δ de tal espécie foram iguais a 40,29 MPa, 31 MPa e 16,37%, respectivamente.

2.1.8.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Com relação à composição química da madeira de *Caryocar villosum*, conhecida popularmente como Pequiá, Santana e Okino (2007) determinaram a divisão de compostos presentes nessa espécie por meio dos procedimentos de hidrólise total, cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) e utilização de métodos colorimétricos. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 2.73.

Tabela 2.73: Composição química da madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá)

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
1,5	30,5	49,4	18,6	2,3	4,8

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Marques (2008) realizou a determinação de propriedades físicas e anatômicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras com o seu processo/comportamento de secagem. Através da realização da secagem dos corpos de prova em estufa, foram determinados os valores médios da taxa de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (g/h.cm^2) [$\text{TaS}_{s-12\%}$], taxa de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (g/h.cm^2) [$\text{TaS}_{s-30\%}$], taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade da amostra (g/h.cm^2) [$\text{TaS}_{30\%-12\%}$], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (h) [$\text{TS}_{s-12\%}$], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (h) [$\text{TS}_{s-30\%}$], e tempo de secagem da amostra de 30% até 12% de teor de umidade (h) [$\text{TS}_{30\%-12\%}$]. Todos esses dados determinados podem ser conferidos na Tabela 2.74.

Tabela 2.74: Características de secagem da madeira de *Caryocar glabrum* (Piquiarana)

TUI (%)	$\text{TaS}_{s-12\%}$ (g/h.cm^2)	$\text{TaS}_{s-30\%}$ (g/h.cm^2)	$\text{TaS}_{30\%-12\%}$ (g/h.cm^2)	$\text{TS}_{s-12\%}$ (h)	$\text{TS}_{s-30\%}$ (h)	$\text{TS}_{30\%-12\%}$ (h)
93,10	6,8838E-04	9,9327E-04	3,2114E-04	132,90	72,20	63,80

TUI = teor de umidade inicial; E = exponencial.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Já com o intuito de determinar o potencial energético da madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá) e de outras três espécies da Amazônia, Silva *et al.* (2014) estudaram entre outros fatores, a sua composição química. As preparações e os ensaios para a determinação da composição química seguiram as premissas das normas ABNT NBR 14660 (2004), ABNT NBR 7989 (2010), ABNT NBR 14853 (2010) e ABNT NBR 8112 (1983), e como resultado, a Tabela 2.75 traz os valores que são pertinentes para a pesquisa corrente.

Tabela 2.75: Composição química da madeira de *Caryocar villosum* (Pequiá)

Resultados somados		Outros compostos	
Lignina (%)	Holocelulose (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)
25,13	68,60	0,461	6,27

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2014)

2.1.9 PEROBA-ROSA (*ASPIDOSPERMA POLYNEURON*)

A seguir foram descritas as suas propriedades organolépticas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e

destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Peroba-rosa), que por uma questão prática será mencionada a frente no texto apenas como *Aspidosperma polyneuron* quando seu nome científico for mencionado.

2.1.9.1 Características gerais e anatômicas

A madeira de Peroba-rosa também conhecida como amargoso, peroba, peroba-açú, peroba-amarela, peroba-do-sul, peroba-mirim e peroba-rajada, e cientificamente conhecida como *Aspidosperma polyneuron* é pertencente à família Apocynaceae, e pode ser encontrada em algumas regiões/estados brasileiros, tais como: Mata Atlântica, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rondônia, Santa Catarina e São Paulo. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Argentina e Paraguai, sendo que essas regiões/estados brasileiros e os outros dois países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso, apesar da variação de clima da Argentina, dependente de cada uma de suas regiões (IPT, 2021g; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações pesadas e externas, como em dormentes ferroviários e cruzetas; pesadas e internas como em tesouras, vigas, caibros, ripas e como tábuas para assoalhos (IPT, 2021g; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já a respeito das suas características organolépticas (sensoriais), a madeira de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) possui alburno indistinto, cerne róseo quando recém cortado passando para amarelo-rosado com o tempo, uniforme ou com veios mais escuros. A madeira ainda é sem brilho, com cheiro imperceptível e gosto ligeiramente amargo, além de possuir densidade média, grã direita ou reversa, textura fina e de ser moderadamente dura ao corte (IPT, 2021g).

Porém para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), com relação às características sensoriais da espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa), ela pode ser descrita como uma madeira pesada que é macia ao corte e que apresenta uma coloração róseo amarelada no seu cerne. Ainda foi destacado que essa madeira apresenta textura fina, grã direita, odor imperceptível e gosto característico amargo, além de não apresentar brilho e de ser lisa ao tato.

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Peroba-rosa se caracteriza por ter a presença de parênquima axial invisível mesmo sob lente.

Seus raios são visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial, além de serem finos e de se apresentarem em pouca quantidade. Os seus vasos são visíveis também apenas sob lente, contando com um diâmetro pequeno, apesar de serem encontrados em grande quantidade. A sua porosidade foi considerada difusa, sendo encontrados predominantemente separados uns dos outros, além de serem vazios, apesar de às vezes ser constatada uma obstrução por óleo-resina. Por fim, as suas camadas de crescimento foram identificadas como individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras (IPT, 2021g).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas anatômicas, a madeira de Peroba-rosa se caracteriza por ter a presença de parênquima axial indistinto mesmo sob lente de 10x. Já seus raios são visíveis sob lente de 10x, pela qual se constata que são finos e numerosos, além de serem irregularmente espaçados e de não possuírem estratificação. Seus vasos são visíveis também sob lente de 10x, podendo ser encontrados isolados ou em múltiplos, com arranjo difuso, além de serem muito pequenos, muito abundantes, desobstruídos, e de possuírem placa de perfuração simples. Por último, as suas camadas de crescimento foram identificadas como sendo visíveis a olho nú, além de serem demarcadas por zonas fibrosas mais escuras.

Com o intuito de agrupar e identificar o potencial de uso de doze espécies de madeira do grupo das folhosas, Lobão *et al.* (2011) determinaram algumas de suas propriedades anatômicas (comprimento, largura e espessura de parede das fibras, diâmetro, frequência e área ocupada pelos vasos), físicas e químicas, sendo essas duas últimas descritas mais à frente nos tópicos inerentes. Com relação às propriedades anatômicas encontradas para a espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa), essas foram determinadas conforme a preparação e ensaio descritos em IAWA (1989b) e IBAMA (1992), e a Tabela 2.76 traz seus resultados divulgados.

Tabela 2.76: Propriedades anatômicas microscópicas da espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa)

Fibra (µm)				Vaso (µm; nº/mm²)	
Comprimento	Largura	Lúmen	Espessura da parede	Diâmetro	Frequência
1550	16,97	3,73	6,67	56,43	75,89

µm = micrometro; nº = número/quantidade; mm² = milímetro quadrado

Fonte: Adaptado de Lobão *et al.* (2011)

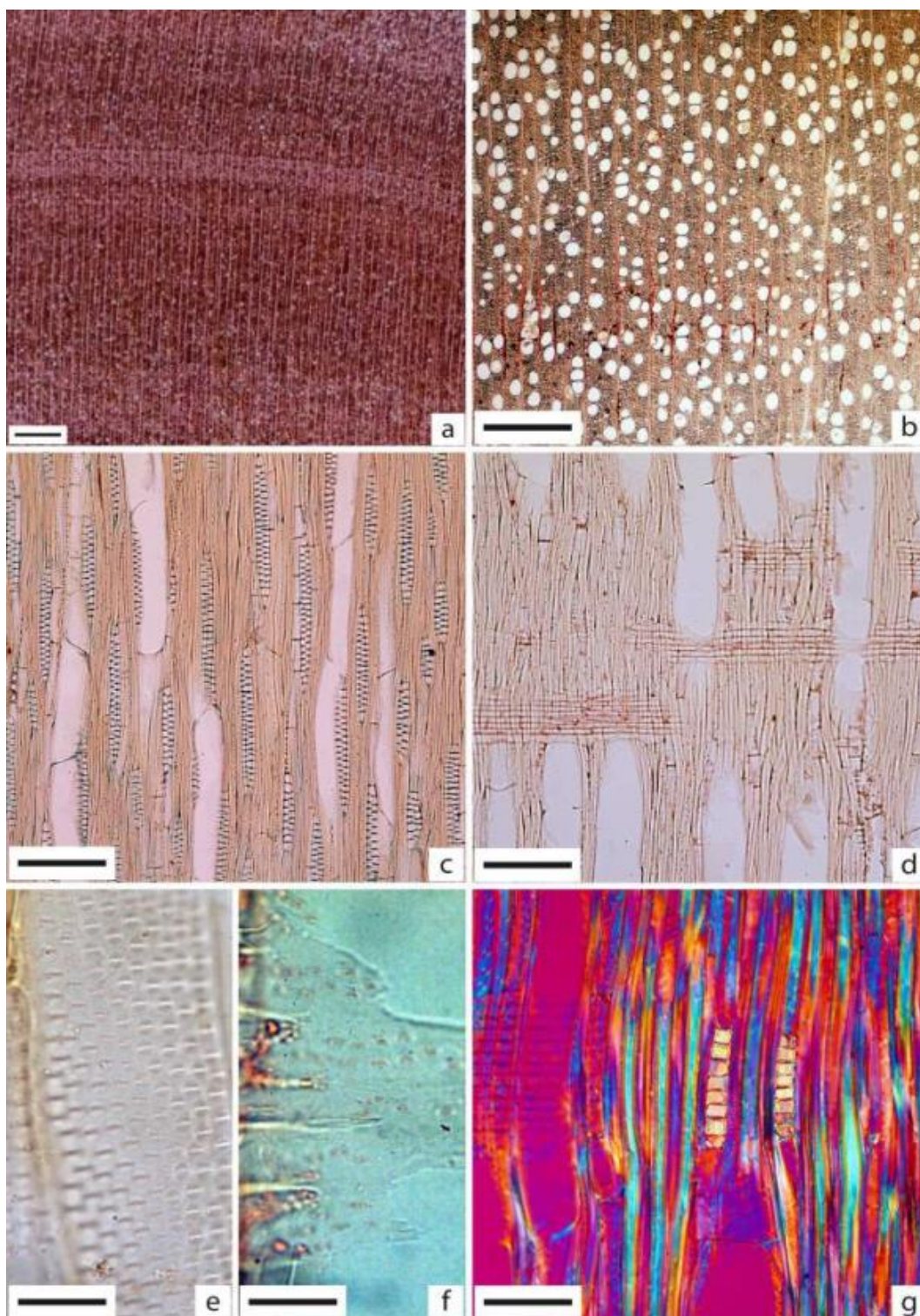
Levando em consideração as suas propriedades microscópicas, Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) encontraram que o parênquima axial é apotraqueal difuso, além de não ser estratificado. Já os seus raios foram identificados como homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes, além de serem bisseriados e trisseriados, encontrados em grande quantidade (7 a 11 células por mm linear) e de altura baixa a média

(102 a 168 μ m). Com relação às fibras da Peroba-rosa, essas foram identificadas como libriformes, de parede espessa, lúmen fino e com a presença de pontoações areoladas.

Ainda sobre a sua estrutura anatômica microscópica, seus vasos foram identificados como solitários em maioria, porém podem ser encontrados em múltiplos de até três, além de sua distribuição ser considerada difusa e de sua frequência ser classificada como abundante (37 até 58 por mm²). Com relação ao diâmetro dos vasos, esses foram considerados como muito pequenos (34 até 47 μ m), além de ser constatada a sua desobstrução. Os vasos ainda possuem pontoações intervasculares pequenas, além de serem alternas, não guarnecidas e de possuírem placa de perfuração simples. Da mesma maneira, pontoações raiovasculares semelhantes às intervasculares em formato e tamanho também foram identificadas. Por último, tratando-se de estruturas especiais, canais intercelulares não foram encontrados, além da ausência de tilos também constatada. Todavia, a presença de cristais prismáticos em séries cristalíferas nas fibras foi notada (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.11a) e micro (Figura 2.11b-g) da anatomia da espécie *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) estão ilustrados na Figura 2.11 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.11: Imagens macro e micro da espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm); (g) plano radial destacando séries cristalíferas nas fibras(20x=100mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.9.2 Propriedades físico-mecânicas

Analisando a retratibilidade de algumas espécies de madeira exóticas e tropicais, Durlo e Marchiori (1992) propuseram uma classificação para a madeira de acordo com o seu coeficiente de anisotropia (CA). As madeiras foram classificadas como sendo de excelente, normal e de baixa estabilidade dimensional para os intervalos de valores de 1,2 a 1,5; 1,6 a 1,9; e 2 para cima, respectivamente, dentre os quais a madeira de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba Rosa) foi classificada como de estabilidade dimensional normal.

Com o objetivo de realizar um estudo visando a utilização de fibra de vidro e de fibra de carbono em reforço de estruturas de madeira, Fiorelli e Dias (2002) caracterizaram não só a madeira reforçada, mas também a madeira sem reforço de duas espécies. No que diz respeito às propriedades encontradas para a espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba Rosa), seus resultados foram disponibilizados na Tabela 2.77.

Tabela 2.77: propriedades mecânicas da madeira de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba Rosa)

f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{c0} (MPa)	E_{t0} (MPa)
70,50	95,00	13104,50	17151,25

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Fiorelli e Dias (2002)

Com o intuito de agrupar e identificar o potencial de uso de doze espécies de madeira do grupo das folhosas, Lobão *et al.* (2011) determinaram algumas de suas propriedades anatômicas, físicas [densidade básica (Kg/cm^3) e retratibilidade volumétrica (%)] e químicas. Com relação às propriedades físicas encontradas para a espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa), essas foram determinadas conforme a preparação e ensaio descritos na norma ABNT NBR 7190 (1997), e os seus valores encontrados foram iguais a $620 \text{ Kg}/\text{cm}^3$ e 15,56 %, respectivamente.

Logsdon, Finger e Jesus (2014) estudaram a variação da resistência média e característica ao cisalhamento da madeira de *Aspidosmerma populifolium* A. DC. (Perobamica) de acordo com o ângulo (0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 70° , 80° e 90°) entre a direção de aplicação da força e da direção das fibras da madeira, levando em consideração valores amostrais que foram comparados com equações propostas por Hankinson; Karlsen *et al.* (1967); Szücs (1992); Keylwerth, sendo o primeiro e o último citados por Kollmann e Côté Jr. (1984). Os ensaios de cisalhamento foram executados de acordo com o prescrito na norma ABNT NBR 7190 (1997) e os resultados encontrados apontam que o modelo de Keylwerth foi o que forneceu melhor ajuste, sendo também o menos sensível a variações no valor do expoente dos termos trigonométricos (n). Por fim a pesquisa ainda afirmou que o modo de ruptura ao cisalhamento foi semelhante para todos os ângulos de aplicação de carga investigados.

Com o objetivo de relacionar o nome vulgar de algumas espécies às suas classes de resistência para maior facilidade de informações quando compradas diretamente no comércio, Jesus, Logsdon e Finger (2015) caracterizaram mecanicamente 26 espécies de madeira nativas do Mato Grosso conforme procedimentos prescritos na ABNT NBR 7190 (1997), além de apresentarem suas densidades a 12% de umidade padrão. Assim, todos os valores de resistência característica e de densidade aparente obtidos a partir dos valores médios encontrados nos ensaios para a espécie intitulada pelo trabalho de *Aspidosmerma populifolium* A. DC. (Peroba-mica) podem ser conferidos na Tabela 2.78. A pesquisa ainda classifica tal madeira como sendo da classe D60, com base em seu valor característico encontrado.

Tabela 2.78: Características físico-mecânicas da madeira de *Aspidosmerma populifolium* A. DC. (Peroba-mica)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{t0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)
726	64,98	61,34	10,35	14650	16263

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $f_{c0,k}$ = resistência característica à compressão paralela às fibras; $f_{t0,k}$ = resistência característica à tração paralela às fibras; $f_{v0,k}$ = resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras; $E_{c0,k}$ = módulo de elasticidade longitudinal característico na compressão paralela às fibras; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade longitudinal médio na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Jesus, Logsdon e Finger (2015)

Com o objetivo de analisar a equivalência entre rigidez/resistência de cinco espécies de folhosas na compressão paralela às fibras entre corpos de prova preconizados pela ABNT NBR 7190 (1997) e peças estruturais de tamanhos de uso na construção, Lanini (2018) encontrou através de ensaio via flexão estática e vibração transversal, e da análise de variância que os ensaios em corpos de provas estabelecidos pela norma citada podem prever com segurança essas propriedades mecânicas. Nesse mesmo estudo foram encontradas a resistência característica na compressão paralela às fibras da madeira de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) igual a 69 MPa (classe C60), o módulo de elasticidade na mesma direção variando de 13000 a 17000 MPa, e a densidade aparente igual a 751 Kg/m³, que também foi ensaiada de acordo com a mesma norma.

Carvalho (2019) teve como objetivo avaliar se a madeira de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) pode ser usada com função estrutural. Para tanto o trabalho avaliou a umidade, densidade, retração volumétrica, resistência à compressão paralela e normal às fibras de acordo com ensaios prescritos na norma ABNT NBR 7190 (1997). Os valores médios encontrados foram disponibilizados na Tabela 2.79, além da pesquisa também classificar a madeira como sendo da classe de resistência C40 após realizar a correção dos valores de resistência para a umidade padrão de 12%, conforme estipulado na norma acima citada.

Tabela 2.79: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Peroba-rosa

	$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	ρ_{bas} (kg/m ³)	U (%)	ΔV (%)	f_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)
\bar{X}	573	491	9,74	9,98	63,24	17,97
CV (%)	1,6	1,74	3,66	6,07	12,61	31,64

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; ρ_{bas} = densidade básica; U = teor de umidade da madeira; ΔV = variação volumétrica; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; \bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado da Carvalho (2019)

Já com relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira de Peroba-rosa, a Tabela 2.80 e Tabela 2.81 apresentam, respectivamente, os seus valores médios (IPT, 2021g).

Tabela 2.80: Propriedades físicas da madeira de Peroba-rosa

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,15\%}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
660	790	-	4	7,8	13,1

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; - = valor não tabelado; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021g)

Tabela 2.81: Propriedades mecânicas da madeira de Peroba-rosa

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	ρ_v	$\rho_{ap,15\%}$
f_M (MPa)	88,2	103,8
E_M (MPa)	9248	-
f_{c0} (MPa)	41,6	54,4
E_{c0} (MPa)	11739	-
f_{t90} (MPa)	8,1	-
f_{s0} (MPa)	0,9	-
f_{v0} (MPa)	11,9	-
f_{H0} (N)	6776	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	23,3

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_v = densidade acima do ponto de saturação das fibras; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021g)

2.1.9.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Andrade (2000) teve o objetivo de propor programas de secagem para madeiras de diferentes espécies florestais, bem como o de propor um agrupamento entre elas visando a sua secagem convencional. A metodologia empregada para a elaboração dos programas foi

a de secagem drástica a 100°C, e os resultados encontrados com relação à secagem da espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) indicam a ausência de arqueamento, encurvamento e encanoamento após o processo de secagem realizado.

Com o intuito de agrupar e identificar o potencial de uso de doze espécies de madeira do grupo das folhosas, Lobão *et al.* (2011) determinaram algumas de suas propriedades anatômicas, físicas e químicas (Extrativos totais, lignina total e holocelulose). Com relação às propriedades químicas encontradas para a espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa), essas foram determinadas conforme a preparação e ensaio descritos na norma TAPPI-T 204 om-88 (1996) para os extrativos totais, norma TAPPI-T 222 om-88 (1996) para a porcentagem de lignina, e a diferença de massa do lenho antes e após a extração da lignina e extrativos sendo igual a porcentagem de holocelulose. Os resultados obtidos podem ser conferidos na Tabela 2.82.

Tabela 2.82: propriedades químicas da espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa)

Extrativos totais (%)	Lignina total (%)	Holocelulose (%)
5,59	27,4	67,02

Fonte: Adaptado de Lobão *et al.* (2011)

O trabalho ainda destaca que segundo análise estatística multivariada com base nas características químicas, anatômicas e físicas da madeira, a componente 1 composta pelo teor de holocelulose, espessura da parede da fibra e a densidade básica podem explicar 54,4% da variância total de uma espécie para a outra. Já a componente 2 formada pelo teor de extrativos totais, diâmetro dos vasos e retratibilidade volumétrica, foi responsável por explicar 63,6% da variação total encontrada entre as espécies, facilitando assim na identificação, diferenciação e agrupamento entre espécies.

2.1.10 ROXINHO (*PELTOGYNE SPP.*)

A seguir foram descritas as suas propriedades organolépticas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie onde optou-se por disponibilizar também os dados colorimétricos devido à correlação encontrada com propriedades mecânicas e físicas em Almeida (2017), e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Peltogyne* spp. (Roxinho), esse último subitem ainda contou com resultado de porosidade para tal espécie encontrado por Duarte (2017) dado que foi usado em conjunto de outras propriedades.

2.1.10.1 Características gerais e anatômicas

Segundo o IPT (2021h), as espécies do gênero *Peltogyne* podem ser tratadas de forma conjunta por possuírem características semelhantes, o que por sua vez as levam a possuírem o mesmo valor no mercado/comércio tanto quanto o mesmo nome popular de referência (Roxinho). Logo, as espécies desse gênero são tratadas em conjunto neste texto, apesar de seu nome científico ser mencionado de acordo com a espécie utilizada por cada autor citado.

Então com relação às suas informações gerais, a madeira de Roxinho também conhecida como amarante, coataquiçaua, pau-roxo, pau-roxo-da-terra-firme, pau-roxo-da-várzea, roxinho-pororoca, violeta, e cientificamente conhecida como *Peltogyne* spp. é pertencente à família Leguminosae, e pode ser encontrada em quase todas as matas nativas do país, como na Amazônia, Mata Atlântica, Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará e Rondônia. Ainda há também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa e Suriname, sendo que essas regiões/estados brasileiros e os outros dois países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso, apesar da variação de clima da Argentina ser dependente de cada uma de suas regiões (IPT, 2021h; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações pesadas e externas, como em dormentes ferroviários, estacas e cruzetas; pesadas e internas como em tesouras, vigas e caibros; leve em esquadrias; leve interna decorativa; assoalhos e na construção naval. (IPT, 2021g; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já a respeito das suas características organolépticas (sensoriais), a madeira de *Peltogyne* spp. (Roxinho) possui o cerne e o albúrnio distintos pela cor, com o cerne roxo podendo escurecer com o tempo, e com o albúrnio assumindo a cor bege claro. A madeira ainda possui brilho moderado a acentuado, com cheiro e gosto imperceptíveis, além de possuir densidade alta, grã direita a irregular, textura fina a média, e de ser dura ao corte (IPT, 2021h). Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) a madeira de *Peltogyne catinae* apresenta cerne da cor roxa, bem distinto do albúrnio que se caracteriza por ser branco amarelado. O trabalho ainda descreve a madeira como sendo sem brilho, com cheiro e gosto imperceptíveis, moderadamente áspera ao tato, além de possuir textura média, grã ondulada, e de ser muita pesada e dura ao corte.

Com relação à cor da espécie de *Peltogyne confertiflora* (Mart. Ex Hayne) Benth. (Roxinho), Ribeiro *et al.* (2019) realizou ensaios colorimétricos dentre outros ensaios (físicos e mecânicos). A metodologia utilizada seguiu a proposta por Gonzalez (1993) com base no sistema CIElab (1976), que definiu os parâmetros colorimétricos L* (claridade), coordenadas a* (tonalidade nos eixos vermelho/verde) e b* (tonalidade nos eixos amarelo/azul), C

(saturação) e h^* (ângulo de tinta). Para a especificação da cor da espécie utilizou-se a tabela de cores descrita por Camargos e Gonzalez (2001). Já com relação aos resultados, esses foram demonstrados Tabela 2.83.

Tabela 2.83: Propriedades colorimétricas da madeira de *Peltogyne confertiflora* (Roxinho)

	L*	a*	b*	C	h*	Cor
\bar{X}	49,19	11,87	5,68	13,23	25,66	Roxo
CV (%)	4,11	8,45	21,81	5,80	23,32	

(*) = Cor natural da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2019)

A pesquisa ainda pontua que para o valor de luminosidade apresentado e com base em Camargos e Gonzalez (2001) a madeira de roxinho foi classificada como de cor escura (RIBEIRO *et al.*, 2019).

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Roxinho se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível a olho nu, eventualmente visível apenas sob lente, sendo paratraqueal aliforme de extensão linear, confluyente, podendo unir alguns vasos e formar faixas tangenciais curtas, além de apresentar parênquima marginal associado. Na sequência, seus raios são visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial, além de serem finos e de variar em sua quantidade desde muito poucos até poucos (IPT, 2021h).

Já seus vasos são visíveis a olho nu e eventualmente visíveis apenas sob lente, são também de pequenos a médios em sua altura, sendo de poucos a numerosos em sua quantidade, além disso, possuem porosidade difusa, se apresentando solitários, geminados e raramente sendo múltiplos de três. Por último, os vasos são encontrados vazios ou obstruídos por óleo-resina, além de em algumas espécies de Roxinho serem preenchidos com substância branca. Por fim, as camadas de crescimento da espécie de Roxinho foram descritas como distintas, além de serem individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e por parênquima marginal (IPT, 2021h).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas anatômicas, a madeira de *Peltogyne catingae* (Roxinho) se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível sob lente de 10 vezes, no formato paratraqueal aliforme unilateral confluyente, ligando dois ou mais vasos e ainda presente em finas linhas marginais. Da mesma maneira, os raios são visíveis sob lente de 10 vezes, sendo finos e numerosos, regularmente espaçados e com estratificação ausente. Os vasos são também visíveis sob lente de 10 vezes, se apresentando solitários e em múltiplos, com distribuição difusa, sendo ainda pequenos, pouco abundantes e parcialmente obstruídos por óleo-resina, além de possuírem placa de perfuração simples. De mesma maneira, as camadas

de crescimento são distintas sob lente de 10 vezes, sendo elas demarcadas por zona fibrosa (região sem parênquima axial) mais escura e por finas linhas de parênquima marginal.

Com relação às propriedades microscópicas, Marques (2008) determinou características dos poros e fibras de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas, dentre as quais se encontrava a espécie de *Peltogyne cf. subsessilis* (Roxinho), com o objetivo de relacionar tais propriedades com o seu processo/comportamento de secagem. Com relação aos valores médios encontrados de tais características anatômicas da espécie de Roxinho, esses foram disponibilizados na Tabela 2.84, além disso, o trabalho ainda destaca que tal espécie tem seus poros preenchidos por substâncias incrustantes, como óleo-resina e goma.

Tabela 2.84: Propriedades anatômicas da madeira de *Peltogyne cf. subsessilis* (Roxinho)

DTP (µm)	FP (nº poros/mm ²)	FPO/FP (µm)	DTMF (µm)	LLF (µm)	EPF (µm)
126	10,2	0,49	15,3395	6,0506	4,6444

DTP = diâmetro tangencial dos poros; FP = frequência dos poros; FPO = frequência dos poros obstruídos; DTMF = diâmetro total máximo das fibras; LLF = largura do lúmen das fibras; EPF = espessura da parede das fibras.

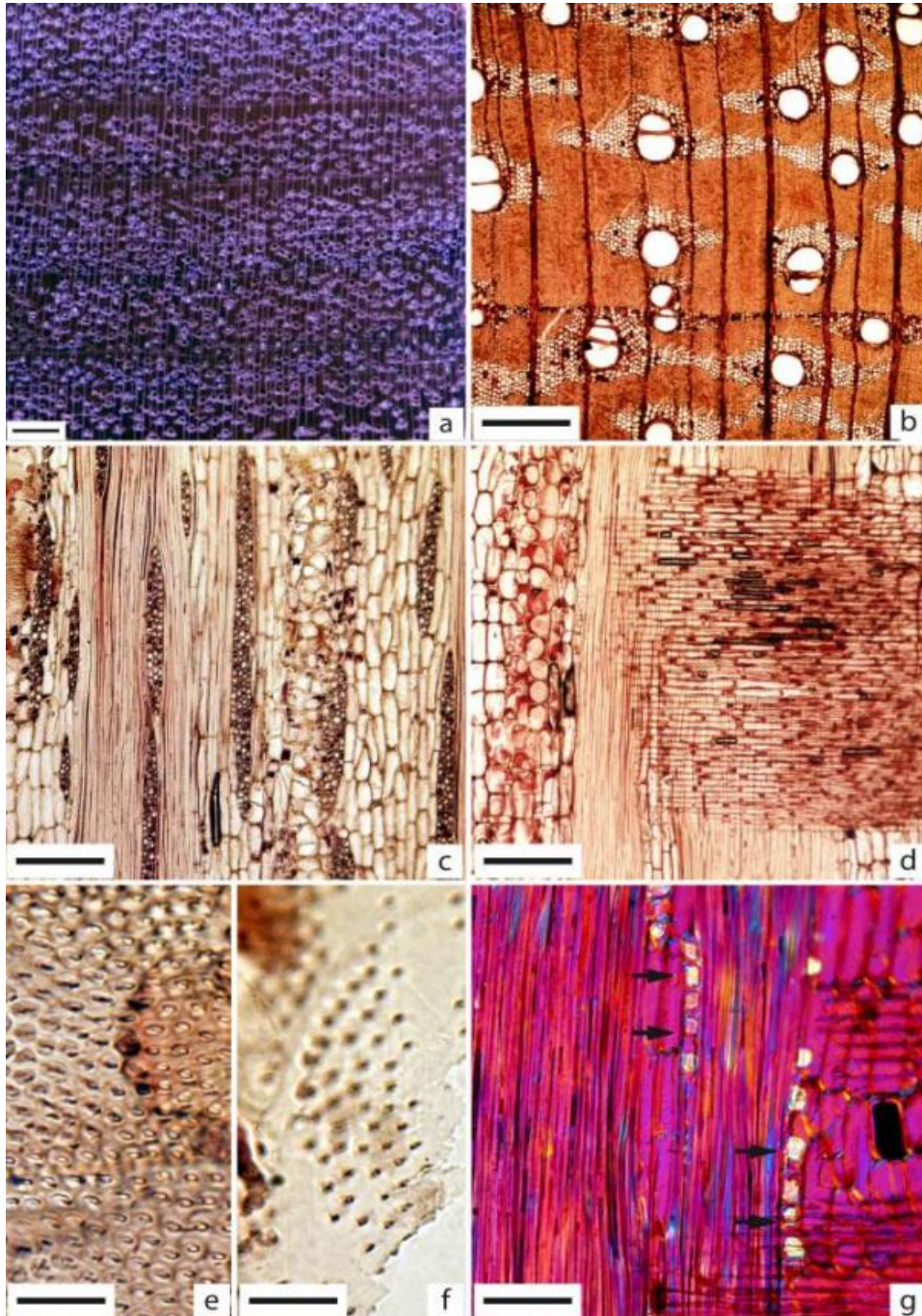
Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Com relação ainda às propriedades microscópicas da espécie de *Peltogyne catinae* (Roxinho), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) encontraram que o parênquima axial assume a disposição paratraqueal (ligado aos vasos) aliforme (formato de asa) unilateral (se concentra em um dos lados do vaso) confluyente e ainda se apresenta em finas linhas marginais (faixas perpendiculares aos raios, com espaçamento grande e regular, demarcando as camadas de crescimento), além de não ser estratificado. Já os raios são homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes, além de serem exclusivamente multisseriados (mais de uma fileira de célula na sua largura), também pouco abundantes (4 a 7 por mm linear), de pequenos a altos em sua altura (98 a 489 µm), não estratificados, e por fim ainda apresentaram abundância de óleo-resina (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Dando continuidade, seus vasos se apresentam predominantemente solitários e as vezes em múltiplos de até três, com distribuição difusa, sendo pouco abundantes (4 a 7 por mm²), pequenos em seu diâmetro (117 a 254 µm), parcialmente obstruídos por óleo-resina e contando ainda com a presença de pontoações intervasculares pequenas, areoladas, alternas e guarneçadas. Os seus vasos ainda apresentam placa de perfuração simples, pontoações raiovasculares diminutas, alternas e guarneçadas. Já as suas fibras são libriiformes, de parede espessa, com lúmen delgado e com pontoações simples. Por último, com relação às suas estruturas especiais, esta espécie não possui canais intercelulares nem tilos, porém apresenta a deposição de cristais prismáticos que são abundantes em séries cristalíferas nas células do parênquima axial e nas fibras (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.12a) e micro (Figura 2.12b-g) da anatomia da espécie *Peltogyne catिंगae* (Roxinho) estão ilustrados na Figura 2.12 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.12: Imagens macro e micro da espécie de *Peltogyne catिंगae* (Roxinho)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm); (g) plano radial destacando séries cristalíferas no parênquima axial (setas pretas) [20x=100mm].

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.10.2 Propriedades físico-mecânicas

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontrava a madeira da espécie de *Peltogyne paniculata* Benth. (Roxinho). Os seus valores encontrados e já corrigidos para um teor de umidade igual a 12% foram disponibilizados na Tabela 2.85.

Tabela 2.85: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Peltogyne paniculata* Benth. (Roxinho)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
810	5,1	8,1	187,11	17750	90,52
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
19,91	16181	15063	2,84	4,81	18,14

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Além de propriedades anatômicas, como já mencionadas, Marques (2008) realizou também a determinação de propriedades físicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras estudadas com o seu processo/comportamento de secagem. Os ensaios foram realizados conforme recomendações da norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1972), e os resultados dos valores médios encontrados nesses ensaios para a espécie de *Peltogyne cf. subsessilis* (Roxinho) podem ser conferidos na Tabela 2.86, além dessa mesma tabela trazer valores retirados do Banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro localizado em Brasília – DF.

Tabela 2.86: Propriedades físicas da madeira de *Peltogyne cf. subsessilis* (Roxinho)

Contração volumétrica total (%)		Massa específica básica (Kg/m ³)	
Marques (2008)	Banco de dados do LPF	Marques (2008)	Banco de dados do LPF
12,94	13,36	783	790

LPF = laboratório de produtos florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília – DF.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Almeida (2017) estimou propriedades de resistência e rigidez através da técnica de Colorimetria para as espécies de *Simarouba amara* Aubl. (Caixeta), *Anacardium giganteum* W. Hancock (Cajueiro), *Erismia uncinatum* Warm (Cambará-rosa), *Bagassa guianenses* Aubl. (Tatajuba) e *Peltogyne sp.* (Roxinho) a um teor de 12% de umidade. Através dos ensaios mecânicos e de Colorimetria, os valores médios das propriedades mecânicas e dos

parâmetros colorimétricos para a espécie de Roxinho foram encontrados e dispostos na Tabela 2.87.

Tabela 2.87: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da *Peltogyne* sp. (Roxinho)

Propriedades	V. Médio	CV	Intervalo de Confiança	
			L. Inferior	L. Superior
f_{c0} (MPa)	86	10,78	75,75	84,33
f_M (MPa)	144	11,76	135,58	152,42
E_M (MPa)	17156	7,80	16489	17824
f_{H90} (N)	9219	8,44	8831	9606
$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	970	2,46	960	980
L	55,32	2,16	54,73	0,55
a	12,98	6,99	12,53	13,44
b	5,72	10,93	5,41	6,03

L. = limite; V. = valor; CV = coeficiente de variação; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; L = luminosidade; a = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b = tonalidade nos eixos amarelo/azul.

Fonte: Adaptado de Almeida (2017)

Logo, de acordo com os valores encontrados na sua caracterização mecânica assume-se que a madeira de Roxinho seja classificada como sendo de classe D60, visto que apresentou um $f_{c0,k}$ igual a 60 Mpa, calculado de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997). Com relação às regressões, a correlação para estimativa de f_{c0} (Equação 46 encontrada no trabalho) apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 54,26\%$) para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de Roxinho por meio dos valores determinados para os parâmetros colorimétricos. Por fim, os modelos de regressão apresentados para a madeira de Roxinho mostram que maiores valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* tendem a diminuir os valores estimados para E_M , f_M e f_{H90} e aumentar os valores estimados de f_{c0} (ALMEIDA, 2017).

Com o intuito de se obter um processo menos dispendioso tanto no sentido financeiro quanto com relação ao tempo e esforço demandado para a obtenção de propriedades físico-mecânicas da madeira, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar tais propriedades com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de tal material de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Peltogyne recifenses* (Roxinho) se encontrava. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas através de ensaios conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997) e estão disponibilizadas na Tabela 2.88.

Tabela 2.88: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Peltogyne recifenses* (Roxinho)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
\bar{X}	940	3,62	6,07	151	20396	72
CV (%)	3,19	7,73	10,54	11,74	10,43	8,40
	E_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)
\bar{X}	21913	19	975	114	22586	4,3
CV (%)	21,31	15,79	21,33	35,47	8,67	30,70
	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	W (daN.m)	
\bar{X}	20	1,09	140	115	1,04	
CV (%)	14,89	18,35	5,35	5,56	25,70	

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Com relação às propriedades físico-mecânicas da espécie de *Peltogyne confertiflora* (Mart. Ex Hayne) Benth. (Roxinho), Ribeiro *et al.* (2019) realizou ensaios para a determinação da densidade básica, retratibilidade (faces longitudinais, radiais e longitudinais) e flexão estática (MOR e MOE) de acordo com as normas COPANT 461 (1972), COPANT 462 (1972) e COPANT 555 (1972), respectivamente. Ainda foram realizados também ensaios de ultrassom e Stress Wave para a determinação do seu módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu; MOEds, respectivamente). Já com relação aos resultados encontrados, os valores médios das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Roxinho podem ser conferidos na Tabela 2.89 e Tabela 2.90, respectivamente.

Tabela 2.89: Propriedades físicas da madeira de *Peltogyne confertiflora* (Roxinho)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)	CA (adimensional)
\bar{X}	830	720	6,36	7,33	13,33	1,12
CV (%)	0,02	2,12	10,67	10,71	14,52	7,16

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = retratibilidade radial; $\epsilon_{r,3}$ = retratibilidade tangencial; ΔV = retratibilidade volumétrica; CA = coeficiente de anisotropia.

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2019)

Tabela 2.90: Propriedades mecânicas da madeira de *Peltogyne confertiflora* (Roxinho)

MOEds		MOEdu		MOE		MOR	
\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)	\bar{X} (MPa)	CV (%)
21215	7,76	29617	5,71	29301	20,12	151,48	6,04

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2019)

A pesquisa ainda destaca como o coeficiente de variação obtido para a densidade básica foi baixo, demonstrando assim a precisão dos ensaios. De acordo com classificação de Mello *et al.* (1990), o trabalho ainda aponta que a madeira de roxinho pode ser considerada como uma madeira pesada. Já com relação à densidade aparente, a pesquisa destaca que o valor encontrado foi menor do que o encontrado em Alves (2012), que encontrou um valor de 930 Kg/m³ para a mesma espécie, enquanto que para a densidade básica, Nascimento *et al.* (1997) encontrou o valor de 910 Kg/m³ para a espécie de *Peltogyne paradoxo* Ducke, e Reis (2017) e Rodrigues *et al.* (2014) de 810 Kg/m³ para a espécie de *Peltogyne paniculata* Benth, sendo que Coelho (2014) encontrou o mesmo valor para a espécie de *Peltogyne* sp., mas Azevedo e Nascimento (1999) encontraram igual a 1008 Kg/m³ também para a mesma espécie de *Peltogyne* sp.

Já com relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Peltogyne confertiflora* (Hayne) Benth. (Roxinho), a Tabela 2.91 e Tabela 2.92 apresentam, respectivamente, os seus valores médios (IPT, 2021h).

Tabela 2.91: Propriedades físicas da madeira de Roxinho

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,15\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
740	890	3,5	6,5	10,7

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021h)

Tabela 2.92: Propriedades mecânicas da madeira de Roxinho

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	ρ_v	$\rho_{ap,15\%}$
f_M (MPa)	144,8	184,5
E_M (MPa)	17721	-
f_{c0} (MPa)	64	84,1
E_{c0} (MPa)	20565	-
f_{t90} (MPa)	8,3	-
f_{s0} (MPa)	1,1	-
f_{v0} (MPa)	14,9	-
f_{H0} (N)	9728	-
f_{bw} (KJ/m ²)	-	68,2

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,15\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto na flexão; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de IPT (2021h)

2.1.10.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Marques (2008) realizou a determinação de propriedades físicas e anatômicas de 41 espécies de madeira do grupo das folhosas com o objetivo de relacionar tais propriedades das madeiras com o seu processo/comportamento de secagem. Através da realização da secagem dos corpos de prova em estufa, foram determinados os valores médios da taxa de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (g/h.cm²) [TaS_{s-12%}], taxa de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (g/h.cm²) [TaS_{s-30%}], taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade da amostra (g/h.cm²) [TaS_{30%-12%}], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 12% de teor de umidade (h) [TS_{s-12%}], tempo de secagem do estado saturado da amostra até 30% de teor de umidade (h) [TS_{s-30%}], e tempo de secagem da amostra de 30% até 12% de teor de umidade (h) [TS_{30%-12%}]. Todos esses dados determinados podem ser conferidos na Tabela 2.93.

Tabela 2.93: Características de secagem da madeira de *Peltogyne cf. subsessilis* (Roxinho)

TUI (%)	TaS _{s-12%} (g/h.cm ²)	TaS _{s-30%} (g/h.cm ²)	TaS _{30%-12%} (g/h.cm ²)	TS _{s-12%} (h)	TS _{s-30%} (h)	TS _{30%-12%} (h)
213,4	9,3211E-04	1,0212E-03	5,1975E-04	138,4	115,2	23,2

TUI = teor de umidade inicial; E = exponencial.

Fonte: Adaptado de Marques (2008)

Como já dito no subitem anterior, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar propriedades físico-mecânicas com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das

quais a madeira de *Peltogyne recifenses* (roxinho) se encontrava. Os componentes químicos e a porosidade foram determinadas pelo método Klason adaptado a partir da norma TAPPI T-222 om-02, e pelo método de intrusão de mercúrio, respectivamente. Assim, os valores dos componentes químicos encontrados nos ensaios foram disponibilizados na Tabela 2.94. Além disso, através de modelos de regressão multivariadas foram encontradas equações significativas com altos valores de R² para as propriedades físico-mecânicas estimadas através da porosidade, densidade aparente e de sua composição química. Ademais, o valor da porosidade para a madeira de Roxinho foi encontrado igual a 29,62 % (DUARTE, 2017).

Tabela 2.94: Composição química da madeira de *Peltogyne recifenses* (Roxinho)

	Resultados somados				Outros compostos	
	Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
	Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
\bar{X}	1,17	32,96	44,13	17,15	0,55	8,95
CV (%)	6,46	0,26	4,43	0,05	5,14	3,09

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

2.1.11 TATAJUBA (*BAGASSA GUIANENSIS* AUBL.)

A seguir foram descritas as suas propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie onde optou-se por disponibilizar também os dados colorimétricos devido à correlação encontrada com propriedades mecânicas e físicas em Almeida (2017).

Por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Bagassa guianensis* Aubl. (Tatajuba), esse último subitem ainda contou com resultado de porosidade para tal espécie encontrado por Duarte (2017), que foi utilizado em conjunto dos resultados de outras propriedades. Cabe ressaltar também que por uma questão de praticidade e fluidez do texto/leitura, todas as vezes que o nome científico de tal espécie foi citado, ele foi escrito apenas como: *Bagassa guianensis*.

2.1.11.1 Características gerais e anatômicas

Com relação às suas informações gerais, a madeira de Tatajuba também conhecida como amaparirana, amarelão, amarelo, bagaceira, cachaceiro, garrote, e cientificamente conhecida como *Bagassa guianensis* é pertencente à família Moraceae, e pode ser encontrada em alguns estados/regiões do Brasil, como na Amazônia, Acre, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Ainda há também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Guiana, Guiana Francesa e Suriname, sendo que essas

regiões/estados brasileiros e os outros três países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso (IPT, 2021i; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações pesadas e externas, como em dormentes ferroviários, estacas, cruzetas e em defensas; pesadas e internas como em tesouras, vigas e caibros; leve em esquadrias; leve interna decorativa, e em assoalhos (IPT, 2021i; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já a respeito das suas características organolépticas (sensoriais), a madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba) possui o cerne e o alburno distintos pela cor, com o cerne amarelo-dourado/escurecendo para castanho-amarelado. A madeira ainda possui brilho moderado, com cheiro e gosto imperceptíveis, além de possuir densidade média, grã revessa, textura média, e de ser moderadamente dura ao corte (IPT, 2021i). Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) a madeira de *Bagassa guianensis* apresenta cerne da cor castanho amarelado ou amarelo queimado. O trabalho ainda descreve a madeira como sendo de brilho moderado, com cheiro e gosto imperceptíveis, moderadamente áspera ao tato, além de possuir textura média, grã direita, e de ser pesada e dura ao corte.

Com relação à sua cor, Silva *et al.* (2007) avaliaram o processo de fotodecomposição de cinco espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais se encontrava a madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba). Seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976, as propriedades encontradas foram disponibilizadas na Tabela 2.95.

Tabela 2.95: Propriedades colorimétricas da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

L*	a*	b*	Cor
47,09	6,76	21,27	Marrom-dourado

L* = luminosidade; a* = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b* = tonalidade nos eixos amarelo/azul.

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2007)

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de Tatajuba se caracteriza por ter a presença de parênquima axial invisível mesmo sob lente. Na sequência, seus raios são visíveis a olho nu no topo, enquanto que na face tangencial passa a ser visível apenas sob lente. Já seus vasos são visíveis a olho nu, de médios a grandes, porém encontrados de pouca até muito pouca quantidade, apresentando porosidade difusa, se apresentando predominantemente solitários e ainda em múltiplos de 2 a 4, além de serem obstruídos por tilos. Por fim, as camadas de crescimento são ligeiramente distintas e individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras (IPT, 2021i).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas anatômicas, a madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba) se

caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível sob lente de 10 vezes, paratraqueal vasicêntrico escasso (não circulando inteiramente o vaso). Já seus raios são visíveis a olho nú, sendo largos, numerosos e irregularmente espaçados além de não apresentarem estratificação. Da mesma maneira, seus vasos são também visíveis a olho nú, se apresentando solitários e em múltiplos, tendo porosidade difusa (vasos dispersos de forma aproximadamente uniforme pelo lenho, em seção transversal, independentemente do limite dos anéis de crescimento), com tendência a um arranjo oblíquo (dispostos de forma intermediária entre a posição radial e tangencial), grandes (diâmetro), com pouquíssima abundância, além de serem totalmente obstruídos por tilos e de possuírem placa de perfuração simples. Por último, as suas camadas de crescimento são também visíveis a olho nú, além de serem demarcadas pelo achatamento das fibras.

Com o intuito de reunir informações sobre madeiras utilizadas na produção de embarcações na Amazônia, Braga Jr. *et al.*, (2020) realizaram a caracterização anatômica microscópica de 8 espécies com base nos protocolos da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). Com relação aos resultados quantitativos da espécie *Bagassa guianensis* (Tatajuba), foi identificada a distinção dos anéis de crescimento, a presença de placa de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas, raiovasculares com aréolas reduzidas e arranjo irregular, além da presença de parênquima vasicêntrico escasso.

Já os raios foram descritos como composto por células de corpo procumbente com na maioria das vezes contendo de duas a quatro fileiras de células marginais eretas e/ou quadradas, além de também ter sido constatada a não estratificação das células de tal espécie. Por fim, foi identificada a deposição de tilos nos poros da madeira, além da inclusão de cristais prismáticos no seu parênquima axial. Por outro lado, com relação às informações qualitativas acerca das propriedades anatômicas microscópicas, a Tabela 2.96 traz os seus valores encontrados (BRAGA Jr. *et al.*, 2020).

Tabela 2.96: Dados qualitativos sobre a anatomia microscópica da espécie de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

	VEL (μm)	TDV (μm)	VF (por mm^2)	RF (por mm)	RW (μm)
\bar{X}	493,48	219,69	3,67	4,47	43,61
DP (%)	162,26	42,90	1,65	0,57	6,74
	RH (μm)	FL (μm)	FD (μm)	FLD (μm)	FWT (μm)
\bar{X}	481,58	1226,96	17,49	9,17	4,16
DP (%)	82,39	165,59	4,76	4,34	0,78

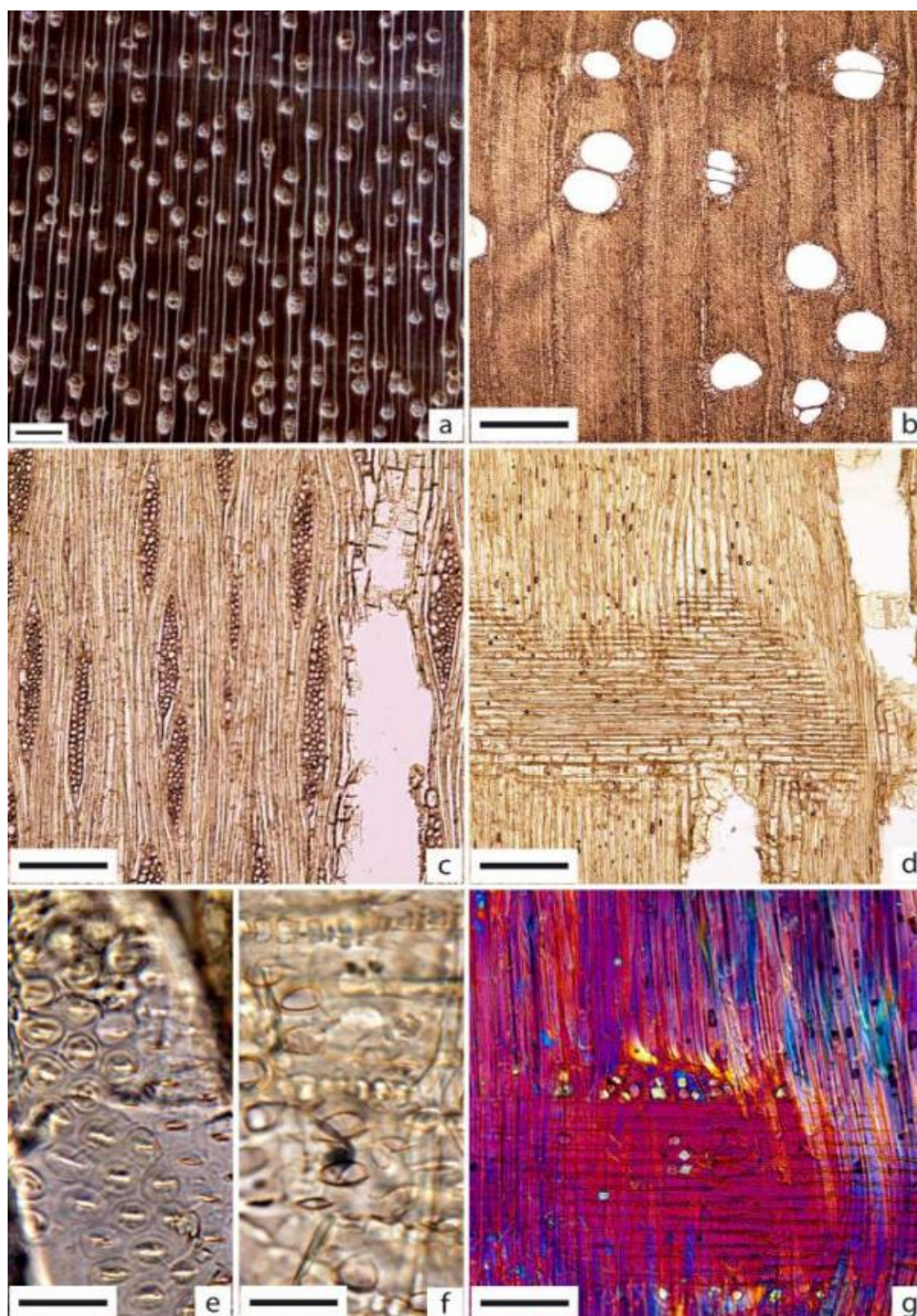
VEL = comprimento do elemento de vaso; TDV = diâmetro tangencial do lúmen do vaso; VF = frequência de vasos; RF = frequência de raios; RW = largura do raio; RH = altura do raio; FL = comprimento da fibra; FD = diâmetro da fibra; FLD = diâmetro do lúmen da fibra; FWT = espessura da parede da fibra; DP = desvio padrão.
Fonte: Adaptado de Braga Jr. *et al.*, (2020)

Com relação ainda às propriedades microscópicas da espécie de *Bagassa guianensis* (Tatajuba), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) encontraram que o parênquima axial é disposto (com relação aos vasos) e organizado em formato paratraqueal vasicêntrico escasso, com estratificação ausente. Já os raios foram classificados como heterocelulares, formados por uma fileira de células quadradas e o corpo procumbente, sendo raramente unisseriados, e por consequência, predominantemente bisseriados e trisseriados. Os raios ainda foram encontrados em grande número (6 a 13 por mm linear), porém em sua altura foram classificados de baixos a médios (187 a 382 μm), além de não apresentarem estratificação.

Já seus vasos são predominantemente solitários, podendo também serem encontrados em múltiplos de até três. Apresentam ainda distribuição difusa (poros dispersos pelo lenho independentemente dos anéis de crescimento), tendendo a um arranjo oblíquo, além de serem pouquíssimo abundantes (2 a 4 por mm^2), grandes em seu diâmetro (234 a 412 μm) e totalmente obstruídos por tilos. Por fim, os vasos possuem pontoações intervasculares médias, alternas e não guarnecidas, além de apresentarem placa de perfuração simples e pontoações raiovasculares médias e com bordas reduzidas (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

A respeito de suas fibras, essas são libriformes, de parede fina, lume espesso e apresenta pontoações simples. Por último, com relação às suas estruturas especiais, esta espécie não possui canais intercelulares, porém apresenta a deposição de cristais prismáticos em câmaras nas células marginais dos raios e no parênquima axial, além da obstrução dos vasos pela presença abundante de tilos. Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.13a) e micro (Figura 2.13b-g) da anatomia da espécie *Bagassa guianensis* (Tatajuba) estão ilustrados na Figura 2.13 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.13: Imagens macro e micro da espécie de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiavasculares (100x=20mm); (g) plano radial destacando cristais presentes em câmaras nas células dos raios (20x=100mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.11.2 Propriedades físico-mecânicas

Com relação aos valores médios de propriedades físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis*, e também conhecida como Tatajuba, a norma ABNT NBR 7190 (1997), em seu anexo E, traz valores obtidos a partir de uma amostra de 10 corpos de prova ensaiados à umidade padrão de 12%, os quais estão contemplados na Tabela 2.97.

Tabela 2.97: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Dias e Lahr (2004) relacionaram a densidade aparente de 40 espécies de madeira do grupo das folhosas com as suas outras propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados ensaios de caracterização de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para que fossem encontrados os valores de todas propriedades investigadas, as quais foram tratadas por meio de regressões para que pudessem ser correlacionadas à densidade aparente. Os valores encontrados nos ensaios para a espécie de *Bagassa guianensis* (Tatajuba) foram disponibilizados na Tabela 2.98.

Tabela 2.98: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

$\rho_{ap,12}$ (kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)
945	4,2	5,8	79	93
f_{t90} (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{c0} (MPa)
4	19,9	0,9	110	18574
E_{t0} (MPa)	E_M (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	T (daN.m)
16750	17905	117	88	0,95

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_M = resistência na flexão; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; T = tenacidade.
Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontrava a madeira da espécie de *Bagassa guianensis* (Tatajuba). Os seus valores encontrados e já corrigidos para um teor de umidade igual a 12% foram disponibilizados na Tabela 2.99. A pesquisa ainda estimou as propriedades físico-mecânicas através da densidade básica (ρ_{bas}) por meio de regressão linear simples e de regressão linear com correções de imperfeições estatísticas, das quais para o cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) foram encontrados valores de coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,374 e 0,477, respectivamente, demonstrando assim que a ρ_{bas} foi pouco significativa na estimativa do f_{v0} , sendo, portanto, inviável estimar tal propriedades através da ρ_{bas} .

Tabela 2.99: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
700	4,1	5,8	222,51	11572	78,55
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
13,63	9875	7384	5,20	-	12,55

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; - valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

Com o objetivo de relacionar o nome vulgar de algumas espécies às suas classes de resistência para maior facilidade de informações quando compradas diretamente no comércio, Jesus, Logsdon e Finger (2015) caracterizaram mecanicamente 26 espécies de madeira nativas do Mato Grosso conforme procedimentos prescritos na ABNT NBR 7190 (1997), além de apresentarem suas densidades a 12% de umidade padrão. Assim, todos os valores de resistência característica e de densidade aparente obtidos a partir dos valores médios encontrados nos ensaios para a espécie intitulada pelo trabalho de *Bagassa guianensis* Aubl. (Tatajuba) podem ser conferidos na Tabela 2.100. A pesquisa ainda classifica tal madeira como sendo da classe D60, com base em seu valor característico encontrado.

Tabela 2.100: Características físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{t0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)
809	64,62	86,88	10,16	17451	19771

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $f_{c0,k}$ = resistência característica à compressão paralela às fibras; $f_{t0,k}$ = resistência característica à tração paralela às fibras; $f_{v0,k}$ = resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras; $E_{c0,k}$ = módulo de elasticidade longitudinal característico na compressão paralela às fibras; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade longitudinal médio na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Jesus, Logsdon e Finger (2015)

Almeida (2017) estimou propriedades de resistência e rigidez através da técnica de Colorimetria para as espécies de *Simarouba amara* Aubl. (Caixeta), *Anacardium giganteum* W. Hancock (Cajueiro), *Erisma uncinatum* Warm (Cambará-rosa), *Bagassa guianenses* Aubl. (Tatajuba) e *Peltogyne* sp. (Roxinho) a um teor de 12% de umidade. Através dos ensaios mecânicos e de Colorimetria, os valores médios das propriedades mecânicas e dos parâmetros colorimétricos para a espécie de Tatajuba foram encontrados e dispostos na Tabela 2.101.

Tabela 2.101: Propriedades mecânicas e parâmetros colorimétricos da *Bagassa guianenses* (Tatajuba)

Propriedades	V. Médio	CV	Intervalo de Confiança	
			L. Inferior	L. Superior
f_{c0} (MPa)	73	10,72	61,49	72,86
f_M (MPa)	104	21,99	92,09	116,15
E_M (MPa)	12299	8,70	11681	12728
f_{H90} (N)	5693	38,07	4726	6937
$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	740	11,59	700	790
L	68,17	6,32	65,70	70,11
a	5,39	30,61	4,58	6,32
b	23,85	15,20	22,01	25,84

L. = limite; V. = valor; CV = coeficiente de variação; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; L = luminosidade; a = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b = tonalidade nos eixos amarelo/azul.

Fonte: Adaptado de Almeida (2017)

Logo, de acordo com os valores encontrados na sua caracterização mecânica assume-se que a madeira de Tatajuba seja classificada como sendo de classe D50, visto que apresentou um $f_{c0,k}$ igual a 51 Mpa, calculado de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997). Com relação às regressões, a correlação para estimativa de f_M (Equação 41 encontrada no trabalho) apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 85,30\%$) para estimativa das propriedades mecânicas. Ainda com relação aos modelos de regressão apresentados para a madeira de Tatajuba, esses mostram que maiores valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* tendem a aumentar o valor estimado para E_M . Porém, analisando separadamente os parâmetros, enquanto que o parâmetro a^* maior tende a aumentar todas as propriedades estudadas, L^* e b^* tiveram efeitos hora iguais e hora divergente sobre as propriedades mecânicas analisadas (ALMEIDA, 2017).

Com o intuito de se obter um processo menos dispendioso tanto no sentido financeiro quanto com relação ao tempo e esforço demandado para a obtenção de propriedades físico-mecânicas da madeira, Duarte (2017) avaliou a possibilidade de se correlacionar tais propriedades com a porosidade, densidade aparente (fácil obtenção) e composição química de tal material de dez espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais a madeira de *Bagassa guianenses* Aubl. (Tatajuba) se encontrava. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas através de ensaios conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997) e estão disponibilizadas na Tabela 2.102.

Tabela 2.102: Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianenses* (Tatajuba)

	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
\bar{X}	950	4,29	5,88	107	18427	80
CV (%)	5,96	11,86	13,09	24,39	18427	19,43
	E_{c0} (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	f_{t0} (MPa)	E_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)
\bar{X}	18961	15	903	96	18200	3,8
CV (%)	18,15	21,33	20,04	26,44	13,84	32,30
	f_{v0} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (MPa)	W (daN.m)	
\bar{X}	20	0,87	121	88	1,10	
CV (%)	8,80	19,27	16,72	15,67	35,74	

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Duarte (2017)

Com o intuito de reunir informações sobre madeiras utilizadas na produção de embarcações na Amazônia, Braga Jr. *et al.*, (2020) realizaram a caracterização anatômica microscópica de 8 espécies como já mencionado. Porém, nesse mesmo estudo foram determinadas algumas propriedades físicas das espécies estudadas, entre elas, a espécie *Bagassa guianenses* (Tatajuba). Então com base em ensaios descritos na norma ABNT NBR 11941 (2003) para a densidade básica, e na ABNT NBR 7190 (1997) para os ensaios de contração volumétrica e linear, foram encontrados os resultados médios e seus desvios padrões disponibilizados na Tabela 2.103.

Tabela 2.103: Propriedades físicas da madeira de *Bagassa guianenses* (Tatajuba)

	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ϵ_v (%)	CA (adimensional)
\bar{X}	690	5,66	6,61	18,27	1,19
DP (%)	0,05	1,50	1,13	7,09	0,11

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = retração radial; $\epsilon_{r,3}$ = retração tangencial; ϵ_v = retração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico; \bar{X} = valor médio; DP = desvio padrão.

Fonte: Adaptado de Braga Jr. *et al.*, (2020)

Lima *et al.* (2018) investigaram qual a influência que a região de desenvolvimento da árvore exerce sobre duas propriedades físicas e cinco propriedades mecânicas da espécie de madeira *Bagassa guianensis* (Tatajuba). Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 7190 (1997) e a equivalência entre propriedades foi testada via análise de variância de Kruskal-Wallis, considerando resultados significativos (valores não equivalentes)

aqueles que atendiam à condição P-valor < 0,05. Os valores encontrados em ensaio para as propriedades estudadas podem ser conferidos na Tabela 2.104. Ademais através da estatística realizada, foi encontrado que os valores médios de densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$) e de resistência a compressão paralela às fibras (f_{c0}) não foram equivalentes, fazendo com que os valores característicos de f_{c0} , calculados conforme descrito em tal norma citada, variassem a ponto de se ter classes de resistência diferentes para a madeira de cada região, sendo classificada então como D50 a madeira proveniente de Alta Floresta e em D60 a de Bonfim do Sul.

Tabela 2.104: Propriedades físico-mecânicas da madeira de Bagassa guianensis (Tatajuba)

Madeira de Alta Floresta							
	P_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)	E_{t0} (MPa)
\bar{X}	750	810	69	91	18	18528	18284
CV (%)	13,92	13,83	15,46	37,95	23,28	18,07	10,89
f_k	-	-	55	64	12	-	-
Madeira de Bonfim do Sul							
	P_{bas} (Kg/m ³)	$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{v0} (MPa)	E_{c0} (MPa)	E_{t0} (MPa)
\bar{X}	740	940	80	93	20	18571	17319
CV (%)	5,48	6,07	18,62	22,5	8,53	17,47	12,05
f_k	-	-	60	65	18	-	-

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; f_k = valor característico de resistência; p_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_{t0} = módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras; - = valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2018)

2.1.11.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Com relação à composição química da madeira de *Bagassa guianensis*, conhecida popularmente como Tatajuba, Santana e Okino (2007) determinaram a sua divisão de compostos por meio dos procedimentos de hidrólise total, cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) e utilização de métodos colorimétricos. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 2.105.

Tabela 2.105: Composição química da madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba)

Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,9	34,2	43,4	21,5	0,3	8,4

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

2.1.12 TAUARI (*COURATARI* SP.)

A seguir foram descritas as suas propriedades organolépticas, colorimétricas, anatômicas macroscópicas e microscópicas, nomes populares e científico, regiões de incidência e destinação de uso, os quais foram todos incluídos dentro do subitem: Características gerais e anatômicas. Ao dar continuidade, também em outro subitem foram apresentadas as propriedades físico-mecânicas de tal espécie, e por último, um subitem final trouxe as propriedades químicas e demais características encontradas na literatura para a espécie de *Couratari* sp. (Tauari).

2.1.12.1 Características gerais e anatômicas

Segundo o IPT (2021j), as espécies do gênero *Couratari* podem ser tratadas de forma conjunta por possuírem densidade, características anatômicas, cor e nome popular (Tauari) semelhantes. Sendo assim, aqui serão descritas as características e propriedades da madeira de *Couratari* spp. (Tauari), porém as espécies específicas desse gênero foram mencionadas quando pertinente.

Sendo assim, com relação às suas informações gerais, a madeira de Tauari também conhecida como Estopeiro, Imbirema, Tauari-amarelo, Tauari-morrão e Tauari-carniça, e cientificamente conhecida como *Couratari* spp. é pertencente à família Lecythidaceae, e pode ser encontrada em algumas regiões/estados brasileiros, tais como: Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Também há a ocorrência dessa espécie nos seguintes países: Guiana, Guiana Francesa e Suriname, sendo que essas regiões/estados brasileiros e os outros três países citados possuem um clima equatorial caracterizado pela frequência quase diária de chuvas e calor intenso. Com relação ao seu uso, pode ser utilizada na construção civil para cumprir função estrutural em aplicações leves e internas como em ripas e em partes secundárias de estruturas; leve em esquadrias; leve interna para utilidade geral, e ainda para fabricação de chapas e compensados (IPT, 2021j; SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com relação à sua cor, Ribeiro (2017) investigou vinte espécies tropicais comercializadas no estado de Mato Grosso, das quais a madeira de *Couratari oblongifolia* Ducke & Kunth (Tauari) se encontrava. No estudo foram determinadas as suas propriedades colorimétricas, apresentadas na Tabela 2.106, fazendo-se uso da metodologia proposta por

Gonçalez (1993), e seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976.

Tabela 2.106: Propriedades colorimétricas para a madeira de *Couratari oblongifolia* (Tauari)

L*	a*	b*	C	h*	Cor
74,17	4,23	22,50	22,91	79,44	Branco acinzentado

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

O trabalho também apresenta o estudo de tais propriedades em faces diferentes (radial e tangencial). Como resultado foi encontrado que tal madeira apresentou diferença estatística na claridade (L*), devendo-se então tomar cuidado no sentido a ser desdobrado pela diferença que a madeira apresentará na cor, com coloração da face radial sendo a mais clara.

Ainda com relação à sua cor, Silva *et al.* (2007) avaliaram o processo de fotodecomposição de cinco espécies de madeira do grupo das folhosas, das quais se encontrava a madeira de *Couratari* sp. (Tauari). Seguindo as definições dos parâmetros colorimétricos conforme sistema CIELAB 1976, as propriedades encontradas foram disponibilizadas na Tabela 2.107.

Tabela 2.107: Propriedades colorimétricas da madeira de *Couratari* sp. (Tauari)

L*	a*	b*	Cor
50,43	5,72	15,65	Marrom-amarelado-claro

L* = luminosidade; a* = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b* = tonalidade nos eixos amarelo/azul.

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2007)

Com o objetivo de avaliar a durabilidade natural de três espécies de Tauari (*Couratari guianensis* Aublet, *Couratari oblongifolia* Ducke & Knuth R. e *Couratari stellata* A. C. Smith), Okino *et al.* (2015) determinaram os seus parâmetros colorimétricos de acordo com o sistema CIE L* a* b* 1976, antes e após o ataque de fungos. Com relação aos seus parâmetros na condição in natura, a Tabela 2.108 traz seus valores médios encontrados para amostras com teor de umidade entre 6 e 9%.

Tabela 2.108: Propriedades colorimétricas da madeira de Tauari

	L*	a*	b*	Cor
<i>Couratari guianensis</i>				
Face superior	67,00	5,8	19,60	Amarelada de brilho Intermediário
Face inferior	67,30	5,60	19,70	
<i>Couratari oblongifolia</i>				
Face superior	70,40	5,90	23,00	Amarelada de mais brilho
Face inferior	70,70	5,70	23,10	
<i>Couratari stellata</i>				
Face superior	61,70	5,30	17,60	Amarelada de menos brilho (mais escura)
Face inferior	63,20	4,90	17,40	

L* = luminosidade; a* = tonalidade nos eixos vermelho/verde; b* = tonalidade nos eixos amarelo/azul.
 Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2007)

Já a respeito das suas características organolépticas (sensoriais), a madeira de *Couratari* spp. (Tauari) possui o cerne e alburno indistintos pela cor, de cor branco-amarelado a bege-amarelado-claro. A madeira ainda possui brilho moderado, cheiro variável de pouco perceptível a perceptível, neste caso, desagradável, gosto levemente amargo e densidade média, além de ser macia ao corte e de apresentar grã direita e textura média (IPT, 2021j). Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) a madeira de *Couratari guianensis* apresenta cerne da cor pardo acastanhado e indistinto do alburno. O trabalho ainda descreve a madeira como sendo de bastante brilho, com cheiro característico desagradável e gosto imperceptível, além de possuir textura média, grã direita, e de ser lisa ao tato, moderadamente pesada e moderadamente dura ao corte.

No que diz respeito à suas propriedades anatômicas macroscópicas, a madeira de *Couratari* spp. (Tauari) se caracteriza por ter a presença de parênquima axial pouco visível a olho nu, em linhas finas, numerosas, aproximadas, regularmente espaçadas, formando com os raios um reticulado quase uniforme. Seus raios são também pouco visíveis a olho nu no topo, porém passa a ser visível apenas sob lente na face tangencial. Já seus vasos são visíveis a olho nu, médios (diâmetro); em pouca quantidade, com porosidade difusa, sendo solitários e alguns múltiplos de três e quatro, sem deposição de substâncias em seu lúmen. Por fim as suas camadas de crescimento foram identificadas como distintas, além de serem individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras (IPT, 2021j).

Já para Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021), no que diz respeito às suas propriedades macroscópicas anatômicas, a madeira de *Couratari guianensis* (Tauari) se caracteriza por ter a presença de parênquima axial visível a olho nú, além de ser reticulado (linhas perpendiculares aos raios, regularmente espaçadas, formando uma trama reticulada, com desenho semelhante a uma rede). Já seus raios são visíveis sob lente de 10 vezes, finos,

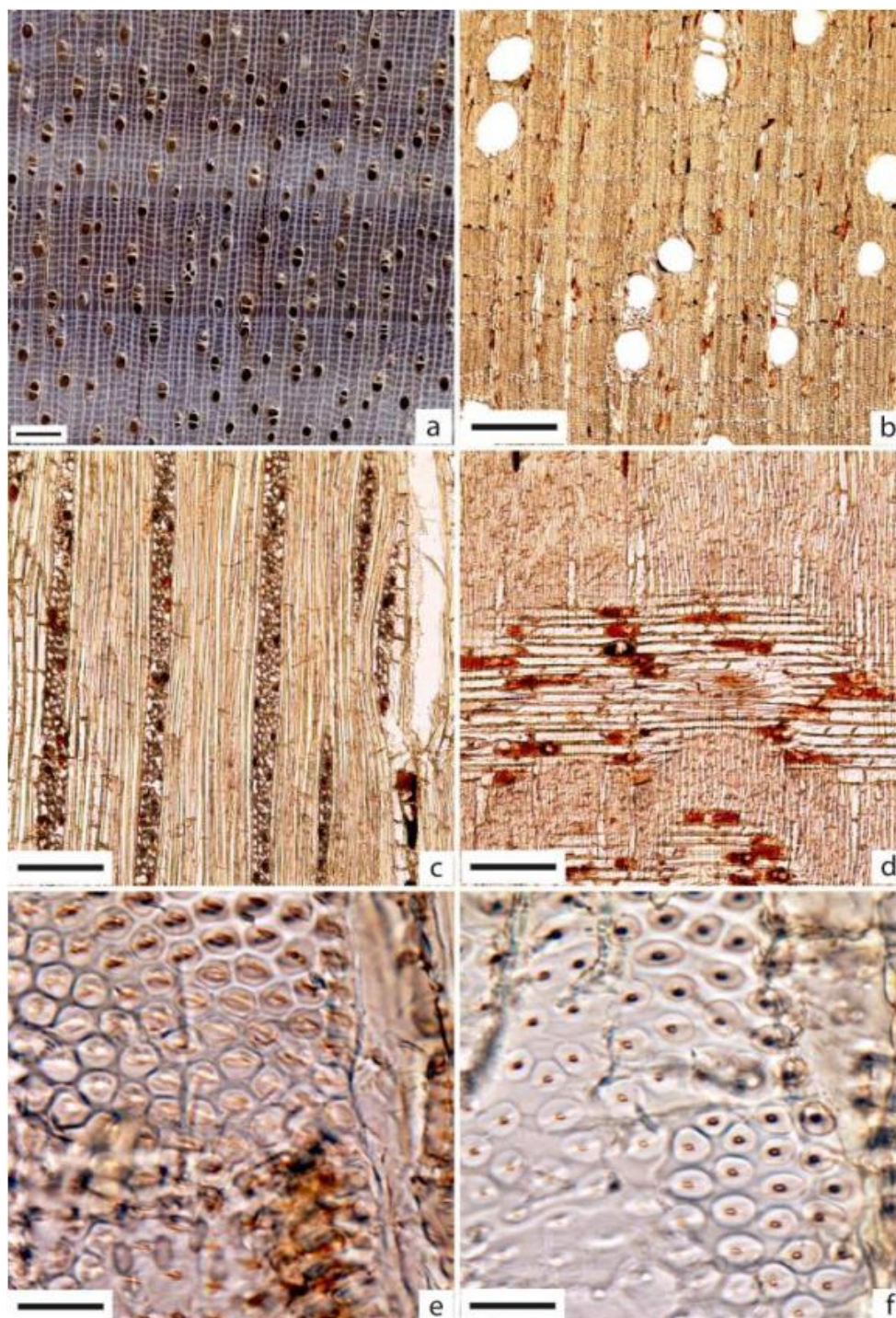
numerosos e com estratificação ausente. Ao dar continuidade, seus vasos são visíveis a olho nú, se apresentando solitários e predominantemente em múltiplos, com porosidade difusa, diâmetros de médios a grandes, sendo presentes em pouca quantidade e eventualmente obstruídos por tilos, além de apresentarem placa de perfuração simples. Por último, as suas camadas de crescimento são distintas a olho nú, além de serem demarcadas por zona fibrosa mais escura.

Com relação às propriedades microscópicas da espécie de *Couratari guianensis* (Tauari), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) encontraram que o parênquima axial é disposto em linhas finas aproximadas formando entre si uma trama reticulada, porém não estratificado. Já seus raios são homocelulares, compostos exclusivamente por células procumbentes, sendo raramente unisseriados e predominantemente multisseriados. Os raios ainda foram considerados numerosos (5 a 13 por mm linear), além de serem altos (sendo os maiores superiores a 1mm de altura), sem estratificação e preenchidos com óleo-resina (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Já os vasos são solitários e múltiplos em maioria de até quatro, com distribuição difusa, encontrados em pouca quantidade (4 a 7 por mm²); de diâmetro médio (134 a 240 µm), eventualmente obstruídos por tilos, possuindo pontoações intervasculares médias, areoladas, alternas e não guarnecidas, e além disso, apresenta placa de perfuração simples, pontoações raiovasculares areoladas, alternas e com abertura (diâmetro) diminuta (muito pequena). Com relação às suas fibras, essas são libríformes, de paredes espessas, lúmen reduzido, além de apresentarem pontoações simples. Por último, a respeito de suas estruturas especiais, não foram identificados canais intercelulares ou a presença de cristais em sua composição, apesar da eventual obstrução dos vasos por tilos poder ser notada (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Com o intuito de proporcionar uma melhor visualização, todos os detalhes acerca da representação macro (Figura 2.14a) e micro (Figura 2.14b-g) da anatomia da espécie *Couratari guianensis* (Tauari) estão ilustrados na Figura 2.14 (SANTINI Jr.; FLORSHEIM; TOMMASIELLO Filho, 2021).

Figura 2.14: Imagens macro e micro da espécie de *Couratari guianensis* (Tauari)



(a) Imagem transversal (Barra=1mm), (b) Plano transversal (4x=500mm), (c) Plano tangencial (10x=200mm), (d) Plano radial (10x=200mm), (e) Pontoações intervasculares (100x=20mm) e (f) Pontoações raiovasculares (100x=20mm).

Fonte: Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021)

2.1.12.2 Propriedades físico-mecânicas

Araújo (2007) através de pesquisa bibliográfica reuniu valores médios de propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeira tropical, das quais se encontrava as madeiras das espécies de *Couratari oblongifolia* Ducke & R. Knuth, *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* A. C. Smith, todas as três conhecidas popularmente como Tauari. Os seus valores

encontrados e já corrigidos para um teor de umidade igual a 12% foram disponibilizados na Tabela 2.109.

Tabela 2.109: Propriedades físico-mecânicas das madeiras de Tauari

<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth					
ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
500	4,20	6,60	83,06	10885	44,62
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
6,28	5776	4599	3,73	4,81	10,40
<i>Couratari guianensis</i>					
ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
520	3,60	6,10	104,05	11474	53,94
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
7,75	6521	5060	4,10	-	10,20
<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith					
ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	f_M (MPa)	E_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
650	5,80	7,80	134,06	14318	69,14
E_{c90} (MPa)	f_{H0} (N)	f_{H90} (N)	f_{t90} (MPa)	f_{s0} (MPa)	f_{v0} (MPa)
11,57	8777	6963	4,51	-	12,85

ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c90} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento paralelo às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; - valor não tabelado.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007)

A pesquisa ainda estimou as propriedades físico-mecânicas da média de todas as espécies através da densidade básica (ρ_{bas}) e por meio de regressão linear simples e de regressão linear com correções de imperfeições estatísticas, das quais para o cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) foram encontrados valores de coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,374 e 0,477, respectivamente, demonstrando assim que a ρ_{bas} foi pouco significativa na estimativa do f_{v0} , sendo, portanto, inviável estimar tal propriedade através da ρ_{bas} (ARAÚJO, 2007).

Com o objetivo de relacionar o nome vulgar de algumas espécies às suas classes de resistência para maior facilidade de informações quando compradas diretamente no comércio, Jesus, Logsdon e Finger (2015) caracterizaram mecanicamente 26 espécies de madeira nativas do Mato Grosso conforme procedimentos prescritos na ABNT NBR 7190 (1997), além de apresentarem suas densidades a 12% de umidade padrão. Assim, todos os valores de resistência característica e de densidade aparente obtidos a partir dos valores médios encontrados nos ensaios para as espécies intituladas pelo trabalho de *Couratari oblongifolia*

Ducke & R. Knuth (Tauari-rosa) e *Couratari stellata* A. C. Smith (Tauari-vermelho) podem ser conferidos na Tabela 2.110. A pesquisa ainda classifica tais madeiras como sendo das classes D40 e D60, respectivamente, com base em seus valores característicos encontrados.

Tabela 2.110: Características físico-mecânicas da madeira de Tauari-rosa e Tauari-vermelho

Tauari-rosa					
$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{t0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)
551	42,64	81,40	5,89	10893	12748
Tauari-vermelho					
$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{t0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)
738	66,59	102,51	11,43	16047	16825

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade igual a 12%; $f_{c0,k}$ = resistência característica à compressão paralela às fibras; $f_{t0,k}$ = resistência característica à tração paralela às fibras; $f_{v0,k}$ = resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras; $E_{c0,k}$ = módulo de elasticidade longitudinal característico na compressão paralela às fibras; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade longitudinal médio na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Jesus, Logsdon e Finger (2015)

Ribeiro (2017) investigou vinte espécies tropicas comercializadas no estado de Mato Grosso, das quais a madeira de *Couratari oblongifolia* Ducke & Kunth (Tauari) se encontrava. No estudo além de seus parâmetros colorimétricos, foram determinadas as suas propriedades físico-mecânicas, sendo as propriedades físicas ensaiadas conforme a norma COPANT (1972) e as mecânicas (MOR e MOE) conforme COPANT 555 (1972), além dos ensaios de ultrassom (MOEdu) e stress wave (MOEds). Com relação aos resultados, os valores médios físicos foram disponibilizados na Tabela 2.111, assim como os mecânicos estáticos e dinâmicos na Tabela 2.112.

Tabela 2.111: Propriedades físicas da madeira de *Couratari oblongifolia* (Tauari)

	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)	CA (adimensional)
\bar{X}	510	3,84	5,55	10,01	1,49
CV (%)	3,11	15,31	9,56	9,83	21,82

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = retratibilidade radial; $\epsilon_{r,3}$ = retratibilidade tangencial; ΔV = retratibilidade volumétrica; CA = coeficiente de anisotropia.

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

Tabela 2.112: Propriedades mecânicas da madeira de *Couratari oblongifolia* (Tauari)

	MOEds	MOEdu	MOE	MOR
\bar{X} (MPa)	14404,80	20515,10	14064,80	105,70
CV (%)	4,10	2,60	12,50	10,70

\bar{X} = valor médio; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2017)

Com o objetivo de analisar a equivalência entre rigidez/resistência de cinco espécies de folhosas na compressão paralela às fibras entre corpos de prova (CPs) preconizados pela

ABNT NBR 7190 (1997) e peças estruturais de tamanhos de uso na construção, Lanini (2018) encontrou através de ensaios de compressão paralela às fibras, flexão estática e vibração transversal, e de análise de variância que os ensaios em corpos de provas estabelecidos pela norma citada podem prever com segurança essas propriedades mecânicas. Então nesse mesmo estudo foram encontradas a resistência característica na compressão paralela às fibras da madeira de *Couratari* spp. (Tauari) igual a 62 MPa (classe C60), o módulo de elasticidade na mesma direção variando de 16000 a 20000 MPa, e a densidade aparente igual a 763 Kg/m³, que também foi ensaiada de acordo com a mesma norma. Vale ainda destacar que o valor médio do módulo de elasticidade na flexão estática (f_M) para CPs da norma citada foi de 19000 MPa.

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem de forma conjunta. Com relação às espécies de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* A. C. SM., ambas conhecidas popularmente como Tauari, as suas propriedades físicas ensaiadas conforme ABNT NBR 7190 (1997) foram determinadas e seus valores médios estão dispostos na Tabela 2.113.

Tabela 2.113: Propriedades físicas da madeira de Tauari

<i>Couratari guianensis</i>					
ρ_{bas} (kg/m³)	Contrações totais (%)				CA
	L	R	T	V	
500	0,18	3,87	4,73	9,41	1,25
<i>Couratari stellata</i> A. C. SM.					
ρ_{bas} (kg/m³)	Contrações totais (%)				CA
	L	R	T	V	
720	0,22	5,68	8,18	15,75	1,45

ρ_{bas} = densidade básica; L = contração longitudinal; R = contração radial; T = contração tangencial; V = contração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Com relação ao coeficiente anisotrópico (CA) apresentado, que é um indicador de estabilidade dimensional (quanto mais próximo de 1, mais estável) da madeira, e que pode indicar, por exemplo, maior ou menor propensão da peça ao encanoamento, o melhor valor entre todas as espécies foi o da madeira de *Couratari guianensis*, que classifica essa espécie como de excelente estabilidade dimensional. Além disso, a *Couratari guianensis* obteve também os menores valores para contração volumétrica, reforçando ainda mais seu bom comportamento dimensional. Já com relação à madeira de *Couratari stellata*, essa obteve um

valor maior de variação dimensional, porém ainda sim pode ser classificada como uma madeira de excelente comportamento quanto à sua variabilidade dimensional, que por sua vez indica uma tendência da madeira em não desenvolver muitos problemas de fendilhamento e empenamentos durante as alterações dimensionais devido ao processo de secagem.

Já com relação às propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Couratari oblongifolia* Ducke et R. Knuth. (Tauari), a Tabela 2.114 e Tabela 2.115 apresentam, respectivamente, os seus valores médios. Vale ressaltar que os valores de todas propriedades foram encontrados de acordo com a norma COPANT (1972) [IPT, 2021j].

Tabela 2.114: Propriedades físicas da madeira de *Couratari oblongifolia* (Tauari)

$\rho_{ap,12\%}$ (Kg/m ³)	ρ_v (Kg/m ³)	ρ_{bas} (Kg/m ³)	$\epsilon_{r,2}$ (%)	$\epsilon_{r,3}$ (%)	ΔV (%)
610	1100	500	4,2	6,6	10,90

$\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_v = densidade da madeira verde; ρ_{bas} = densidade básica; $\epsilon_{r,2}$ = contração radial; $\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial; ΔV = contração volumétrica.

Fonte: Adaptado de IPT (2021j)

Tabela 2.115: Propriedades mecânicas da madeira de *Couratari oblongifolia* (Tauari)

Propriedades mecânicas	Resultados de acordo com a densidade da madeira	
	ρ_v	$\rho_{ap,12\%}$
f_M (MPa)	57,80	88,80
E_M (MPa)	9316	10591
f_{c0} (MPa)	27,20	46,80
f_{c90} (MPa)	4,50	6,10
f_{t90} (MPa)	3,2	3,6
f_{v0} (MPa)	6,8	8,5
f_{H0} (N)	3727	5315

ρ_{bas} = densidade básica; $\rho_{ap,12\%}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; f_M = módulo de ruptura na flexão estática; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de IPT (2021j)

2.1.12.3 Propriedades químicas e demais características encontradas na literatura

Com relação à composição química das madeiras de *Couratari multiflora* (Sm.) Eyma, *Couratari* sp. e *Couratari stellata* A. C. Sm., todas conhecidas popularmente como Tauari, Santana e Okino (2007) determinaram as suas divisões de compostos por meio dos procedimentos de hidrólise total, cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) e utilização de métodos colorimétricos. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 2.116.

Tabela 2.116: Composição química das madeiras de Tauari

<i>Couratari multiflora</i> (Sm.) Eyma					
Resultados somados				Outros compostos	
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,70	31,40	53,40	14,50	2,00	1,10
<i>Couratari</i> sp.					
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,70	33,30	48,30	17,70	1,60	1,40
<i>Couratari stellata</i> A.C. Sm.					
Lignina (%)		Holocelulose (%)		Cinzas (%)	Extrativos (%)
Solúvel	Insolúvel	Celulose	Hemicelulose		
0,70	33,30	48,70	17,30	1,80	1,00

Fonte: Adaptado de Santana e Okino (2007)

Susin (2018) estudou, por meio de doze espécies de madeira diferentes do grupo das folhosas, a influência que as suas propriedades físicas e químicas exercem sobre seu comportamento no processo de secagem a uma temperatura constante de 60° C, com o intuito de agrupar as espécies que tivessem comportamento similar, de modo que pudessem receber um processo de secagem em conjunto. Com relação às propriedades químicas [ensaiadas conforme ABNT NBR 14853 (2002); ABNT NBR 14660 (2003); ABNT NBR 13999 (2003); ABNT NBR 7989 (2003); ABNT NBR 9487 (1986)] determinadas, seus valores médios para as madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* A. C. SM., ambas conhecidas popularmente como Tauari, estão dispostos na Tabela 2.117.

Tabela 2.117: Propriedades químicas da madeira de Tauari

<i>Couratari guianensis</i>			
Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Holocelulose (%)
30,95	0,33	4,57	64,15
<i>Couratari stellata</i> A. C. SM.			
Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Holocelulose (%)
31,80	0,65	4,30	63,24

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Com respeito às propriedades químicas da madeira de *Couratari guianensis* apresentada na Tabela 2.117, tal madeira pôde ser enquadrada em um grupo de madeiras que contam com as espécies de *Ocotea aciphylla* (canelão) e *Goupia Glabra* (Cupiúba), apresentando 92,92% de similaridade química entre si.

No que diz respeito ao processo de secagem, foram utilizadas 20 amostras de cada espécie. O tempo e redução de umidade por hora (hr) foi tomado referente da condição verde da madeira até aproximadamente 8% de umidade. As madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* inicialmente com teor de umidade de 59,59% e 44,38% levaram um total de 89 e 92 horas até atingir 8% de umidade, sendo equivalente a uma taxa média de redução de umidade igual a 0,58%/hr e 0,39%/hr, respectivamente, a uma temperatura constante de 60 °C para essas e todas as outras espécies, como já dito (SUSIN, 2018).

No que diz respeito à taxa de secagem, os intervalos analisados foram os referentes à condição verde da madeira até o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) [30%], PSF até 8% de umidade, e da condição verde até 8%. Com relação à condição verde até 8% de umidade, as madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* obtiveram uma taxa de secagem de 0,00516 g.cm⁻².hr⁻¹ e 0,00561 g.cm⁻².hr⁻¹, respectivamente. O estudo ainda apresenta que características de permeabilidade e anatômicas, como a frequência o diâmetro, abundância de vasos e presença de tilos ou ainda outras substancias que podem obstruir o deslocamento de fluídos no interior dos vasos, influenciam na taxa de secagem, e conseqüentemente na velocidade com que a madeira seca (SUSIN, 2018). No que diz respeito à defeitos de secagem (empenos), a Tabela 2.118 disponibiliza os valores médios encontrados na pesquisa para as madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata*.

Tabela 2.118: Empenos na madeira de Tauari

<i>Couratari guianensis</i>							
Arqueamento		Encurvamento		Encanoamento		Torcimento	
F _{Arq.} (mm.m ⁻¹)	X _{Arq.} (%)	F _{Encur.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encur.} (%)	F _{Encan.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encan.} (%)	F _{Tor.} (mm.m ⁻¹)	X _{Tor.} (%)
1,47	52,38	1,37	9,52	0,11	38,10	2,05	42,86
<i>Couratari stellata</i>							
Arqueamento		Encurvamento		Encanoamento		Torcimento	
F _{Arq.} (mm.m ⁻¹)	X _{Arq.} (%)	F _{Encur.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encur.} (%)	F _{Encan.} (mm.m ⁻¹)	X _{Encan.} (%)	F _{Tor.} (mm.m ⁻¹)	X _{Tor.} (%)
1,96	90,48	0,58	23,81	0,11	14,29	1,42	33,33

F_{Arq.} = flecha de arqueamento; X_{Arq.} = peças com arqueamento; F_{Encur.} = flecha de encurvamento; X_{Encur.} = peças com encurvamento; F_{Encan.} = flecha de encanoamento; X_{Encan.} = peças com encanoamento; F_{Tor.} = flecha de torcimento; X_{Tor.} = peças com torcimento.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

O trabalho ainda destaca que todos os valores médios de arqueamento, encurvamento, encanoamento foram menores que os limites aceitos pela ABNT NBR 9487 (1986), apesar de haver torcimento nas madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata*, conforme apresentado na Tabela 2.118, que não é admitido por tal normativa. Com relação ao

arqueamento, a pesquisa afirma que é um tipo de empenamento difícil de ser controlado durante o processo de secagem por não haver qualquer restrição mecânica nessa direção. Por último ainda pode ser destacado o baixo valor de 0,11 mm de encaçamento sofrido pelas espécies citadas, que segundo a pesquisa corrobora sua baixa variação dimensional. Já com relação às suas rachaduras, a Tabela 2.119 demonstra os valores médios encontrados para as madeiras de *Couratari guianensis* e *Couratari stellata* segundo Susin (2018).

Tabela 2.119: Valores de rachaduras encontradas na madeira de Tauari

<i>Couratari guianensis</i>			
Rachadura de topo		Rachaduras de superfície (%)	Rachaduras internas (%)
IRT médio (%)	Peças com defeito (%)		
4,16	42,86	0,00	4,76
<i>Couratari stellata</i>			
6,21	52,38	23,81	42,86

IRT = índice de rachaduras de topo.

Fonte: Adaptado de Susin (2018)

Vale destacar que a madeira de *Couratari stellata* foi a madeira do estudo que mais apresentou rachaduras internas com 42,86% de suas peças acometidas por tal defeito. A pesquisa ainda aponta que a alta densidade da madeira pode estar relacionada com as rachaduras internas apresentadas. Com relação ao IRT médio das espécies, como ele foi abaixo de 10%, as espécies foram classificadas como sendo de primeira categoria (SUSIN, 2018).

Por fim, como conclusão final para o agrupamento das espécies levando em consideração todas variáveis analisadas com relação a essas duas espécies, foi encontrado um grupo do qual foi possível elaborar um processo de secagem comum por haver 85,63% de similaridade entre as variáveis obtidas em tal processo para as madeiras de *Vochysia guianensis* (Rosinha) e *Couratari stellata* (Tauari-duro), e outro grupo para as espécies de *Couratari guianensis* (Tauari), *Apuleia leiocarpa* (Garapeira) e *Astronium lecointei* (Muiracatiara) com 66,61% de similaridade (SUSIN, 2018).

2.1.13 RESUMO DA ANATOMIA DAS ESPÉCIES

Para resumir as propriedades anatômicas que foram mais discutidas e relevantes de acordo com os resultados do cisalhamento apresentados mais à frente, a Tabela 2.120 é exibida. Tal tabela apresenta propriedades anatômicas que foram divulgadas pelo IPT (2021), Santini Jr., Florsheim & Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019).

Tabela 2.120: Principais propriedades anatômicas utilizadas no trabalho

Espécies	PA	PR	PV	CF	DC
Angelim-pedra	PAVN-F	QN	QPNDMG	PE-LD	ZF
Breu-vermelho	PAI	QN	QNDPM	-	CCI
Caixeta	PAVN-L	QPN	QPNDMG	PD-LM	ZF
Cambará-rosa	PAVN-F	QPN	QPNDMG	PD-LE	CCI
Cupiúba	PAVSLA	QN	QNDPM	PE-LD	CCI
Jatobá	PAVN-L	QPN	QNDPM	PE-LD	PM
Louro-preto	PAVSLA	QN	QNDPM	PD-LE	ZF
Pequiá	PAVSLA	QN	QPNDMG	PE-LD	ZF
Peroba-rosa	PAI	QN	QNDPM	PE-LD	ZF
Roxinho	PAVSLA	QPN	QNDPM	PE-LD	ZF
Tatajuba	PAVSLA	QN	QPNDMG	PD-LE	ZF
Tuari	PAVN-L	QN	QPNDMG	PE-LD	ZF

PA = parênquima axial; PR = células de parênquima radial; PV = presença dos vasos; CF = configuração das fibras; DC = demarcação das camadas de crescimento; PAVN-F = parênquima axial visível a olho nú, distribuído em largas faixas; PAVN-L = parênquima axial visível a olho nú, distribuído em linhas finas; PAVSLA = parênquima axial visível apenas sob lente de aumento; PAI = parênquima axial invisível mesmo sob lente; QN = quantidade numerosa; QPN = quantidade pouco numerosa; QNDPM = quantidade numerosa com diâmetro de pequeno a médio; QPNDMG = quantidade pouco numerosa com diâmetro de médio a grande; PE-LD = parede espessa e lúmen delgado; PD-LM = parede delgada e lúmen médio; PD-LE = parede delgada e lúmen espesso; ZF = zonas fibrosas; CCI = camadas de crescimento indistintas; PM = parênquima marginal; - = não consta.

Fonte: Adaptado de IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019)

2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ENVOLVENDO PLANOS DIFERENTES DE APLICAÇÃO DE CARGA NA SEÇÃO TRANSVERSAL

Todos os trabalhos encontrados que tem alguma relação com a temática aqui investigada foram disponibilizados neste item. Além disso, como pôde ser observado no tópico anterior, nenhuma das espécies aqui estudadas foram alvo desse mesmo tipo de investigação, portanto, os estudos já realizados envolvem apenas outras espécies tanto de coníferas quanto de folhosas.

Logo, inicialmente foram encontradas pesquisas próximas do tema, como as de Liu e Floeter (1984), Liu *et al.* (1999), Gupta e Sinha (2012), Logsdon, Finger e Jesus (2014) e

Carrasco e Mantilha (2016) que demonstram em tabelas os valores encontrados em ensaios da resistência ao cisalhamento com a aplicação de carregamento na direção paralela versus normal às fibras da madeira, bem como comparativos com valores da resistência em inclinações intermediárias. Também foram encontrados trabalhos que investigaram a relação entre a resistência ao cisalhamento paralelo versus a anatomia da madeira, porém sem que se variasse o plano de carregamento (AJUZIOGU *et al.*, 2014; TOONG *et al.*, 2014; LONGUI *et al.*, 2017a; LUOSTARINEN e HERÄJÄRVI, 2018).

Vale destacar que também foram encontradas pesquisas que mostram como os anéis de crescimento podem afetar em outros tipos de propriedades mecânicas que não a resistência ao cisalhamento, como em Mascia e Nicolas (2013) [coeficiente de poisson], Nadir, Nagarajan e Midhun (2014) [outras propriedades mecânicas], Niemz *et al.* (2014) [outras propriedades mecânicas e físicas] e Labonnote e Malo (2010) [rigidez efetiva].

Já exatamente no tema aqui apresentado e estudado, os trabalhos de Bendtsen e Porter (1978), Bröker, Meierhofer e Radovic (1987), Okkonen e River (1988), Szalai (1994), Riyanto e Gupta (1996), Lang *et al.* (2000), Müller *et al.* (2004), Horvath, Niemz e Molnar (2008), Hass *et al.* (2009), Labonnote e Malo (2010), Sonderegger *et al.* (2013), Nadir, Nagarajan e Midhun (2014), Ozyhar *et al.* (2016) e Longui *et al.* (2017b) foram encontrados.

Em alguns desses trabalhos a nomenclatura adotada para as resistências nos planos principais de análise foi a seguinte: τ_{xx} , sendo que o τ (tau) é a resistência ao cisalhamento, o primeiro subscrito é a direção normal ao plano cisalhado, enquanto o segundo denota sempre a direção de aplicação da força cisalhante. Essa mesma lógica foi seguida também por outros trabalhos para descrever o tipo de ensaio, sem necessariamente se falar na resistência, como por exemplo os ensaios nos planos TL ou RL (primeira letra indica a direção normal à falha, e a segunda indica a direção da força). Já em outras pesquisas a nomenclatura adotada foi a que indica exatamente o plano de aplicação do carregamento, começando-se sempre com a letra que indica a direção de aplicação de força e encerrando-se com a letra que representa a direção do cisalhamento na seção transversal, como por exemplo, o plano LT que significa que a força está orientada (apontada) na longitudinal e que a linha de carregamento tangencia os anéis de crescimento (direção tangencial).

Assim, Bendtsen e Porter (1978) analisaram as resistências médias ao cisalhamento com o plano cisalhado perpendicular aos anéis de crescimento (cortando a direção tangencial) e com a direção de aplicação de força orientada na longitudinal ou paralela às fibras [τ_{TL}]; com o plano cisalhado perpendicular aos raios (cortando os raios) e com o carregamento orientado na longitudinal (τ_{RL}); e com o plano cisalhado a 45° em relação aos anéis de crescimento e com a força aplicada na longitudinal ($\tau_{45^\circ ACL}$) da madeira de *Pseudotsuga menziesii* (Abeto-de-douglas) [conífera]. Logo, a pesquisa descobriu que a τ_{TL} era maior do que a τ_{RL} , além das τ_{TL} e τ_{RL} serem apenas de dois a três por cento maiores do que a $\tau_{45^\circ ACL}$ encontrada. A pesquisa

ainda afirmou que essa diferença se deu por conta da densidade básica média ser ligeiramente inferior na orientação de 45° em relação aos AC.

Para algumas espécies também de coníferas, Bröker, Meierhofer e Radovic (1987) chegaram à conclusão que a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com carregamento aplicado no plano LR (T_{TL}) é maior do que quando o carregamento é aplicado no plano LT (T_{RL}), sendo que essas madeiras mostraram grandes diferenças de densidade entre o lenho inicial e o final, explicando assim porque a falha mais frágil se deu tangencialmente aos AC.

A seguir, Okkonen e River (1988) avaliaram a influência causada no valor de T_{RL} para o T_{TL} na seção transversal de quatro espécies diferentes, sendo elas as espécies de *Pinus* spp. (Pinheiro do Sul) [conífera], *Pseudotsuga menziesii* (Abeto-de-douglas) [conífera], *Quercus alba* (Carvalho-branco) [folhosa], e *Acer saccharum* (Bordo) [folhosa]. Através de ensaios realizados de acordo com os métodos da ASTM D 143 (1952) e ASTM D 905 (1986), o trabalho encontrou que a T_{RL} foi maior do que a T_{TL} em espécimes de Bordo e Carvalho. Diferentemente, a T_{TL} foi superior do que a T_{RL} em espécimes de Abeto-de-douglas e Pinheiro do sul. A pesquisa ainda afirma que essas diferenças foram estatisticamente significativas quando se variou a orientação do carregamento na seção transversal dessas espécies, apesar da curvatura do anel de crescimento com relação à distância da medula influenciar mais a resistência ao cisalhamento do que propriamente a localização dos raios.

Em um trabalho abrangente, Szalai (1994) usou a teoria do tensor ortotrópico para descrever a resistência e a elasticidade da madeira como sendo dependentes da direção de análise. Com base nos critérios de resistência de Ashkenazi (1976), ele aplicou uma abordagem de tensor quadridimensional para prever a resistência ao cisalhamento em qualquer plano oblíquo da madeira e também em qualquer direção de aplicação do carregamento cisalhante.

Ao substituir os componentes tensores pelos valores de resistência adequados e eliminando os componentes zero, resultantes da restrição de que o cisalhamento é aplicado apenas nos planos paralelos à grã, a equação ficou em função de 4 variáveis que são obtidas de forma experimental, sendo elas as seguintes resistências ao cisalhamento: T_{RL} , T_{TL} , T_{RT} (tensão cisalhante com a aplicação da força na direção tangencial e com o plano de falha normal aos raios) e a resistência ao cisalhamento com a força aplicada a 90° das fibras e a 45° dos anéis de crescimento ($T_{90^{\circ}45^{\circ}}$). Além dessa equação, ainda foram criados modelos para prever a resistência normal e paralela às fibras da madeira através das resistências T_{RL} e T_{TL} , porém nenhuma dessas equações foram experimentalmente validadas, e como se sabe, devido ao modo imprevisível de ruptura da madeira no cisalhamento, essas equações precisam ser amplamente verificadas (SZALAI, 1994).

Posteriormente, Riyanto e Gupta (1996) analisaram a influência na resistência ao cisalhamento das espécies de coníferas de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) e *Larix*

gmelinii (Lariço) de acordo com a variação do plano de carga que girou do plano longitudinal-tangencial (LT) até o longitudinal-radial (LR) na seção transversal com um incremento de 10° por ensaio/inclinação. Como resultado, tal pesquisa encontrou que para os casos de maior inclinação (90°) a máxima variação na resistência ao cisalhamento foi igual a 5%, demonstrando assim uma baixíssima influência dos anéis de crescimento. Em contrapartida, a pesquisa encontrou que a densidade básica média, a porcentagem de lenho tardio e o número de anéis por polegada foram fatores muito mais determinísticos.

Subsequentemente, ao se investigar as espécies folhosas exóticas de *Populus tremuloides* (Álamo-trémulo), *Quercus rubra* (Carvalho-vermelho), *Liriodendron tulipifera* (Tulipeiro), *Populus x. Euramericana cv. Pannonia* (Álamo-verdadeiro) e *Quercus cerris* (Carvalho-turco) com relação às suas resistências ao cisalhamento com incrementos de 15° na inclinação de aplicação da força tanto com relação à grã quanto com relação aos anéis de crescimento, Lang *et al.* (2000) encontraram que os valores máximos de resistência ao cisalhamento seguiram uma forte tendência de serem obtidos a 15° da grã dessas madeiras, sendo que para uma inclinação a 0° dos anéis de crescimento, a resistência só não foi máxima a 15° da grã da espécie de Carvalho turco. A pesquisa ainda levanta a hipótese de que essa tendência pode ser explicada por conta da distribuição de tensão de cisalhamento se tornar mais uniforme a 15° do que a 0° da grã, sendo que nessa última inclinação haveria uma maior concentração de tensão próxima aos nós da madeira, dentre outros fatores possíveis.

Dando continuidade, com relação aos modos de falha, nem sempre foram encontradas rupturas devido ao cisalhamento puro. Portanto, acima de 45° da grã, por exemplo, a madeira de Carvalho que apresenta anel poroso tendeu a falhar ao longo da interface entre o lenho primavera e o lenho tardio (direção tangencial), ou ao longo do parênquima do raio (direção radial). Na sequência, por meio de ANOVA bidirecional foi constatada também diferenças estatísticas significativas na resistência ao cisalhamento tanto quando se variou o plano cisalhado com relação aos anéis de crescimento, como quando se variou a direção da força com relação à grã de todas as espécies, sendo que com relação aos anéis, os maiores valores foram encontrados próximos ou paralelos a tais (LANG *et al.*, 2000).

Müller *et al.* (2004) analisaram, dentre outros objetivos, a influência da posição dos anéis de crescimento (TL versus RL) na resistência ao cisalhamento paralelo às fibras das madeiras de *Larix decidua* (Larissa-europeu) e de *Picea abies* (Abeto-falso) pertencentes ao grupo vegetativo das coníferas. Após a realização dos ensaios de acordo com o modo II proposto por Bodig e Jayne (1982), a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância apontou a não diferença estatística entre os valores amostrais nos dois planos de falha investigados. Com relação aos planos analisados para a madeira de lenho normal, o sistema TL de ensaio resultou no modo de falha no qual a linha de ruptura atravessou a seção transversal dos traqueídes do lenho inicial ou ainda do lenho tardio quando este não se

encontrava entre raios. Já quando o lenho tardio se encontrava entre raios, o modo de falha se deu com a ruptura intra-parede (entre a lamela média e a parede S1).

Por outro lado, com relação ao sistema RL da madeira de lenho normal, o único modo de falha obtido foi na seção transversal dos traqueídes do lenho inicial. Ademais, no que diz respeito à madeira de lenho de compressão, a ruptura se deu sempre intra-parede (na espessura da fibra) tanto para o plano TL como para o RL (MÜLLER *et al.*, 2004). Ainda a respeito do modo de falha/ruptura na madeira, Luostarinen e Heräjärvi (2018) sugeriram que a mudança nas propriedades viscoelásticas que ocorre nas paredes celulares durante a transformação de alburno para cerne da madeira de *Larix sibirica* (Larício siberiano) [conífera] melhoram as suas propriedades de cisalhamento, levando não apenas a falhas tangenciando os anéis de crescimento, como no caso do alburno, mas também a falhas no alinhamento dos raios (Cerne), complementando então o que foi explanado por Lang *et al.* (2000) e Müller *et al.* (2004).

Na sequência, diferentemente do que foi constatado por Bendtsen e Porter (1978), Bröker, Meierhofer e Radovic (1987) e Okkonen e River (1988) para as espécies de Abeto-de-douglas e Pinheiro do Sul, o trabalho de Horvath, Niemz e Molnar (2008) encontrou que a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foi maior com o plano de carregamento LT do que quando se solicitou os corpos de prova no plano LR da espécie de madeira de *Fagus sylvatica* L. (Faia) [folhosa]. A razão de tal resultado é dada por conta da distribuição porosa-difusa de seus vasos que faz com que a diferença de densidade entre as camadas de crescimento seja praticamente nula, enquanto que a presença dos raios reforçou a madeira quando a carga foi aplicada no plano LT.

Nesse mesmo sentido, ao se realizar ensaios de cisalhamento de acordo com a norma DIN EN 302-1 (2004) para a determinação da resistência de três tipos de adesivos diferentes usados em ligações, Hass *et al.* (2009) observaram que quando a falha se deu na madeira de Faia e não propriamente na linha de cola, a resistência ao cisalhamento foi maior quando esse material foi carregado no plano LT ou em inclinações não maiores que 30° do alinhamento com os anéis de crescimento do que quando solicitada no plano LR ou em uma inclinação maior ou igual a 30°. O motivo para isso foi alegado mais uma vez como sendo o reforço ocasionado pelos raios na direção tangencial da seção, estando assim em concordância com Horvath, Niemz e Molnar (2008).

Sonderegger *et al.* (2013) analisaram dentre outras propriedades, a influência que a aplicação da carga em planos diferentes acarreta na resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de *Acer pseudoplatanus* L. (Bordo) [folhosa]. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma alemã DIN 52187 1979-05, e os resultados destacaram que o plano de cisalhamento LR (cortando os anéis) obteve uma resistência ao cisalhamento claramente

superior ao valor encontrado no plano LT (cortando os raios), logo, diferindo do divulgado em Okkonen e River (1988).

Em um estudo amplo, Nadir, Nagarajan e Midhun (2014) quantificaram dentre outras propriedades da espécie de *Hevea brasiliensis* (Seringueira) [folhosa], a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de corpos de prova em formatos de blocos (ASTM 2009) e também de espécimes de Iosipescu (SZALAI 1992). Assim, foi encontrado que para o corpo de prova da ASTM (2009) [mesma configuração do espécime da ABNT NBR 7190 (1997)], o valor médio da resistência ao cisalhamento foi maior no plano TL (cortando os anéis) do que no RL (raios cisalhados), além dos valores amostrais serem significativamente diferentes de um plano para o outro de acordo com o teste t ao nível de 5% de significância realizado.

Ozyhar *et al.* (2016) determinaram dentre outras propriedades, a resistência ao cisalhamento da espécie de *Quercus robur* (Carvalho) [folhosa] por meio de ensaios prescritos na norma DIN 52187 (1979) para os planos TL (cortando os anéis) e RL (cortando os raios) paralelos às fibras, além de outros dois planos perpendiculares à grã da madeira. Como resultado, a pesquisa encontrou que principalmente quando a madeira atinge teores de umidade próximos de 12%, a resistência ao cisalhamento é maior para o plano TL, discordando assim do encontrado por Okkonen e River (1988) para uma espécie do mesmo gênero (*Quercus alba*).

Longui *et al.* (2017b) determinaram a influência que a orientação do raio tem sobre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras das madeiras de *Balfourodendron riedelianum* (Guatambu-branco), *Dipteryx alata* (Cumarú), *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) e *Peltophorum dubium* (Canafístula), todas folhosas. Os ensaios foram conduzidos de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), e os resultados da resistência média dessas espécies mostraram que não houve diferença estatística quando os raios foram orientados paralelamente na comparação com eles orientados perpendicularmente ou diagonalmente ao plano de carga. Em suma, apesar de não haver diferenças estatísticas válidas para essa comparação, de um modo geral as madeiras apresentaram os máximos valores de resistência ao cisalhamento quando os raios foram orientados perpendicularmente ao plano cisalhado, enquanto que as menores resistências foram encontradas com os raios orientados paralelamente ao plano de corte. A explicação para isso foi a de que as camadas de crescimento não deslizaram umas sobre as outras por terem sido travadas pelos raios, como se estes atuassem como parafusos.

Li *et al.* (2021) afirmaram que quando a madeira do lenho inicial da espécie de *Larix kaempferi* (Lariço japonês) [conífera] tinha o ângulo da microfibrila mais inclinado, a espessura da parede das fibras mais fina e menor densidade (mais poros) que a madeira do lenho tardio, este último apresentou um melhor desempenho no cisalhamento para o plano RL (primeira letra indica direção normal ao plano de falha, e a segunda indica a direção da força aplicada),

o que leva ao entendimento de que a falha se daria sempre no lenho inicial tangenciando os anéis de crescimento, nesse caso.

Vale ressaltar que não foi encontrado outro trabalho nessa temática envolvendo as madeiras tropicais desta pesquisa. Na realidade, como bem apontou Aicher, Ahmad e Hirsch (2018), a literatura fornece dados consistentes para esse tipo de estudo envolvendo madeiras de coníferas, mas não para espécies folhosas, e uma vez que a anatomia das madeiras desses grupos vegetativos se diferenciam, como por exemplo, os vasos e fibras presentes nas folhosas em contrapartida dos traqueídes nas coníferas, não se faz aconselhável que determinações experimentais em espécies do grupo das coníferas sirvam de regra geral para espécies tropicais.

Na verdade, as magnitudes e as razões dos parâmetros mecânicos entre as três direções anatômicas principais da madeira diferem e dependem fortemente da microestrutura individual de cada espécie, e não apenas de seu grupo vegetativo (NIEMZ; CLAUSS; MICHEL, 2014). Em suma, percebe-se pelo estado atual do conhecimento que não foi possível ao menos definir ainda algum padrão para a influência da resistência ao cisalhamento dentre espécies de folhosas de acordo com a disposição dos seus anéis de crescimento.

Logo, dada a importância da resistência ao cisalhamento no projeto de estruturas de madeira e a falta de informações que se tem a respeito de possíveis interferências da anatomia da madeira em tal tipo de solicitação, essa pesquisa procurou avaliar, por meio de ensaios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) e por meio de análise de variância (ANOVA), se a resistência ao cisalhamento paralelo possui equivalência estatística quando a carga é aplicada paralelamente (direção tangencial) versus perpendicularmente (direção radial) aos seus anéis de crescimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Adiante serão apresentadas a metodologia e os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Os ensaios considerados nessa pesquisa são os de resistência na compressão (f_{c0}) e de cisalhamento (f_{v0}) na direção paralela às fibras, de umidade ($U\%$) e de densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$), que foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) para corpos de prova isentos de defeitos e retirados de lotes homogêneos, portanto, garantiu-se a redução da variabilidade dos resultados ao mesmo tempo que se obteve o aumento da representatividade do lote.

Com relação aos ensaios de compressão, esses foram realizados para que fosse possível classificar as madeiras nas suas devidas classes de resistência. Já com relação ao ensaio de umidade, ele foi realizado para a confirmação do teor de umidade da madeira, visto

que na região de São Carlos – SP, a umidade de equilíbrio para madeiras é exatamente de 12%. A respeito dos ensaios de densidade aparente, esses foram realizados devido à sua facilidade de execução, trazendo assim mais informações acerca das espécies do trabalho. Por fim, o ensaio de cisalhamento, conforme o tema da pesquisa, pode ser considerado como o cerne do trabalho, pois são os valores de resistência ao cisalhamento que foram avaliados com relação à orientação de aplicação de carga nos corpos de prova.

Já o critério para a escolha das espécies do trabalho se baseou tanto nas classes de resistência existentes para madeiras do grupo das folhosas (D20, D30, D40, D50 e D60) de acordo com o projeto de norma ABNT PNBR - 02:126.10 (2013), quanto na disponibilidade apresentada de tais no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM), que é localizado no Campus 1 da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos – SP, onde as madeiras foram estocadas e ensaiadas a um teor de umidade padrão de 12%.

Mais especificamente sobre as espécies do estudo, seus nomes populares e científicos, podem ser conferidas na Tabela 3.1, onde tais espécies foram organizadas da menor classe de resistência (D20) para a maior (D60), sendo que a determinação de tais classes de resistência se encontra melhor descrita no tópico 3.4.

Tabela 3.1: Espécies estudadas no trabalho

Nome popular	Nome científico	Classe de resistência
Caixeta	<i>Simarouba amara</i>	D20
Cambará-rosa	<i>Erisma uncinatum</i>	D30
Tuari	<i>Couratari</i> sp.	D30
Pequiá	<i>Caryocar villosum</i>	D30
Louro-preto	<i>Ocotea</i> spp.	D40
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	D40
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	D40
Peroba-rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	D40
Tatajuba	<i>Bagassa Guianensis</i>	D50
Breu-vermelho	<i>Protium</i> sp.	D60
Roxinho	<i>Peltogyne</i> spp.	D60
Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	D60

Fonte: Acerto da pesquisa

Importante também ressaltar que foram utilizados 20 corpos de prova (CPs) para cada tipo de ensaio ($U\%$, $\rho_{ap,12\%}$ e f_{c0}), e 20 CPs para cada um dos dois planos de cisalhamento analisados na determinação da f_{v0} para 12 espécies diferentes do grupo das folhosas, assim, levando ao total de 1200 CPs ensaiados ao final da pesquisa.

Vale pontuar também que 20 corpos de prova por ensaio é maior que a quantidade mínima de 12 CPs para atender a caracterização mínima de resistência de espécies pouco conhecidas de acordo com a norma ABNT NBR 7190 (1997), como é o caso por exemplo do Breu-vermelho (*Protium* sp.). Ademais, os ensaios mecânicos (compressão e cisalhamento) foram realizados na máquina AMSLER com capacidade de 250 KN (Figura 3.1).

Figura 3.1: Máquina AMSLER (ensaio mecânicos)



Fonte: Acervo da pesquisa

Por último, ainda foi apresentada a estatística descritiva de todos ensaios realizados, sendo que com relação à resistência ao cisalhamento paralelo, a análise de variância foi realizada para que se analisasse uma possível equivalência entre valores da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com plano de cisalhamento direcionado paralelamente (tangencialmente) $[f_{v0,T}]$ aos anéis de crescimento versus perpendicularmente (direção radial) $[f_{v0,R}]$ aos mesmos (anéis). Assim, os procedimentos para a realização dos ensaios mecânicos (resistência na compressão e no cisalhamento paralelo às fibras) e físicos (densidade básica e umidade), além da estatística realizada, foram devidamente descritos em tópicos separados.

3.1 ENSAIO DE UMIDADE

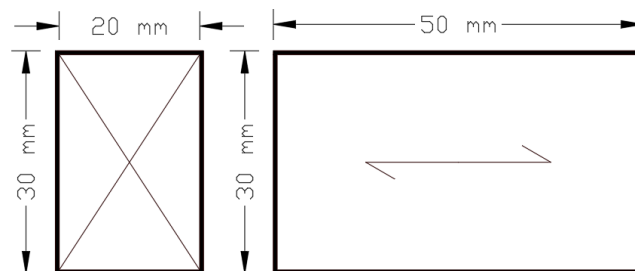
Para os ensaios de teor de umidade (U%) determinou-se a massa inicial (m_i) individual para 20 corpos de prova (CPs) de cada espécie do trabalho (12), em balança com exatidão de 0,01 g. Destaca-se ainda que cada CP media $20 \times 30 \times 50 \text{ mm}^3$ conforme Figura 3.2, onde o seu maior lado se encontra paralelo ao comprimento das fibras. Então, após a aferição da massa inicial em gramas, cada CP foi levado para a estufa de secagem onde foram expostos à temperatura de $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ para a obtenção de sua massa seca (m_s), também em gramas.

Na continuidade, ao decorrer da secagem, a massa do corpo de prova de cada espécie foi lida de 6 em 6 horas até que ela não variasse mais do que 0,5% do valor medido há 6

horas atrás, sendo a massa seca enfim obtida. Logo, os resultados de massa inicial e seca foram substituídos na **Eq. 3.1**, para que o teor de umidade fosse finalmente calculado.

$$U\% = \frac{m_i \times m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Eq. 3.1}$$

Figura 3.2: Corpo de prova para o ensaio de umidade



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

3.2 ENSAIO DE DENSIDADE APARENTE

Para se obter a densidade aparente, foram confeccionados 20 corpos de prova para cada espécie, sendo que 12 espécies foram ensaiadas. Ainda com relação aos CPs, esses são de seção prismática com as mesmas dimensões dos CPs utilizados para a verificação da umidade: 2 x 3 x 5 cm³ (conforme Figura 3.2), sendo que a maior dimensão é paralela ao comprimento das fibras da madeira.

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997) a densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$) é uma massa específica convencional, a qual se obtém pela razão da massa ($m_{12\%}$) pelo volume ($v_{12\%}$) do corpo de prova ao teor de 12% de umidade, conforme **Eq. 3.2**. Já com relação às arestas dos corpos de prova, essas foram aferidas por paquímetro com precisão de 0,01 mm, enquanto que a massa dos CPs foi obtida fazendo-se uso de uma balança digital com precisão de 0,01 grama.

$$\rho_{ap12\%} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad \text{Eq. 3.2}$$

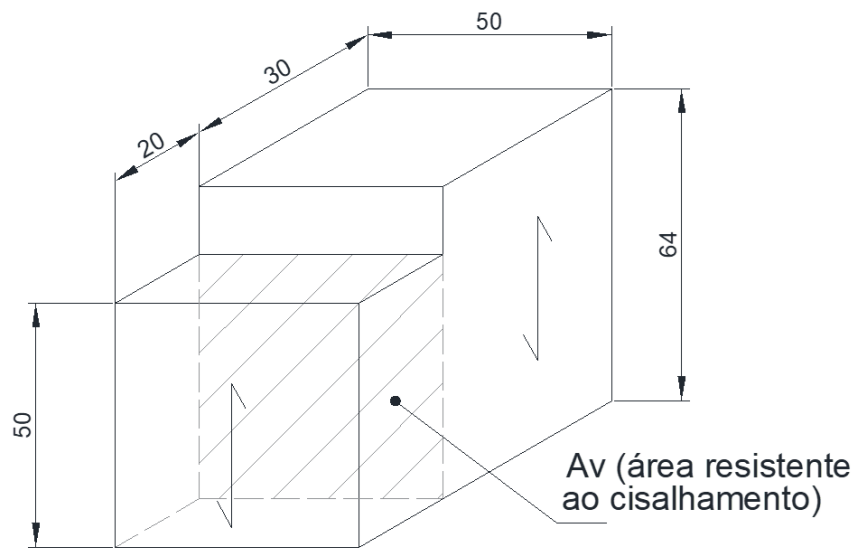
3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira (f_{v0}) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático, ou seja, pela razão da máxima força cisalhante aplicada ($F_{v0,máx}$) pela área inicial da seção crítica (A_{v0}) do corpo de prova prismático, conforme **Eq. 3.3**.

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,máx}}{A_{v0}} \quad \text{Eq. 3.3}$$

No total foram ensaiados 20 corpos de prova por espécie (12) e para cada plano de aplicação da força (longitudinal tangencial – LT; longitudinal radial - LR) [2], sendo assim obtidos 480 valores amostrais no total. Além disso, com relação às medidas do corpo de prova, suas arestas foram aferidas com o auxílio de paquímetro com precisão de 0,01 mm, e sua representação foi disponibilizada na Figura 3.3. Já o arranjo do ensaio pode ser conferido com detalhe na Figura 3.4, além do corpo de prova em situação de ensaio estar representado na Figura 3.5. Por fim, o carregamento foi aplicado de forma monotônica crescente, correspondente a uma taxa de 2,5 MPa/min.

Figura 3.3: Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento com medidas em milímetro (mm)

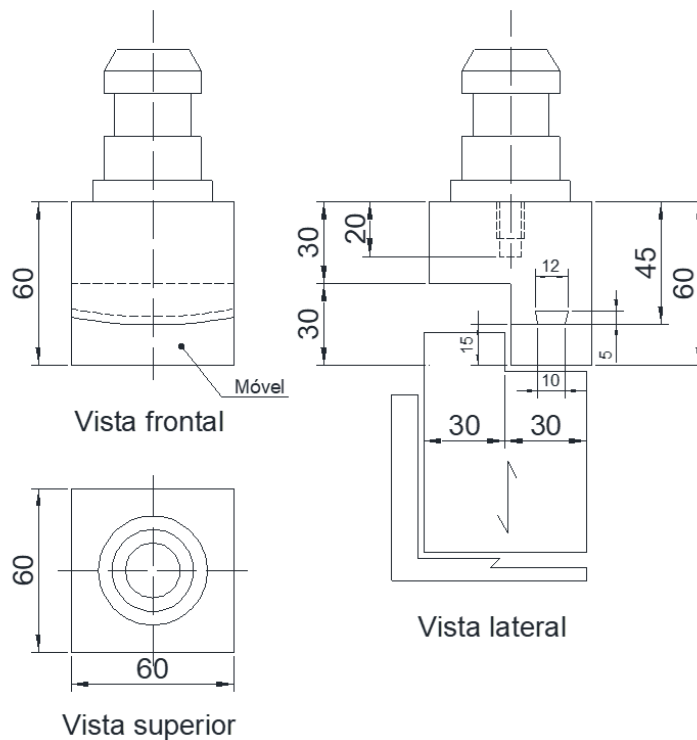


Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Ademais, o cálculo do valor característico de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) será estimado de acordo com o que estipula a ABNT NBR 7190 (1997) através da **Eq. 3.4**, onde os resultados de resistência dos CPs devem ser colocados em ordem crescente $f_{v0,1} \leq f_{v0,2} \leq \dots \leq f_{v0,n}$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar, além de não se tomar para $f_{v0,k}$ valor inferior a $f_{v0,1}$, nem a 70% da média dos resultados ($f_{v0,m}$).

$$f_{v0,k} = 1,1 \left(2 \frac{x_1 + x_2 + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) \quad \text{Eq. 3.4}$$

Figura 3.4: Arranjo do ensaio de cisalhamento paralelo em milímetros



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Figura 3.5: Ensaio de cisalhamento com corpo de prova de Caixeta



Fonte: Acervo da pesquisa

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA

Segundo a norma ABNT NBR 7190 (1997), a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado (base e altura) e 15,0 cm de comprimento (paralelo às fibras), ou seja, a razão da máxima força de compressão aplicada ($F_{c0,máx}$) pela

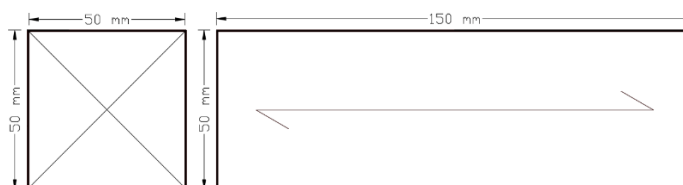
área inicial da seção transversal comprimida (A) do corpo de prova prismático quadrado, conforme a **Eq. 3.5** apresentada.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A} \quad \text{Eq. 3.5}$$

Com relação às medidas do corpo de prova, suas arestas foram aferidas com o auxílio de paquímetro com precisão de 0,01 mm, e sua representação foi disponibilizada na Figura 3.6. Já o arranjo do ensaio pode ser conferido com detalhe na Figura 3.7, além do corpo de prova em situação de ensaio estar ilustrado na Figura 3.8.

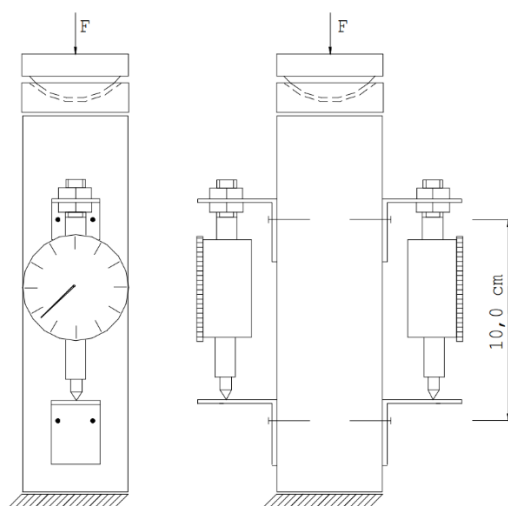
Com relação ao procedimento de ensaio, apenas a f_{c0} foi determinada com o único intuito de se obter as classes de resistência das espécies do trabalho, assim, sem valores de rigidez determinados. Cabe destacar também que o carregamento de ensaio foi aplicado de forma monotônica crescente, correspondente a uma taxa de 10 MPa/min, conforme indicado na ABNT NBR 7190 (1997).

Figura 3.6: Corpo de prova para o ensaio de compressão com medidas em milímetro (mm)



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7190 (1997)

Figura 3.7: Arranjo do ensaio de Compressão paralela



Fonte: Adaptado da ABNT PNBR 7190 (1997)

Figura 3.8: Ensaio de compressão paralela com o corpo de prova de Tauari



Fonte: Acervo da pesquisa

Sabe-se que para a classificação das espécies em classes de resistência, faz-se necessário que seu valor característico de resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) seja conhecido. Logo, o valor característico de cada espécie foi estimado de acordo com o que estipula a ABNT NBR 7190 (1997) através da **Eq. 3.6**, onde os resultados de resistência dos CPs devem ser colocados em ordem crescente $f_{c0,1} \leq f_{c0,2} \leq \dots \leq f_{c0,n}$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar, além de não se tomar para $f_{c0,k}$ valor inferior a $f_{c0,1}$, nem a 70% da média dos resultados ($f_{c0,m}$).

$$f_{c0,k} = 1,1 \left(2 \frac{x_1 + x_2 + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) \quad \text{Eq. 3.6}$$

Portanto, foram utilizados 20 CPs para a determinação da resistência na compressão paralela às fibras da madeira de cada espécie, de um total de 12. Deste modo, 240 valores amostrais foram encontrados, e 12 valores característicos determinados.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, foi utilizada para avaliar a influência do plano de aplicação da força (longitudinal tangencial – LT; longitudinal radial - LR) em relação aos anéis de crescimento no cálculo da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) das doze espécies de madeira ensaiadas.

Pela formulação da ANOVA, P-valor (probabilidade p) menor do que o nível de significância adotado (0,05) implica que as médias dos valores da f_{v0} referentes aos dois níveis (LT, LR) investigados são consideradas estatisticamente diferentes, e equivalentes em caso contrário (P-valor $\geq 0,05$).

Já os testes de Anderson Darling (AD) e o de comparações múltiplas (CM) foram utilizados para verificar as premissas de normalidade e de igualdade de variâncias, respectivamente, com ambos avaliados também ao nível de 5% de significância. Logo, pela formulação dos referidos testes, P-valor maior ou igual ao nível de significância implica no atendimento das premissas da ANOVA, e no não atendimento em caso contrário. Por fim, com o intuito de agrupar os valores médios das espécies tanto para os resultados de cisalhamento, como para os de compressão e densidade aparente, o teste de Tukey a um nível de 5% de significância foi realizado, sendo que valores acompanhados da mesma letra são tomados como estatisticamente equivalentes, e de letras diferentes, o contrário.

Cabe destacar também que foram fabricados vinte corpos de prova por espécie de madeira (12) e para cada plano (2) de aplicação de força, o que totalizou em 480 valores de resistência ao cisalhamento. Por fim, também foram realizadas estatísticas descritivas para os resultados da $\rho_{ap,12\%}$ e f_{c0} , tendo sido confeccionados 20 CPs por espécie e por tipo de ensaio, resultando assim em 240 valores de densidade aparente e também em 240 valores de resistência na compressão paralela. Vale também ressaltar que todos os corpos de prova foram confeccionados em consonância com as recomendações da ABNT NBR 7190 (1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir foram apresentados todos os resultados obtidos para a densidade aparente, resistência ao cisalhamento paralelo e para a resistência à compressão paralela às fibras das madeiras estudadas. Vale destacar que com relação aos ensaios de umidade, todos os corpos de prova ensaiados se encontraram com o teor de umidade de 12% conforme recomendado pela ABNT NBR 7190 (1997).

4.1 DENSIDADE APARENTE

A Tabela 4.1 apresenta os valores médios (\bar{x}) e o coeficiente de variação (CV) da densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$) por espécie de madeira. Essa mesma tabela ainda apresenta letras entre parênteses, que é o resultado obtido para o teste de Tukey realizado ao nível de 5% de significância, que aponta se as médias das espécies são estatisticamente equivalentes ou não, sendo que letras iguais indicam médias significativamente equivalentes entre as espécies, enquanto que letras diferentes indicam o contrário.

Tabela 4.1: Estatísticas descritivas dos resultados da densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$).

Espécies	\bar{x} (kg/m ³)	CV (%)
Roxinho	1013,00 (A)	4,00
Tatajuba	903,10 (B)	1,51
Pequiá	873,77 (C)	1,66
Jatobá	871,85 (C)	2,58
Cupiúba	860,63 (C)	2,84
Breu-vermelho	789,65 (D)	4,02
Peroba-rosa	776,12 (D)	0,51
Louro Preto	686,75 (E)	2,71
Cambará-rosa	682,00 (E)	5,00
Angelim-pedra	629,00 (F)	6,00
Tauari	505,00 (G)	3,00
Caixeta	437,00 (H)	5,00

Fonte: Acervo da pesquisa

A respeito dos valores médios da densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$) apresentados na Tabela 4.1, a madeira de Roxinho exibiu um valor médio de densidade aparente (1013,00 kg/m³) parecido com o encontrado por Azevedo e Nascimento (1999) [1008 kg/m³] e Almeida (2017) [970 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne* sp., Duarte (2017) [940 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne recifenses*, Alves (2012) [930 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne confertiflora* e Nascimento *et al.* (1997) [910 Kg/m³] para a espécie de *Peltogyne paradoxo* Ducke.

Porém, o valor aqui encontrado para a madeira de Roxinho foi diferente do apresentado por Ribeiro *et al.* (2019) [830 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne confertiflora*, de Reis (2017) [810 kg/m³] e Rodrigues *et al.* (2014) [810 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne paniculata* Benth. O valor dessa pesquisa também se diferiu bastante do encontrado em IPT (2021h) [890 kg/m³] para a espécie de *Peltogyne confertiflora*, porém nesse caso a madeira se encontrava a um teor de umidade de 15%. Assim, conclui-se que o resultado dessa pesquisa foi confirmado por parte dos valores encontrados na literatura.

Subsequentemente, a madeira de Tatajuba exibiu um valor médio de densidade aparente (903,10 kg/m³) razoavelmente similar ao encontrado na norma ABNT NBR 7190 (1997) [940 kg/m³], Dias e Lahr (2004) [945 kg/m³], Duarte (2017) [950 kg/m³], e Lima *et al.* (2018) [940 kg/m³] para a região de Bonfim do Sul, e um pouco mais distante do encontrado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) [809 kg/m³], e Lima *et al.* (2018) [810 kg/m³] para a região de Alta Floresta, e ainda mais distante do apresentado por Almeida (2017) [740 kg/m³]. Sendo assim, o valor dessa pesquisa foi confrontado com a literatura e consequentemente validado.

Ao se prosseguir, a respeito da espécie de Pequiá, o valor médio encontrado para a sua densidade aparente (873,77 kg/m³) foi razoavelmente parecido com o determinado por Lanini (2018) [758 kg/m³]. Já a madeira de Jatobá exibiu valor médio de densidade aparente (871,85 kg/m³) razoavelmente equivalente aos encontrados pela ABNT NBR 7190 (1997) [1074kg/m³] para a espécie de *Hymenaea* spp., Dias e Lahr (2004) [1084 kg/m³] para a espécie de *Hymenaea* sp. e Lahr *et al.* (2016b) para três regiões diferentes de extração [1050 kg/m³; 1080kg/m³; 910 kg/m³]. Portanto, sendo assim validados os valores encontrados para a espécie de Pequiá e Jatobá através de comparativo com trabalhos da literatura encontrados.

Dando continuidade, a espécie de Cupiúba apresentou valor médio de densidade aparente (860,63 kg/m³) similar ao encontrado por Duarte (2017) [860 kg/m³] e próximo também dos resultados exibidos pela ABNT NBR 7190 (1997) [838kg/m³], Dias e Lahr (2004) [839 kg/m³] e Sales, Candian e Cardin (2011) [954,10 kg/m³], sendo então validado o valor encontrado nessa pesquisa. Já com relação à espécie de Breu-vermelho, o seu valor médio de densidade aparente foi igual a 789,65 kg/m³, se diferindo bastante do intervalo de valor afirmado por Tomazello Filho, Chimelo e Garcia (1983) [500 a 600 kg/m³] para a espécie de *Protium puncticulatum* (Breu-vermelho) e Araújo (2007) [550 kg/m³] para a espécie *Protium heptaphyllum* (Aubl.), sendo o único valor encontrado para essa espécie na literatura.

Com relação à espécie de Peroba-rosa, esta apresentou um valor médio de densidade aparente (776,12 kg/m³) bem próximo ao encontrado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) [726 kg/m³] e Lanini (2018) [751 kg/m³], e mais distante do determinado por Lobão *et al.* (2011) [620 kg/m³] e Carvalho (2019) [573 kg/m³]. Da mesma maneira, a espécie de Louro-preto apresentou um valor médio de densidade aparente (686,75 kg/m³) similar ao encontrado pela ABNT NBR 7190 (1997) [684 kg/m³] e Dias e Lahr (2004) [680 kg/m³], corroborando o valor aqui encontrado.

Na sequência a madeira de Cambará-rosa também foi ensaiada e obteve um valor médio de densidade aparente (682 kg/m³) próximo do apresentado por Almeida (2017) [700 kg/m³] e Lahr *et al.* (2016a) [680 kg/m³], e um pouco menos próximo dos determinados por ABNT NBR 7190 (1997) [544kg/m³], Dias e Lahr (2004) [544 kg/m³]. Logo, de uma forma geral o resultado dessa pesquisa foi valido pelos encontrados na literatura.

Em seguida, o valor encontrado para a espécie de Angelim-pedra (629 kg/m³) foi semelhante com os disponibilizados pela ABNT NBR 7190 (1997) [694kg/m³] e Dias e Lahr (2004) [663kg/m³], validando assim o resultado aqui encontrado, apesar do valor determinado pelo IPT (2021a) [710 kg/m³] ser um pouco mais distante.

A seguir, o valor de densidade aparente encontrado para a espécie de Tauari (505 kg/m³) foi próximo do determinado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) para a espécie de *Couratari oblongifolia* [551 kg/m³], porém mais distante do valor encontrado para a espécie de *Couratari stellata* [738 kg/m³]. O resultado dessa pesquisa também se diferenciou bastante do

encontrado por Lanini (2018) para a espécie de *Couratari* spp. [763 kg/m³] e do encontrado pelo IPT (2021j) [610 kg/m³] para a espécie de *Couratari oblongifolia*. Portanto, o valor dessa pesquisa se aproximou mais do apresentado por Jesus, Logsdon e Finger (2015), validando assim o resultado aqui encontrado.

Por último, o valor de densidade aparente encontrado para a espécie de Caixeta (437 kg/m³) foi próximo do encontrado por Almeida (2017) [400 kg/m³], Duarte (2017) [410 kg/m³], IPT (2021b) [440 kg/m³] e Teles (2014) [400 kg/m³], apesar de ser um pouco mais distante do apresentado por Santos e Del Menezzi (2010) [370 kg/m³]. Portanto, os valores encontrados na literatura validam o valor aqui encontrado.

A Tabela 4.1 ainda traz quais espécies possuem valores médios de densidade aparente estatisticamente equivalentes entre si, onde essas espécies foram agrupadas da seguinte forma: Pequiá = Jatobá = Cupiúba; Breu-vermelho = Peroba-rosa; Louro preto = Cambará-rosa. Nota-se então que as demais espécies foram estatisticamente diferentes umas das outras. Já com relação aos valores encontrados para o coeficiente de variação, o maior valor determinado foi para a espécie de Angelim-pedra (6%), indicando a pouca variação entre os elementos das amostras analisadas.

4.2 COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

A Tabela 4.2 apresenta os resultados médios da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) das espécies do trabalho com os seus respectivos coeficientes de variação (CV), além de trazer também os seus valores característicos ($f_{c0,k}$), calculados conforme **Eq. 3.6** já mencionada, assim, possibilitando que se determinasse à qual classe de resistência cada espécie é pertencente, conforme pode ser conferido na última coluna da tabela referida.

Essa mesma tabela ainda apresenta letras entre parênteses, que é o resultado obtido para o teste de Tukey realizado ao nível de 5% de significância, que aponta se as médias das espécies são estatisticamente equivalentes ou não, sendo que letras iguais indicam médias significativamente equivalentes entre as espécies, enquanto que letras diferentes indicam o contrário.

Tabela 4.2: Estatísticas e determinações acerca da resistência na compressão paralela

Espécies	f_{c0} (MPa)	CV (%)	$f_{c0,k}$ (MPa)	Classe de resistência
Jatobá	93,72 (A)	7,10	82,70	D60
Roxinho	89,90 (A)	12,60	68,30	D60
Breu-vermelho	89,70 (A)	7,00	85,00	D60
Tatajuba	77,00 (B)	17,00	58,20	D50
Peroba-rosa	62,40 (C)	13,00	45,00	D40
Cupiúba	61,00 (CD)	16,00	43,60	D40
Angelim-pedra	56,40 (CDE)	11,00	43,35	D40
Louro-preto	54,00 (DE)	9,50	45,60	D40
Pequiá	52,00 (E)	9,00	37,00	D30
Tauari	51,50 (E)	10,00	39,00	D30
Cambará-rosa	42,00 (F)	13,50	32,00	D30
Caixeta	32,00 (G)	6,00	22,70	D20

Fonte: Acervo da pesquisa

A respeito dos valores médios da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) apresentados na Tabela 4.2, o valor encontrado para a espécie de Jatobá (93,72 MPa) foi semelhante aos disponibilizados pela ABNT NBR 7190 (1997) [93,3 MPa] para a espécie *Hymenaea* spp., por Araújo (2007) [94,73 MPa] para a espécie *Hymenaea parvifolia*, Dias e Lahr (2004) [91 MPa] para a espécie *Hymenaea* sp., IPT (2021e) [82,20 MPa] para um teor de umidade de 15%] para a espécie de *Hymenaea* spp. e Lahr *et al.* (2016b) [93,91 MPa]; 93,42 MPa; 94,38 MPa] para a espécie *Hymenaea stilbocarpa* de três regiões diferentes, porém mais distante do apresentado por Araújo (2007) [75,81 MPa] para a espécie de *Hymenaea Courbaril*. Por fim, Almeida *et al.* (2011) ainda classificou a espécie de *Hymenaea* sp. como sendo de classe de resistência D60, estando de acordo com os resultados aqui encontrados, de forma a validá-los.

A seguir, o valor encontrado para a espécie de Roxinho (89,90 MPa) nesta pesquisa foi semelhante aos disponibilizados por Almeida (2017) [86 MPa] para a espécie *Peltogyne* sp., Araújo (2007) [90,52 MPa] para a espécie de *Peltogyne paniculata* e IPT (2021h) [84,1 MPa] para um teor de umidade de 15%] para a espécie de *Peltogyne confertiflora*, apesar de se distinguir do resultado apresentado por Duarte (2017) [72 MPa] para a espécie *Peltogyne recifenses*. Ainda no trabalho de Almeida (2017), a espécie de Roxinho foi classificada na classe de resistência D60, assim como nessa pesquisa, indicando mais uma vez que os valores aqui encontrados se aproximam de outras pesquisas.

Em seguida, o valor encontrado para a espécie de Breu-vermelho (89,70 MPa) foi bem diferente do apresentado por Araújo (2007) [48,05 MPa] para a espécie de *Protium*

heptaphyllum (Aubl.), sendo esse o único valor encontrado na literatura para uma espécie que seja do mesmo gênero (*Protium*) da espécie aqui estudada.

Na sequência, a madeira de Tatajuba também foi ensaiada e obteve um valor médio de resistência na compressão paralela (77,00 MPa) próximo do apresentado pela ABNT NBR 7190 (1997) [79,50 MPa], Almeida (2017) [73,00 MPa], Araújo (2007) [78,55 MPa], Dias e Lahr (2004) [79,00 MPa], Duarte (2017) [80,00 MPa] e próximo também do encontrado por Lima *et al.* (2018) para a madeira de Bonfim do Sul [80,00 MPa] e mais distante do encontrado para a madeira de Alta Floresta [69,00 MPa].

Já seu valor característico de 58,20 MPa foi um pouco superior a 51 MPa encontrado por Almeida (2017), sendo que os dois valores levam a espécie de Tatajuba a ser enquadrada na classe de resistência D50. Entretanto, ambos os valores característicos citados (58,20 e 51 MPa) foram inferiores ao resultado de 64,62 MPa encontrado por Jesus, Logsdon e Finger (2015), que por sua vez levou a madeira de Tatajuba a ser compreendida na classe de resistência D60. Apesar dessa diferença nos resultados levar tal espécie a ser delimitada em classes de resistência diferentes, pode-se notar que os valores característicos da resistência na compressão paralela foram próximos, sendo que o valor aqui encontrado equivale a 90% do encontrado por Jesus, Logsdon e Finger (2015).

Já com relação à espécie de Peroba-rosa, esta apresentou um valor médio de resistência na compressão paralela (62,40 MPa) próximo ao encontrado por Carvalho (2019) [63,24 MPa], porém um pouco mais distante do determinado por Fiorelli & Dias (2002) [70,50 MPa] e IPT (2021g) [54,40 MPa para um teor de umidade de 15%]. Com relação ao valor característico da madeira de Peroba-rosa aqui encontrado (45,00 MPa), esse é condizente também com a classificação determinada por Carvalho (2019), onde tal pesquisa enquadra a espécie de Peroba-rosa como sendo de classe de resistência D40.

Porém, o valor característico encontrado nesta pesquisa (45,00 MPa) se difere bastante do determinado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) [64,98 MPa] para a espécie de *Aspidosmerma populifolium*, que é do mesmo gênero da investigada nesta pesquisa, e do encontrado por Lanini (2018) [69,00 MPa] para a mesma espécie deste trabalho. Sendo assim, a espécie de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) foi aqui classificada como de classe D40, assim como em Carvalho (2019), enquanto que em Lanini (2018) foi enquadrada como de classe D60, assim como a espécie de *Aspidosmerma populifolium* em Jesus, Logsdon e Finger (2015).

Dando continuidade, o valor médio da resistência na compressão paralela encontrado para a espécie de Cupiúba (61,00 MPa) foi bem parecido com o encontrado por Duarte (2017) [57,00 MPa], e razoavelmente equivalente ao apresentado pela ABNT NBR 7190 (1997) [54,40 MPa], Araújo (2007) [67,57 MPa] e Dias e Lahr (2004) [54,00 MPa]. O valor aqui encontrado (61,00 MPa) ainda foi bem diferente do determinado pelo IPT (2021d) [67,20 MPa]

se considerado o teor de umidade de 15% que os corpos de prova apresentaram. Por fim, não foi encontrado qualquer valor característico divulgado para essa espécie.

Subsequentemente, nesta pesquisa a madeira de Angelim-pedra exibiu um valor médio de resistência na compressão paralela (56,40 MPa) similar ao encontrado pela ABNT NBR 7190 (1997) [59,80 MPa], Araújo (2007) [52,27 MPa], Dias e Lahr (2004) [58,00 MPa] e IPT (2021a) [52,30 MPa], demonstrando assim a validade do valor encontrado nesta pesquisa. Já com relação ao valor característico de resistência na compressão para essa espécie, não foram encontrados valores divulgados na literatura.

Ao se prosseguir, a espécie de Louro-preto apresentou um valor médio de resistência na compressão paralela (54,00 MPa) próximo ao encontrado pela ABNT NBR 7190 (1997) [56,50 MPa], Couto *et al.* (2020) [52,90 MPa] e Dias & Lahr (2004) [55,00 MPa], porém mais distantes dos apresentados por Araújo (2007) [63,45 MPa; 61,98 MPa] para duas espécies não identificadas do gênero *Ocotea*. Ademais, Couto *et al.* (2020) apresentaram uma relação, na qual o valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo representa 19% do valor característico da resistência na compressão paralela para a espécie de Louro-preto, sendo que a ABNT NBR 7190 recomenda que se adote 12% para espécies do grupo das folhosas.

Já com relação à espécie de Pequiá, esta apresentou um valor médio de resistência na compressão paralela (52,00 MPa) equivalente a 78% do encontrado por Araújo (2007) [67,00 MPa], porém igual a 129% do determinado por Silva *et al.* (2020) [40,29 MPa]. Já com relação ao seu valor característico (37,00 MPa) aqui encontrado, que enquadra tal espécie na classe de resistência D30, esse foi equivalente a 80% do valor determinado por Lanini (2018) [46,48 MPa], que classifica a espécie de Pequiá como de classe de resistência D40, enquanto que Silva *et al.* (2020) encontrou um valor característico de 31 Mpa, que faz com que a espécie seja enquadrada na classe D30, assim como nesta pesquisa.

Na sequência a madeira de *Couratari* sp. (Tauari) também foi ensaiada e obteve um valor médio de resistência na compressão paralela (51,50 MPa) bem parecido com o encontrado por Araújo (2007) para a espécie de *Couratari guianensis* [53,94 MPa], porém mais distante do determinado para as espécies de *Couratari oblongifolia* [44,62 MPa] e *Couratari stellata* [69,14 MPa]. Ademais, o valor aqui encontrado (51,50 MPa) ainda foi equivalente a 110% do apresentado pelo IPT (2021j) para a espécie de *Couratari oblongifolia* [46,80 MPa], evidenciando uma proximidade entre esses valores.

Com relação ao valor característico da resistência na compressão paralela (39,00 MPa) determinado nesta pesquisa e que levou tal espécie de Tauari a ser enquadrada como de classe de resistência D30, Jesus, Logsdon e Finger (2015) encontraram um valor semelhante para a espécie de *Couratari oblongifolia* [42,64 MPa] e um mais distante para a espécie de *Couratari stellata* [66,59 MPa], levando a pesquisa a classificar essas duas espécies nas classes de resistência D40 e D60, respectivamente. Da mesma forma, Lanini

(2018) encontrou um valor característico para espécies não identificadas do gênero *Couratari* (*Couratari* spp.) igual a 62 MPa, classificando assim a espécie como sendo de classe de resistência D60.

Na sequência, a madeira de Cambará-rosa também foi testada e obteve um valor médio de resistência na compressão paralela (42,00 MPa) equivalente a 111% do apresentado pela ABNT NBR 7190 (1997) [37,80 MPa] e por Dias & Lahr (2004) [38,00 MPa], e 124% do encontrado por Lahr *et al.* (2016a) [34,00 MPa], porém igual a 88% do determinado por Duarte (2017) [48,00 MPa], 85% do apresentado por Araújo (2007) [49,72 MPa] e 71% do resultado disponibilizado por Almeida (2017) [59,00 MPa], sendo que essa última pesquisa ainda classifica a espécie de Cambará-rosa como sendo de classe de resistência D40, diferentemente da classificação aqui encontrada (D30). Por último, ainda foi encontrado o resultado médio da resistência na compressão paralela disponibilizado pelo IPT (2021c) [42,20 MPa] para corpos de prova com teor de umidade de 15%.

Por fim, é apresentado o último valor médio para a resistência na compressão paralela da Tabela 4.2, que se trata do resultado encontrado para a madeira de Caixeta (32,00 MPa), que é equivalente ao encontrado por Almeida (2017) [30,00 MPa], Araújo (2007) [33,05 MPa], Duarte (2017) [31,00 MPa] e IPT (2021b) [33,00 MPa], sendo que nenhum valor característico foi encontrado na literatura para essa espécie, que aqui nesta pesquisa foi enquadrada como sendo da classe de resistência D20 ($f_{c0,k} = 22,70$ MPa).

A Tabela 4.2 ainda traz quais espécies possuem valores médios de resistência na compressão paralela estatisticamente equivalentes entre si (teste de Tukey), onde essas espécies foram agrupadas da seguinte forma: Jatobá = Roxinho = Breu-vermelho; Peroba-rosa = Cupiúba = Angelim-pedra; Cupiúba = Angelim-pedra = Louro-preto; Angelim-pedra = Louro-preto = Pequiá = Tauari. Nota-se então que as demais espécies foram estatisticamente diferentes umas das outras.

Já com relação aos valores encontrados para o coeficiente de variação, o maior valor determinado foi para a espécie de Tatajuba (17%), valor esse que atende à calibração da norma (máximo de 18%) com relação à estimativa de resistências às solicitações normais ($f_{t0,k}$; $f_{c90,k}$; $f_{tM,k}$; $f_{e0,k}$; $f_{e90,k}$), sendo que tal estimativa é realizada a partir do valor da resistência na compressão paralela (f_{c0} ou $f_{c0,m}$) para caracterização simplificada de espécies conhecidas.

4.3 CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS

A Tabela 4.3 apresenta os valores médios (\bar{x}) e o coeficiente de variação (CV) da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) por espécie de madeira e por plano de aplicação da força em relação aos anéis e crescimento. Já a Tabela 4.4 traz as mesmas informações que a Tabela 4.3, porém considerando a média dos resultados amostrais entre os dois planos

analisados, sendo que o valor característico determinado nessa tabela se deu também a partir da junção dos resultados amostrais encontrados nos dois planos de aplicação de força.

É importante destacar também que essas duas tabelas citadas apresentam o resultado do teste Tukey, que foi realizado junto da análise de variância, essa última apresentada em outra tabela mais à frente. Então para os resultados do teste de Tukey, mesma letra indicou equivalência entre médias, e letras diferentes mostra a não equivalência entre os resultados das espécies e planos investigados.

Tabela 4.3: Estatística dos resultados da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) de cada espécie e plano de análise

Espécie	Plano longitudinal tangencial (LT)		Plano longitudinal radial (LR)	
	\bar{x} (MPa)	CV (%)	\bar{x} (MPa)	CV (%)
Jatobá	25,17 (AB)	13,16	26,17 (A)	10,37
Breu-vermelho	22,62 (BC)	13,08	22,67 (BC)	9,93
Tatajuba	20,83 (CDE)	14,69	21,67 (CD)	12,94
Peroba-rosa	19,83 (CDEF)	12,52	19,50 (DEF)	16,46
Pequiá	18,33 (EFG)	12,75	18,83 (DEF)	19,99
Roxinho	18,17 (EFG)	15,02	17,57 (FG)	7,23
Cupiúba	17,07 (FG)	12,71	17,00 (FG)	12,34
Louro-preto	15,47 (GH)	24,52	17,00 (FG)	12,34
Cambará-rosa	13,81 (HI)	15,39	9,97 (KL)	18,20
Tauari	11,73 (IJKL)	8,64	12,97 (HIJ)	3,42
Caixeta	9,50 (L)	9,74	10,38 (JKL)	7,79
Angelim-pedra	6,36 (M)	21,27	12,68 (HIJK)	3,94

Fonte: Acervo da pesquisa

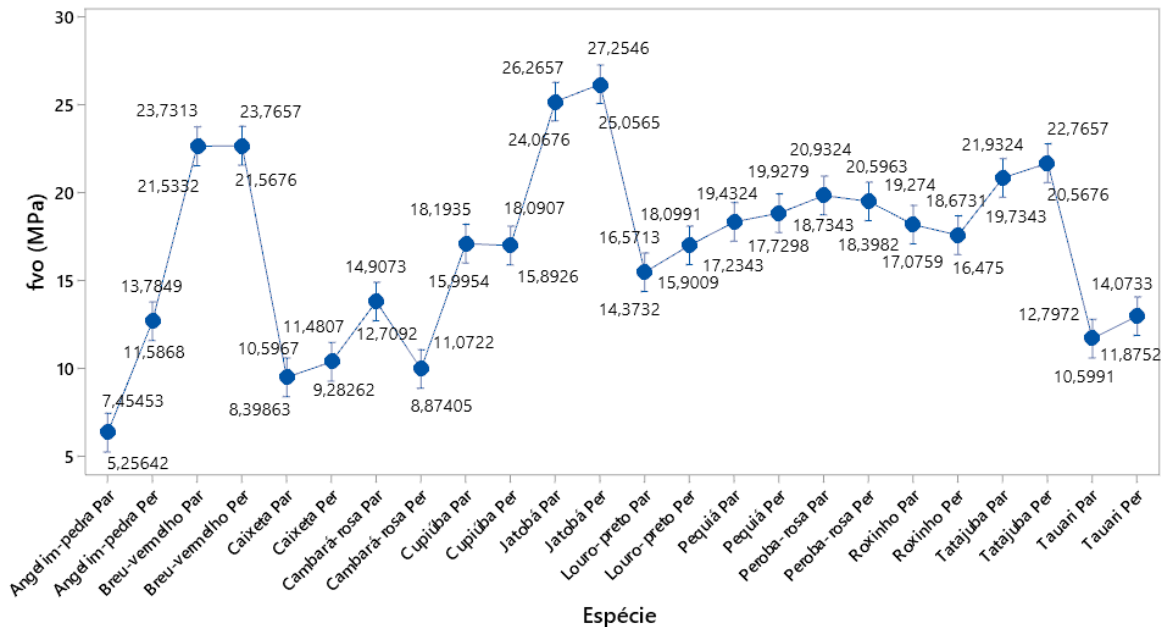
Tabela 4.4: Estatística dos resultados da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) considerando os dois planos de análise

Espécie	Média entre o plano LT e LR		$f_{v0,k}$ (MPa)
	\bar{x} (MPa)	CV (%)	
Jatobá	25,67 (A)	11,79	21,30
Breu-vermelho	22,65 (B)	11,44	19,10
Tatajuba	21,25 (BC)	13,75	19,30
Peroba-rosa	19,67 (CD)	14,42	16,40
Pequiá	18,58 (DE)	16,66	15,10
Roxinho	17,87 (DEF)	11,87	15,80
Cupiúba	17,04 (EF)	12,37	14,60
Louro-preto	16,24 (F)	19,21	10,50
Cambará-rosa	11,89 (GH)	23,12	8,60
Tauari	12,35 (G)	8,15	11,40
Caixeta	9,94 (HI)	9,71	8,60
Angelim-pedra	9,52 (I)	35,33	5,50

Fonte: Acervo da pesquisa

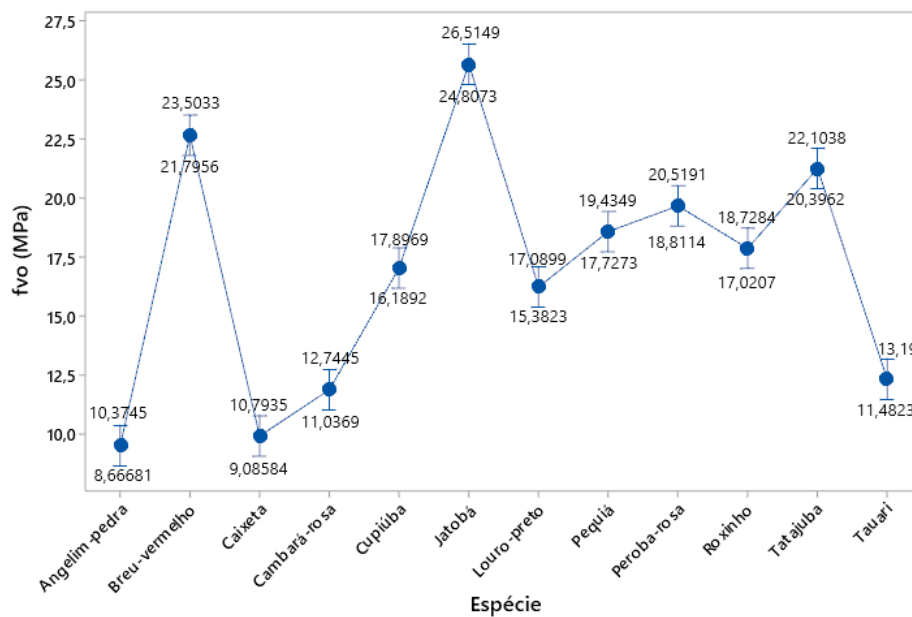
Já com o intuito de se proporcionar uma melhor visão dos resultados médios da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) das madeiras dessa pesquisa, tais resultados foram disponibilizados também em dois gráficos que demonstram o índice de confiança ao nível de 95% para as médias já apresentadas na Tabela 4.3 e Tabela 4.4. Assim, o gráfico da Figura 4.1 destaca o intervalo de confiança para o valor médio da f_{v0} por espécie e plano de aplicação de força, sendo que os planos são o longitudinal tangencial (LT) ou também chamado de direção paralela aos anéis de crescimento – Par, e plano longitudinal radial (LR) que é também chamado de direção perpendicular aos anéis de crescimento – Per. Diferentemente, o gráfico da Figura 4.2 demonstra o intervalo de confiança dos valores da média de f_{v0} por espécie e para as duas direções analisadas de forma conjunta, então resultando em uma única média por espécie.

Figura 4.1: Gráfico do intervalo de confiança da f_{v0} por espécie e direção de aplicação da força



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 4.2: Gráfico do Intervalo de confiança para os valores médios da f_{v0} sem distinção de direção



Fonte: Acervo da pesquisa

Cabe lembrar também que quando se utiliza a nomenclatura LT, se diz respeito ao plano de aplicação de carga que corresponde então a uma carga aplicada na longitudinal, ou seja, paralela às fibras, enquanto que essa mesma carga está orientada na direção tangencial da seção transversal do corpo de prova. Da mesma forma, o plano LR diz respeito a uma carga apontada na direção longitudinal do espécime (direção paralela às fibras da madeira),

enquanto que essa mesma carga está também orientada na direção radial da seção, formando assim o plano LR de aplicação de carregamento.

Além disso, quando se fala em resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, já se supõe que a carga está sempre aplicada paralelamente às fibras, então em alguns momentos pode-se falar apenas na direção de aplicação de força ao invés de se falar no plano de carregamento, como é o caso da direção radial, que é também chamada de direção perpendicular aos anéis de crescimento (Per) na Figura 4.1 e Figura 4.2, ou ainda o caso da direção tangencial da seção transversal dos espécimes, que na Figura 4.1 e Figura 4.2 é chamada também de direção paralela aos anéis de crescimento (Par). Logo, fica claro que a resistência ao cisalhamento encontrada no plano LT é a mesma coisa que a resistência ao cisalhamento paralelo encontrada com a carga aplicada na direção tangencial da seção transversal. De mesma maneira, a resistência ao cisalhamento encontrada no plano LR significa a mesma coisa da resistência ao cisalhamento paralelo ser encontrada com a aplicação de carga na orientação radial da seção.

Assim, a respeito dos valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) apresentados na Tabela 4.3, o valor encontrado para a espécie de Angelim-pedra para os planos LT (6,36 MPa) e LR (12,68 MPa) são significativamente diferentes do encontrado pela ABNT NBR 7190 (1997) [8,80 MPa], sendo que o valor do plano LT se aproximou mais, enquanto que o do plano LR foi equivalente a 144% do valor da norma.

Porém, também foi observado que quando se fez a média entre os valores do plano LT e LR, encontrou-se um valor (9,52 MPa) [Tabela 4.4] mais próximo ainda do apresentado pela norma brasileira (8,80 MPa). De maneira intuitiva faz todo sentido que esse valor de 9,52 MPa se aproxime mais da norma, visto que, se os corpos de prova dos ensaios da norma foram obtidos de maneira aleatória sem que se preocupasse com a orientação dos anéis de crescimento, tem-se a probabilidade desses corpos de prova terem sido ensaiados tanto no plano LT quanto no LR, o que por sua vez pode ter levado a um valor mais próximo da média entre os dois planos.

Diferentemente, quando os valores de f_{v0} no plano LT (6,36 MPa) e LR (12,68 MPa) foram comparados com o valor da f_{v0} apresentado por Araújo (2007) [12,26 MPa], Dias e Lahr (2004) [13,30 MPa] e IPT (2021a) [12,3 MPa], o valor que mais se aproximou foi o do plano LR (12,68 MPa), o que pode induzir o raciocínio de que nesse caso foram utilizados mais corpos de prova cisalhados no plano LR, além é claro de possíveis variações na estrutura da madeira proporcionadas pelo clima e região de plantio/crescimento das árvores das amostras, maneira de extração dos corpos de prova e etc. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 5,50$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação para o plano longitudinal tangencial (LT) de

$f_{v0T,k}/f_{c0,k} = 0,10$ e outra para o longitudinal radial (LR) de $f_{v0R,k}/f_{c0,k} = 0,30$ em contrapartida da relação apresentada pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Já com relação aos valores de resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) encontrados a partir da espécie de Breu-vermelho para os planos LT (22,62 MPa) e LR (22,67 MPa), esses foram bem maiores que o encontrado em Araújo (2007) [9,81 MPa] para a espécie de mesmo gênero: *Protium heptaphyllum* (Aubl.). Vale ressaltar que não foi possível realizar um comparativo mais amplo, visto que não foram encontrados mais resultados nos portais e revistas investigadas. Porém, os resultados praticamente iguais entre os planos LT e LR sugerem que a estrutura anatômica dessa espécie não interfere na resistência ao cisalhamento paralelo. Por último, é recomendado ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,22$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Subsequentemente, a respeito dos valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Caixeta nos planos LT (9,50 MPa) e LR (10,38 MPa), pode-se dizer que os valores não variaram de forma substancial de acordo com o plano empregado. Na comparação com outros autores, os valores encontrados nessa pesquisa foram maiores que o encontrado por Araújo (2007) [6,96 MPa], Duarte (2017) [6 MPa] e IPT (2021b) [7 MPa]. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 8,60$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,38$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Ao se prosseguir, com relação aos valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Cambará-rosa nos planos LT (13,81 MPa) e LR (9,97 MPa), pode-se constatar que houve uma variação notável entre os planos de ensaio, sendo o plano LT o mais resistente. Quando comparados com resultados da literatura, os valores dessa pesquisa variaram significativamente do encontrado na ABNT NBR 7190 (1997) [5,8 MPa] e em Araújo (2007) [7,85 MPa], principalmente quando comparados com o valor encontrado no plano LT, que foi equivalente a 238 % e 176 % ao valor apresentado pela ABNT NBR 7190 (1997) e Araújo (2007), respectivamente.

Nesse mesmo sentido, o valor apresentado pelo IPT (2021c) [7,4 MPa] foi bem distante dos valores encontrados nessa pesquisa, porém os corpos de prova foram ensaiados em condição de madeira verde, ou seja, com a resistência subestimada. Já com relação ao trabalho de Dias e Lahr (2004) [9,6 MPa] e Duarte (2017) [9 MPa], os valores encontrados por eles se aproximaram bastante do encontrado no plano LR (9,97 MPa), mas ainda bastante distantes do valor encontrado no plano LT (13,81 MPa). Inversamente, o valor encontrado por Lahr *et al.* (2016a) [14 MPa] se aproximou bastante da f_{v0} no plano LT (13,81 MPa). Já acerca

do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 8,60$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação para o plano LT de $f_{v0T,k}/f_{c0,k} = 0,36$ e outra para o LR de $f_{v0R,k}/f_{c0,k} = 0,22$ em contrapartida da relação apresentada pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Já no que diz respeito aos valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Cupiúba nos planos LT (17,07 MPa) e LR (17 MPa), pode-se inferir que os valores foram praticamente iguais, não havendo variação de um plano para o outro. Já no que tange a comparação com outros autores, os valores encontrados nessa pesquisa foram equivalentes a até 164% que o encontrado pela ABNT NBR 7190 (1997) [10,40 MPa], porém bastante parecidos com o encontrado por Dias e Lahr (2004) [17,1 MPa] e Duarte (2017) [18 MPa]. Por último, os valores encontrados nessa pesquisa ainda foram substancialmente superiores ao encontrado por Araújo (2007) [14,51 MPa]. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 14,60$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,33$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Ao se dar continuidade, os valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Jatobá nos planos LT (25,17 MPa) e LR (26,17 MPa) não variaram de forma substancial de acordo com o plano empregado. No que diz respeito à comparação com outros autores, os valores encontrados nessa pesquisa foram equivalentes a até 167% do valor apresentado pela ABNT NBR 7190 (1997) [15,70 MPa], e consideravelmente superiores ao apresentado por Araújo (2007) [19,02 MPa] para a espécie de *Hymenaea courbaril*, porém bastante similares ao valor encontrado por Dias e Lahr (2004) [25,50 MPa] e Araújo (2007) [23,14 MPa] para a espécie de *Hymenaea parvifolia*, e Lahr *et al.* (2016b) para três regiões diferentes de extração (24,70MPa; 28 MPa; 26,69 MPa).

Por último ainda pode ser citado o valor apresentado pelo IPT (2021e) [17,50 MPa] para a madeira em condição verde (teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras), ou seja, com a sua resistência subestimada e conseqüentemente bem abaixo dos valores aqui apresentados. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 21,30$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,26$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$ para a espécie de Jatobá.

Na sequência, a respeito dos valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Louro-preto nos planos LT (15,47 MPa) e LR (17

MPa), pode-se observar que os valores não variaram de forma substancial de acordo com o plano empregado. No comparativo com a literatura, os valores aqui encontrados foram equivalentes a até 189% do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) [9,00 MPa], e também superiores ao valor encontrado por Araújo (2007) [12,36 MPa], Couto *et al.* (2020) [11,00 MPa] e Dias e Lahr (2004) [13,8 MPa], apesar de mais próximos. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 10,50$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,23$ em contrapartida do apresentado por Couto *et al.* (2020) ($f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,19$) e da relação da norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

A seguir, com relação aos valores médios da resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Pequiá nos planos LT (18,33 MPa) e LR (18,83 MPa), pode-se dizer que os valores não variaram de forma significativa entre planos com relação aos anéis de crescimento da madeira. No que diz respeito à comparação com outras pesquisas, os valores aqui encontrados foram pelo menos 51% maiores que o apresentado por Araújo (2007) [12,16 MPa]. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 15,10$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Além disso, é recomendo ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,41$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

A respeito dos valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Peroba-rosa nos planos LT (19,83 MPa) e LR (19,50 MPa), pode ser observado que os valores não variaram de forma significativa entre planos com relação aos anéis de crescimento da madeira. Já no que diz respeito a valores médios encontrados em outras pesquisas, ainda pode ser citado o valor apresentado pelo IPT (2021g) [11,90 MPa] para a madeira em condição verde (teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras), ou seja, com a sua resistência subestimada e conseqüentemente bem abaixo dos valores aqui apresentados. Com relação ao seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 16,40$ MPa), pode-se notar que esse último resultado aqui encontrado é distante do determinado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) [$f_{v0,k} = 10,35$ MPa] para a espécie de *Aspidosmerma populifolium*. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,36$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Na sequência, com relação aos valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) encontrados para a espécie de Roxinho nos planos LT (18,17 MPa) e LR (17,57 MPa), pode-se constatar que esses valores foram praticamente iguais entre si, além de serem próximos ao obtido por ARAÚJO (2007) [18,14 MPa] e Duarte (2017) [20,00 MPa],

porém mais distantes do encontrado pelo IPT (2021h) [14,90 MPa] que ensaiou essa espécie em condição de madeira verde, justificando assim esse valor abaixo dos anteriormente mencionados. Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 15,80$ MPa), não foi encontrado qualquer resultado na literatura para que pudesse ser comparado ao aqui determinado. Além do mais, recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,23$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Ao se prosseguir, a espécie de *Tatajuba* apresentou valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) nos planos LT (20,83 MPa) e LR (21,67 MPa) praticamente iguais entre si, porém bem distantes dos resultados apresentados pela ABNT NBR 7190 (1997) [12,20 MPa] e por Araújo (2007) [12,55 MPa], chegando a ser equivalente a até 178% do valor da norma. Porém os valores aqui encontrados foram bem próximos do determinado por Dias e Lahr (2004) [19,90 MPa], Duarte (2017) [20 MPa] e dos valores apresentados por Lima *et al.* (2018) para corpos de prova provenientes de árvores das regiões de Alta-Floresta (18,00 MPa) e Bonfim do Sul (20MPa). Já acerca do seu valor característico (Tabela 4.4) encontrado considerando os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 19,30$ MPa), este se distinguiu do apresentado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) [10,16 MPa] em aproximadamente 47%. Recomenda-se ainda que se utilize uma relação de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,33$ em contrapartida do apresentado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Por último, a madeira de Tauari que foi a décima segunda espécie aqui analisada apresentou valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo (Tabela 4.3) nos planos LT (11,73 MPa) e LR (12,97 MPa) razoavelmente parecidos entre si, e próximos aos resultados apresentados por Araújo (2007) para as espécies de *Couratari oblongifolia* (10,40 MPa), *Couratari guianensis* (10,20 MPa) e *Couratari stellata* (12,85 MPa), e um pouco mais distante do determinado pelo IPT (2021j) [8,50 MPa].

Já com relação ao valor característico (Tabela 4.4) encontrado para a espécie de Tauari levando em consideração os dois planos de análise ($f_{v0,k} = 11,40$ MPa), este se distinguiu do apresentado por Jesus, Logsdon e Finger (2015) para a espécie de *Couratari oblongifolia* (Tauari-rosa) [5,89 MPa] em aproximadamente 48%, porém foi bem próximo do determinado por tais autores para a espécie de *Couratari stellata* (Tauari-vermelho) [11,43 MPa]. Por último, é recomendado ainda que se utilize uma relação para o plano LT de $f_{v0T,k}/f_{c0,k} = 0,30$ e outra para o plano LR de $f_{v0R,k}/f_{c0,k} = 0,33$ em contrapartida da relação apresentada pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de $f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12$.

Ademais, acredita-se que os resultados médios de f_{v0} encontrados na literatura que não se enquadraram no intervalo entre os valores do plano LT e LR de cada espécie estudada nesta pesquisa seja devido à variabilidade intrínseca do material, além de outros fatores, como

a possível diferença de extração de corpos de prova, região de crescimento da árvore e talvez uma falta de controle da própria umidade da madeira.

Já com relação às relações encontradas de $f_{v0,k}/f_{c0,k}$, com exceção do valor do plano longitudinal tangencial (LT) da espécie de Angelim-Pedra ($f_{v0T,k}/f_{c0,k} = 0,10$), o valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo ($f_{v0,k}$) nunca foi menor que 22% do valor característico da resistência na compressão paralela ($f_{c0,k}$), evidenciando como a relação da norma ABNT NBR 7190 (1997) é demasiadamente conservadora para essas espécies aqui estudadas.

Já com relação aos coeficientes de variação (CV) da Tabela 4.3, o valor mais alto encontrado foi no plano LT da espécie de Louro-preto com seu CV igual a 24,52%, que é menor que o máximo valor esperado de 28% pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997) para que esforços característicos tangenciais (cisalhamento) possam ser obtidos através da caracterização simplificada da espécie, ou seja, através da resistência característica na compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$). Portanto, todas as espécies estudadas nesse trabalho podem ser estimadas através de suas $f_{c0,k}$.

Vale ainda um esclarecimento a respeito da diferença entre os valores característicos da resistência ao cisalhamento quando se considera os resultados amostrais dos dois planos de análise em conjunto (Tabela 4.4) versus quando se considera os resultados de cada plano de maneira separada (Tabela 4.5). Assim, a Tabela 4.5 traz os valores da resistência característica das três espécies que obtiveram maior discrepância de valores médios da resistência ao cisalhamento entre seus planos analisadas (Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari). Importante destacar que a Tabela 4.5 também traz a relação entre $f_{v0T,k}$ e $f_{v0R,k}$, além da relação entre os valores médios (Tabela 4.3) de $f_{v0,T}$ e $f_{v0,R}$ para que se tenha um melhor discernimento a respeito da diferença entre os resultados.

Tabela 4.5: Estimativa do valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) por plano de análise

Espécie	Plano LT	Plano LR	$\frac{f_{v0T,k}}{f_{v0R,k}}$	$\frac{f_{v0,T}}{f_{v0,R}}$
	$f_{v0T,k}$ (MPa)	$f_{v0R,k}$ (MPa)		
Cambará-rosa	11,40	6,90	1,65	1,39
Tuari	11,50	13,50	0,85	0,90
Angelim-pedra	4,30	12,90	0,33	0,50

Fonte: Acervo da pesquisa

Também vale ressaltar que os valores característicos apresentados na Tabela 4.5 não dizem respeito ao resultado da média entre o valor característico de um plano com o do outro, e sim da estimativa da quantia característica advinda da união dos seus valores amostrais, ou seja, como num plano, principalmente no caso da espécie de Angelim-pedra, praticamente

todos os valores amostrais são menores que os da outra direção, a resistência característica advinda da junção dos resultados amostrais dos dois planos acaba se aproximando muito mais da resistência característica do plano de menor resistência do que do de maior, pois os valores são organizados sempre de forma crescente (do menor para o maior) em tal estimativa, na qual é utilizada então a metade da amostra que contém os menores valores de resistência de todo o conjunto.

Logo, a resistência característica encontrada para o plano de menor resistência (perpendicular ou na tangencial dos anéis de crescimento) é diferente de quando se tem corpos de prova com orientações intermediárias e aleatórias, sendo que nesses últimos os menores valores de cisalhamento da amostra seriam praticamente todos maiores que os menores resultados amostrais advindos da orientação de aplicação de força que resulta nos menores resultados possíveis de resistência ao cisalhamento, como é melhor observado no caso das três espécies que os valores da resistência característica apresentaram discrepância quando se aplicou a carga em planos diferentes com relação à disposição dos anéis de crescimento (Tabela 4.5). Sendo assim, ao se projetar estruturas nas quais sejam utilizadas madeiras das espécies de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari recomenda-se que com relação às suas resistências ao cisalhamento sejam adotados os menores valores médios da Tabela 4.3 e os menores característicos disponibilizados na Tabela 4.5.

Por fim, a respeito da análise estatística para testar a equivalência entre valores da resistência média ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) de acordo com plano testado (longitudinal tangencial – LT; longitudinal radial - LR), a Tabela 4.6 apresenta os P-valores da ANOVA e dos respectivos testes de validação (normalidade [AD] e igualdade de variâncias [CM]), encontrando-se sublinhados os P-valores da análise de variância considerados significativos (P-valor < 0,05).

Tabela 4.6: Resultados da análise de variância e dos testes de validação da ANOVA.

Espécies	P-valor		
	AVOVA	AD	CM
Angelim-pedra	<u>0,000</u>	0,268	0,304
Breu-vermelho	0,977	0,855	0,652
Caixeta	0,111	0,659	0,749
Cambará-rosa	<u>0,007</u>	0,982	0,707
Cupiúba	0,958	0,612	0,942
Jatobá	0,580	0,112	0,621
Louro-preto	0,406	0,832	0,214
Pequiá	0,778	0,965	0,322
Peroba-rosa	0,845	0,751	0,631
Tatajuba	0,643	0,509	0,800
Tuari	<u>0,020</u>	0,241	0,191
Roxinho	0,638	0,874	0,324

Fonte: Acervo da pesquisa

Da Tabela 4.6, os P-valores dos testes de normalidade e de igualdade de variâncias foram ambos superiores ao nível de significância (0,05) para todas as espécies de madeira avaliadas, validando assim o modelo da ANOVA.

A respeito da influência da orientação de aplicação da força em relação aos anéis de crescimento, houve diferença estatística significativa nos valores da resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) apenas nas madeiras de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari. Nas nove demais espécies, os valores da f_{v0} não foram afetados pela orientação da força em relação aos anéis de crescimento.

Considerando a diferença encontrada nas madeiras de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari, não foi encontrado qualquer estudo na literatura que abordasse tal temática com as espécies aqui utilizadas. Porém, pode ser observado através de resultados contidos no atual estado da arte para a resistência ao cisalhamento paralelo que o valor encontrado para a espécie de Angelim-pedra pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997) [8,80 MPa] é bastante diferente dos encontrados por Araújo (2007) [12,26 MPa], Dias e Lahr (2004) [13,30 MPa] e IPT (2021a) [12,3 MPa].

Nesse mesmo sentido, para a madeira de Cambará-rosa, o valor encontrado na ABNT NBR 7190 (1997) [5,8 MPa] foi inferior ao valor apresentado por Araújo (2007) [7,85 MPa], além de ser bem inferior aos valores intermediários apresentados por Dias e Lahr (2004) [9,6 MPa] e Duarte (2017) [9 MPa], e mais discrepante ainda quando comparado com o máximo valor médio observado na literatura, que foi determinado por Lahr *et al.* (2016a) [14 MPa].

Ainda nesse mesmo raciocínio, a madeira de Tauari apresenta valores médios para a resistência ao cisalhamento dispersos se comparados de uma pesquisa para a outra, como é o caso dos valores encontrados em Araújo (2007) [10,40 MPa; 10,20 MPa; 12,85 MPa - *Couratari oblongifolia*; *Couratari guianensis*; *Couratari stellata*, respectivamente] quando comparados ao encontrado pelo IPT (2021j) [8,5 MPa], que também é bem diferente dos valores encontrados aqui para o plano LT (11,73 MPa) e LR (12,97 MPa) [Tabela 4.3], ou mesmo da média dos resultados da resistência ao cisalhamento entre os dois planos ensaiadas (12,35 MPa) [Tabela 4.4].

Das três espécies citadas acima, apenas para a madeira de Tauari se têm resultados característicos da resistência ao cisalhamento paralelo ($f_{v0,k}$) divulgados, sendo que esses valores podem ser encontrados em Jesus, Logsdon e Finger (2015) para a espécie de *Couratari oblongifolia* Ducke & R. Knuth (Tauari-rosa) [5,89 MPa] que se diferenciou bastante do encontrado aqui nessa pesquisa [11,40 MPa], o que não foi o caso do resultado encontrado para a espécie *Couratari stellata* A. C. Smith (Tauari-vermelho) [11,43 MPa], que foi bem similar ao desta pesquisa em curso. Portanto, a grande variação de valores médios da resistência ao cisalhamento para essas três espécies, e até do valor característico para a madeira de Tauari, é claramente constatada quando diferentes pesquisas são comparadas, o que valida ainda mais os resultados aqui encontrados.

Já a respeito dos planos de maior e menor resistência, as madeiras de Angelim-Pedra e Tauari demonstraram maior resistência ao cisalhamento no plano LR se comparada ao valor da f_{v0} obtida com a força orientada tangencialmente aos anéis de crescimento, comportamento esse contrário ao ocorrido com a madeira de Cambará-rosa, que apresentou desempenho superior no plano LT. Nessas três espécies em que o plano da solicitação em relação aos anéis de crescimento foi considerada significativa pela ANOVA, a maior diferença ocorreu com a madeira de Angelim-pedra, que obteve praticamente o dobro da resistência no plano longitudinal radial (LR) quando comparada com o resultado obtido da aplicação de força no plano longitudinal tangencial (LT).

Logo, este trabalho utilizou das informações acerca da anatomia das doze espécies de madeira para que alguma explicação para os resultados encontrados pudesse ser apontada. Assim, juntando informações através do que se tem disponível em IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), apenas duas espécies apresentaram parênquima indistinto mesmo sob lente de 10 vezes de aumento (Breu-vermelho e Peroba-rosa), enquanto que o parênquima axial visível sob lente de 10 vezes foi encontrado em dez espécies, sendo que dessas, apenas cinco tem também seu parênquima axial visível a olho nu (Angelim-pedra, Caixeta, Cambará-rosa, Jatobá e Tauari).

Como pode ser notado, as espécies de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari, que são as espécies com valores estatisticamente diferentes de acordo com o plano de aplicação

de carga em relação aos anéis de crescimento, obtiveram abundância de parênquima de acordo com as referências apresentadas, sendo que a Angelim-pedra apresenta parênquima axial paratraqueal (envolvendo e ligando os vasos) aliforme, confluyente em trechos longos tendendo a formar faixas largas, enquanto que a madeira de Cambará-rosa apresenta parênquima em faixas largas e longas, tangenciando e ligando os vasos, e também em trechos curtos.

Já a madeira de Tauari, ainda de acordo com IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), possui parênquima visível a olho nú, porém com uma disposição reticulada (linhas finas que entrecruzam com os raios, dando forma ao que se assemelha a uma rede). Por outro lado, a madeira de Caixeta apresentou parênquima paratraqueal aliforme de extensão linear, com finos e longos prolongamentos laterais, enquanto que a madeira de Jatobá apresenta parênquima em linhas finas marginais associadas/intercaladas com o parênquima axial paratraqueal vasicêntrico ou aliforme.

Constata-se aqui uma tendência de duas espécies (Angelim-pedra e Cambará-rosa), que variaram de forma significativa o valor de sua resistência ao cisalhamento dependendo do plano de aplicação de força na seção, de apresentarem parênquima em larga espessura através de toda extensão tangencial da seção transversal, enquanto que as madeiras de Caixeta, Jatobá e Tauari apresentaram uma tendência de possuírem linhas finas como extensão de seus parênquimas.

Porém, como já visto, a maior resistência ao cisalhamento da madeira de Cambará-rosa se dá no plano LT enquanto que a maior para a madeira de Angelim-pedra foi obtida no LR. Sendo assim, apresentar parênquima axial em abundância tangenciando os anéis de crescimento (Angelim-pedra e Cambará-rosa), e muito menos em linhas finas (Caixeta, Jatobá e Tauari), não parecem características determinantes por si só para uma possível influência nos resultados de resistência ao cisalhamento obtidos.

Por outro lado, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), com relação aos seus raios, sete espécies foram identificadas com grande quantidade de células possuindo no mínimo alturas médias (Angelim-Pedra, Cupiúba, Louro-preto, Pequiá, Peroba-rosa, Tatajuba e Tauari). Contudo, como a madeira de Angelim-pedra e Tauari foram mais frágeis no plano LT, não faz muito sentido pensar que a grande quantidade de raios (parênquima radial) interferiu na sua resistência, até porque existe parênquima em quantidade muito maior na sua linha de parênquima axial (direção tangencial). Além disso, os resultados da madeira de Cambará-rosa demonstram que mesmo não apresentando grande quantidade de células na composição dos seus raios, o seu plano menos resistente no cisalhamento foi justamente o LR, o que reforça ainda mais a conclusão de que os raios não interferem de maneira isolada na resistência ao cisalhamento.

Já ao tratar as células dos raios como sendo compostas por microfibrilas e descartando-se uma possível perda de resistência imposta pelo parênquima radial, Longui *et al.* (2017b) diz que os raios funcionam como parafusos que reforçam a direção tangencial por fixar as camadas de crescimento umas nas outras, porém pode-se notar que essa consideração não se fez válida para as espécies de Angelim-pedra, Tauari e Cambará-rosa, pois quando a madeira apresentou muitas células dos raios (Angelim-pedra e Tauari), o plano mais frágil foi o longitudinal tangencial (LT) e não o longitudinal radial (LR), ao mesmo tempo que quando se exibiu poucas células dos raios (Cambará-rosa), o plano menos resistente passou a ser justamente o LR e não o LT.

No que diz respeito aos vasos, de acordo com o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), esses foram encontrados em quantidade numerosa apenas nas espécies de Breu-vermelho e Peroba-rosa, enquanto que contendo pelo menos diâmetros médios, independentemente de serem abundantes, podem ser enquadradas as espécies de Angelim-pedra, Caixeta, Cambará-rosa, Louro-preto, Pequiá, Tatajuba e Tauari. Como consequência desse enquadramento observa-se que as espécies de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari têm o diâmetro de seus poros no mínimo de tamanho médio, porém, nem com os poros dessas espécies sendo ligados por parênquima não foi obtido o mesmo plano de falha, como já demonstrado, além de não obterem grande quantidade de vasos também, o que corrobora ainda mais a conclusão de que os poros não foram preponderantes nas diferenças estatísticas de resistência ao cisalhamento paralelo.

Ademais, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), todas as espécies do trabalho apresentam distribuição difusa de seus poros na seção transversal, o que contraria a explicação dada por Bröker, Meierhofer e Radovic (1987), Horvath, Niemz e Molnar (2008) e Hass *et al.* (2009), os quais afirmaram que quando a espécie possui essa configuração, seu plano LT não é enfraquecido, pois não há diferença entre a densidade do lenho tardio e lenho inicial, mas a Angelim-pedra e Tauari exibiram menor capacidade de carga justamente nesse plano.

Com relação às fibras, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), as espécies enquadradas como de parede espessa e lúmen delgado foram a Angelim-Pedra, Cupiúba, Jatobá, Pequiá, Peroba-rosa, Roxinho e Tauari. Já com as paredes das fibras finas e com o seu lúmen espesso, foram classificadas a madeira de Cambará-rosa, Louro-preto e Tatajuba, sendo que a madeira de Caixeta tem parede fina e lúmen médio.

Assumindo-se que na seção transversal, a separação das fibras pelos raios impõe uma sequência linear entre seus limites em toda linha radial, e que na direção tangencial não existe um alinhamento tão preciso entre as paredes das fibras, permite-se concluir que a madeira de Angelim-pedra e Tauari demonstrou concordância entre a direção de suas fibras

espessas e de lúmen reduzido e o plano que foi mais resistente (LR ou direção radial da seção), enquanto que a madeira de Cambará-rosa foi mais frágil justamente nesse mesmo plano, onde é constituída por fibras de parede fina e lúmen espesso, indicando que nesse caso os raios sejam pontos de menor resistência em tal espécie de acordo com a espessura das fibras.

Agora com relação às camadas de crescimento, conforme o que dispõe o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), oito espécies apresentam demarcação de seus anéis por zonas fibrosas (Angelim-pedra, Caixeta, Louro-preto, Pequiá Peroba-rosa, Roxinho, Tatajuba e Tauari). Já a madeira de jatobá e Roxinho têm suas camadas individualizadas por parênquima marginal, porém como já mencionado, a espécie de Roxinho tem seus anéis de crescimento também individualizados por zonas fibrosas. Ainda no que diz respeito às outras espécies, elas apresentaram camadas de crescimento indistintas.

Desse modo, apesar das madeiras de Angelim-pedra e Tauari apresentarem zonas fibrosas, a direção mais frágil em ambas as espécies foi justamente a orientação tangencial aos anéis (plano LT), indicando assim que regiões de camadas de crescimento demarcadas por zonas fibrosas não foram suficientes para tais espécies não apresentarem uma diminuição de resistência acentuada em tal região. A própria madeira de Cambará-rosa não apresenta zonas fibrosas justamente na direção tangencial (plano LT) que foi a sua mais resistente, reforçando mais ainda o raciocínio.

Outro aspecto analisado e comparado, foi a composição química de cada espécie do presente trabalho. Assim, por meio de análise desses resultados, foi observado que eles variam muito pouco entre si, principalmente quando comparadas as madeiras de Angelim-pedra [lignina total = 31,6% e holocelulose = 61,4% - Santana e Okino (2007)], Tauari (*Couratari* sp.) [lignina total = 34,0% e holocelulose = 66,0% - Santana e Okino (2007)] e a Cambará-rosa [lignina total = 33,6% e holocelulose = 66,4% - Santana e Okino (2007)] na tentativa de encontrar algum padrão que fosse diferente de uma espécie para a outra e que ajudasse a explicar os resultados no cisalhamento, principalmente quando comparadas as espécies de Angelim-pedra e Tauari com a madeira de Cambará-rosa, que teve como a sua direção mais resistente a tangencial (plano LT), enquanto que as duas primeiras resistiram melhor ao cisalhamento paralelo às fibras na direção radial (plano LR).

Assim, as características que despontam como protagonistas na diferença de resistência ao cisalhamento de acordo com o plano analisado é a combinação de parênquima axial com a espessura das fibras e de seus lúmens. Isto é, a madeira de Angelim-pedra, por exemplo, foi menos resistente na direção tangencial às camadas de crescimento (plano LT) ao mesmo tempo que, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho

(2021) e Zaque & Melo (2019), apresenta abundância de parênquima axial (direção tangencial ou plano LT) e fibras de parede espessa e de lúmen delgado.

Nesse mesmo sentido, a madeira de Tauari, conforme o que é apresentado pelo IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), exhibe parênquima axial distribuído em linhas regularmente espaçadas e visíveis a olho nú, além de apresentar a mesma configuração de fibras da madeira de Angelim-pedra. Enquanto isso, a madeira de Cambará-rosa é constituída por fibras com a espessura de suas paredes finas e lúmens espessos, além de apresentar abundância de parênquima na direção dos anéis de crescimento (tangencial), sendo que esse último não impediu que seu plano de falha mais frágil fosse no longitudinal radial (LR ou direção radial da seção).

Para as demais espécies, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), algumas apresentam a parede espessa das fibras, porém demonstrando parênquima axial pouco visível (Cupiúba, Pequiá e Roxinho), invisível mesmo sob lente (Peroba-rosa) ou disposto em linhas finas bem espaçadas (Jatobá), logo, conforme a lógica empregada (fibra espessa/lúmen delgado + parênquima axial abundante = menor resistência tangencial), essas espécies obtiveram igualdade estatística da resistência ao cisalhamento nos dois planos de aplicação de força, visto que não alcançaram todos os requisitos para que se demonstrasse menor resistência no plano LT (aplicação de força na direção tangencial aos anéis de crescimento na seção transversal).

Mais especificamente a respeito da espécie de Jatobá, segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), esta apresenta parênquima axial visível a olho nú, porém com linhas finas bastante espaçadas umas das outras se comparadas com o espaçamento presente na espécie de Caixeta e mais discrepante ainda para a madeira de Tauari. Assim, apesar de essa espécie não apresentar menor resistência estatisticamente significativa em seu plano LT, o seu valor médio da resistência em tal plano foi menor que o do plano LR (direção radial na seção transversal), indo então de encontro à lógica empregada.

Já com relação à espécie de Caixeta, o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019) afirma que essa espécie apresenta fibras com paredes finas, porém com lúmen médio. Ao mesmo tempo, ela exhibe certa abundância de parênquima axial, levando essa madeira a apresentar equivalência estatística quando os dois planos de aplicação da força no cisalhamento foram comparados. Portanto, acredita-se que o contraponto entre a presença abundante de parênquima axial e a configuração das fibras tenha equilibrado a resistência ao cisalhamento nos dois planos analisados.

Ao se levar em consideração a espécie de Tatajuba, o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019) destacam também que esta apresenta a mesma configuração de fibras que a Cambará-rosa, porém de acordo com essas

pesquisas, ela exhibe uma porosidade oblíqua de seus vasos que são também preenchidos por tilos, o que por sua vez pode ter conferido maior resistência no plano LR (direção radial da seção), visto que até mesmo o alinhamento das fibras (paredes finas) pode ter sido alterado nessa direção (radial).

Já o caso mais complexo de se explicar fica por conta da madeira de Louro-preto que segundo o IPT (2021), Santini Jr., Florsheim e Tommasiello Filho (2021) e Zaque & Melo (2019), apresenta raios visíveis apenas sob lente de 10 vezes assim como a madeira de Cambará-rosa, além de fibras de parede fina e lúmen espesso. Logo, a única explicação provável foi que o alto coeficiente de variação (24,52%) no plano LT (direção tangencial na seção transversal), que foi o mais alto encontrado nessa pesquisa, tenha interferido numa provável perda de resistência no sentido radial, demandando assim mais ensaios com essa espécie, para que seja confirmada ou não a sua igualdade de resistência entre direções diferentes analisadas.

Pode-se inferir então que quando a espessura das paredes das fibras é pequena, tal espessura leva a uma linha radial de enfraquecimento da resistência ao cisalhamento da madeira, o que em contrapartida não acontece com a madeira que possui fibras de parede espessa (Angelim-pedra e Tauari), onde o parênquima axial passa a ter papel fundamental na redução da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, inclusive nesse caso segundo os resultados da Tabela 4.6 referentes à ANOVA realizada, a maior diferença de resistência de acordo com a direção de aplicação de força ocorreu com a madeira de Angelim-pedra, indicando como a grande quantidade de parênquima axial e espessura das fibras foram preponderantes para a redução de sua resistência na direção tangencial aos anéis se comparada com sua resistência na perpendicular (direção radial).

Logo, de todas as estruturas e características analisadas, seria mais adequado concluir que a espessura das paredes das fibras e de seus lúmens interferem significativamente na resistência ao cisalhamento, bem como quando se tem a combinação da espessura das paredes/diâmetro do lúmen das fibras com a presença de parênquima axial.

5 CONCLUSÕES

Este estudo contribui para que o conhecimento acerca da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) da madeira seja expandido, fornecendo informações inéditas que poderão ser incorporadas na nova versão da norma ABNT NBR 7190 (1997), além de fornecer mais informações para o projetista de estruturas de madeira. Desse modo, conforme os resultados obtidos e comparados com o que se tem disponível na literatura, pode-se concluir:

1. Os valores de densidade aparente e de resistência na compressão paralela determinados para todas as espécies encontraram valores similares na literatura, assim, validando os ensaios e resultados dessa pesquisa;
2. Foram ensaiadas doze espécies do grupo das folhosas para a obtenção de suas resistências médias ao cisalhamento paralelo às fibras em duas direções diferentes de aplicação da força (direção tangencial e radial na seção transversal), sendo que as espécies de Angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*), Cambará-rosa (*Erismia uncinatum*) e Tauari (*Couratari* sp.) exibiram valores estatisticamente diferentes entre essas direções analisadas;
3. Por meio da análise da anatomia e composição química dessas três espécies, foi estabelecido um padrão para tal diferença estatística da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Esse padrão estabelece que a resistência ao cisalhamento é dependente das fibras e da presença de parênquima axial;
4. Com relação à madeira de Angelim-pedra, essa espécie possui fibras de paredes grossas e lúmen delgado, formando assim uma linha de paredes espessas acompanhando o alinhamento do raio (direção mais resistente), que por consequência enrijece tal direção. Enquanto isso, a sua abundância de parênquima axial tendendo a formar faixas largas na direção tangencial às suas camadas de crescimento (direção menos resistente) diminuiu sua resistência ao cisalhamento paralelo;
5. No que diz respeito à espécie de Tauari, ela apresentou a mesma configuração das fibras da madeira de Angelim-pedra. Logo, devido ao seu parênquima axial que é encontrado em grande número de linhas finas na direção tangencial aos anéis de crescimento (AC), essa direção foi enfraquecida;
6. A respeito da madeira de Cambará-rosa, ela possui paredes finas e lúmen espesso, formando assim uma linha frágil no alinhamento com os seus raios (direção radial), onde foi menos resistente. Ademais, apesar de possuir abundância de parênquima axial, tal espécie apresentou maior resistência ao cisalhamento justamente na sua direção tangencial às camadas de crescimento;
7. Entre as duas direções analisadas para as espécies de Angelim-pedra, Cambará-rosa e Tauari, foram encontradas, respectivamente, as seguintes relações ($f_{v0T,k}/f_{v0R,k}$) para o valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras: 0,33, 1,65 e 0,85. Já para as mesmas espécies e na mesma ordem, as relações ($f_{v0,T}/f_{v0,R}$) entre valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo foram iguais a 0,50, 1,39 e 0,90.
8. Ressalta-se que a madeira de Caixeta além de apresentar parênquima axial visível a olho nú, de modo a enfraquecer a direção tangencial, também exibiu a parede

de suas fibras com espessura fina, porém com lúmen médio, conferindo então uma fragilização menor da direção radial se comparado com o lúmen espesso, devido a uma maior frequência de paredes das fibras na mesma superfície que é aplicada a força cisalhante. Logo, não houve uma direção com maior resistência que a outra;

9. A respeito da espécie de Jatobá, esta apresentou parênquima axial visível a olho nú, porém com linhas finas bastante espaçadas umas das outras se comparadas com o espaçamento presente na espécie de Caixeta e mais discrepante ainda para a madeira de Tauari. Assim, essa espécie não apresentou uma menor resistência estatisticamente significativa em seu plano LT, apesar do seu valor médio da resistência em tal plano ser menor que o do plano LR (direção radial na seção transversal), indo então de encontro à lógica definida;
10. Destaca-se também que a espécie de Tatajuba apresentou a mesma configuração de fibras que a Cambará-rosa, porém ela exibiu uma porosidade oblíqua de seus vasos que são também preenchidos por tilos, o que por sua vez pode ter conferido maior resistência na direção radial, visto que até mesmo o alinhamento mais preciso das fibras (paredes finas) inerente dessa direção pode ter sido alterado;
11. Em suma, a espessura das paredes das fibras mostrou ser preponderante no valor da resistência ao cisalhamento, seguida pela quantidade de parênquima axial que a espécie apresenta na direção tangencial aos seus anéis de crescimento. Já as demais características anatômicas e de composição química não apresentaram padrões que justifique assumir uma possível interferência nos valores de resistência ao cisalhamento paralelo;
12. É importante destacar que todas as espécies do trabalho apresentaram distribuição difusa de seus poros na seção transversal, com exceção da Tatajuba (porosidade oblíqua), contrariando assim a explicação dada por muitos trabalhos de que quando a espécie possui essa configuração de porosidade, sua direção tangencial não é enfraquecida, pois nesse caso não há uma diferença de densidade entre o lenho tardio e o lenho inicial, mas as espécies de Angelim-pedra e Tauari exibiram menor capacidade de carga justamente nessa direção;
13. Com relação aos resultados de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), pode-se notar também uma grande diferença dos valores encontrados nessa pesquisa com relação aos apresentados pela norma ABNT NBR 7190 (1997). Assim, as espécies de Angelim-pedra, Cambará-rosa, Cupiúba, Jatobá, Louro-preto e Tatajuba apresentaram valores que equivalem a até 144%, 238%, 164%, 167%, 189%, 178%, respectivamente, dos apresentados pela referida norma, sendo importante observar que essa tendência de valores de f_{v0} superiores aos da norma para essas espécies foi seguida por outros trabalhos citados nessa

pesquisa. Importante destacar também que tal norma não apresenta resultados para a espécie de Tauari, impossibilitando esse comparativo para essa espécie.

14. Com exceção da espécie de Angelim-pedra que apresentou na sua direção tangencial uma resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) equivalente a 10% da resistência característica na compressão paralela ($f_{c0,k}$), as demais espécies e direções analisadas nunca apresentaram $f_{v0,k}$ menor que 22% do valor da $f_{c0,k}$, evidenciando o conservadorismo da norma ao prescrever que $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ seja igual a 0,12 (12%) para todas as espécies de folhosas;
15. Além do mais, foi encontrado um valor médio de densidade aparente (790 kg/m^3) para a espécie de Breu-vermelho (*Protium* sp.) que foi pouco estudada na literatura. Já com relação ao seu valor de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (média entre as direções analisadas = 22,65 MPa) determinado nesse trabalho, esse é o primeiro valor que será divulgado para essa espécie.
16. Apesar de não estar no escopo dessa pesquisa, para os próximos estudos envolvendo espécies nativas do Brasil recomenda-se a realização de uma análise ainda mais aprofunda da microestrutura das madeiras folhosas, e que se considere fatores como a parcela de lenho primaveril por lenho tardio, número de anéis por polegada ou centímetro, e a curvatura do anel de crescimento com relação à distância da medula, principalmente quando as madeiras apresentarem diferença estatística no valor da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de uma direção de aplicação de carregamento para a outra com relação à disposição anéis de crescimento.

Referências Bibliográficas

AJUZIUGU, G. C; NWOSU, M. O; NZEKWE, U.; ONYEKE, C. C; ODO, G. E; NWOSU EJIKEME, P. M.; ONYEONAGU, C. C. Biomechanics, an aspect of the relationships between Wood Anatomical Parameters and Mechanical Strength in Ten Nigerian Timber species. **IJSER**, v. 5, n. 2, p. 628-645, 2014.

AKTER, S. T.; SERRANO, E.; BADER, T. K. Numerical modelling of wood under combined loading of compression perpendicular to the grain and rolling shear. **Eng. Struct.**, v. 244, n. 112800, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112800>.

ALMEIDA, Diego Henrique. **Estimativa de propriedades de resistência e de rigidez de madeiras tropicais brasileiras pela técnica de colorimetria**. 2017. 98p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B.; MOLINA, J. C. Resistência ao impacto na flexão de madeiras nativas e de reflorestamento. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 12, n. 4, p. 29-36, 2011.

ALMEIDA, J. P. B.; COUTO, N. G.; AQUINO, V. B. M.; WOLENSKI, A. R. V.; PEIXOTO, R. G.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Relações entre propriedades de rigidez para distintas solicitações mecânicas visando projetos de estruturas de madeira. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 25-35, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200385>.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. 2013. 123p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ALVES, R. C. **Qualificação dos ensaios não destrutivos para estimar as características físico-mecânicas da madeira**. 2012. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-09**: Standard test methods for small clear specimens of timber. USA: ASTM International, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-83**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. v. 04.09. Philadelphia, Pa: ASTM, 1952.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 905-49**: Standard test methods for strength properties of adhesive bonds in shear by compression bonding. v. 15.06. Philadelphia, Pa: ASTM, 1986.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2017**: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2005. 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G154**: Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. Philadelphia, PA, USA: ASTM International, 2006.

ANDRADE, Ariel. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

ASHKENAZI, E. K. **Anisotropy of Wood and Wood-Base Materials**. 1. ed. Moscow, USSR: Izdatelstvo Lesnaja Promuslennosty, 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7989**: Pastas celulósicas e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8112**: Análise imediata: material volátil, cinzas, carbono fixo. São Paulo: ABNT, 1983. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9487**: Classificação de madeira serrada de folhosas. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 32p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941**: Determinação da densidade básica da madeira. Brasília: ABNT, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14660**: Madeira: amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14853**: Madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PNBR 02:126.10-001-1**: Método de Ensaio de caracterização de corpos de prova isentos de defeitos para madeiras tropicais. Projeto de Revisão. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PNBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Projeto de Revisão. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AZEVEDO, M. A.; NASCIMENTO, J. W. B. Estrutura de madeira para cobertura de aviários no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p. 385-390, 1999. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n385-390>.

BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n.3, p. 337-342, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031421>.

BENDTSEN, B. A.; PORTER, S. Comparison of results from standard 2-inch with 1-1/2-inch shear block tests. **Forest Prod. J.**, v. 28, n. 7, p. 54-56, 1978.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. 1. ed. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1982. 712 p.

BRAGA Junior, M. M.; MATOS, T. S.; ANDRADE, G. M.; FERREIRA, P. S.; SILVA, M. C. F.; SOUZA, F. I. B.; MELO, L. E. L. Technological properties of woods used in boat's production in the Southeast of Pará, Brazil. **Rodriguésia**, v. 71, p. e03322018, 2020. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202071083>.

BRÖKER, F. W.; MEIERHOFER, U. A.; RADOVIC, B. Influence of specimen dimensions on the shear strength of cubic spruce blocks. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 45, p. 445-448, 1987.

CARRASCO, E. V. M.; MANTILLA, J. N. R. Influência da Inclinação das Fibras da Madeira na sua Resistência ao Cisalhamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 535-543, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822754>.

CARVALO, Gabriella Santos. **Caracterização físico-mecânica da madeira Peroba-rosa**. 2019. 17p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019.

COELHO, Marina Ulian. **Avaliação da madeira de Mora paraensis (pracuúba) para utilização em cruzetas de redes de distribuição de energia elétrica**. 2014. 64p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2014.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 30:1-006**: Maderas: método de determinación de la flexión estática. COPANT, 1972.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Part 4: CIE 1976 L* a* b* Colour space**, disponível em: <<https://cie.co.at/publications/colorimetry-part-4-cie-1976-lab-colour-space-0>>. Acesso em: 06 set. 2021.

COUTO, N. G.; ALMEIDA, J. P. B.; GOVONE, J. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Relação entre a resistência ao cisalhamento e a resistência à compressão paralela às fibras de madeiras folhosas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 319-327, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400475>.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 102-113, 2004.

DUARTE, Bárbara Branquinho. **Influência de componentes químicos em propriedades mecânicas da madeira**. 2017. 119p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. Wood technology: retractability. **CEPEF**, Santa Maria, n. 10, 1992.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 302-1 DE**: Adhesives for load-bearing timber structures-Test methods-Part 1: Determination of bond strength in longitudinal tensile shear strength. Beuth Verlag, 2004.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 52187**: Testing of wood - Determination of ultimate shearing stress parallel to grain. Beuth Verlag, 1979.

EVANGELISTA, W. V.; COSTA, E. D. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. **Rev. de Ciênc. Agroamb.**, v. 15, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v15i2.1966>.

FIORELLI, J.; DIAS, A. A. Vigas de madeira de baixa e média densidade reforçadas com FRP – avaliação teórica e experimental. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, ano, 3, n. 8, 2002.

FREITAS, A. C. S. **Tratamento termomecânico unilateral em madeira tropical para produção de piso: efeitos sobre as propriedades físicas, mecânicas e superficiais**. 2017. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

GONÇALEZ, Joaquim Carlos. **Characterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et**

mécaniques. 1993. 446p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

GONÇALVEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, ano 20, n. 72, p. 47-58, 2001.

GUPTA, R.; SINHA, A. Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood. **Holzforschung**, v. 66, n. 5, p. 655–658, 2012.

HASS, P.; MÜLLER, C.; CLAUSS, S.; NIEMZ, P. Influence of growth ring angle, adhesive system and viscosity on the shear strength of adhesive bonds. **Wood Material Science & Engineering**, v. 4, p. 140-146, 2009. <https://doi.org/10.1080/17480270903421529>.

HORVATH, N.; NIEMZ, P.; MOLNAR, S. Examinations to the influence of wood moisture on chosen wood properties of spruce, oak and beech. **Holztechnologie**, v. 49, n. 3, p. 10-15, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **IBAMA (Série Técnica, 15)**: normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: Angiospermas e gimnospermas. Brasília: IBAMA – Diretoria de incentivo à pesquisa e divulgação, 1992. 17p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Angelim-pedra. **IPT, 2021a**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/8-angelim_pedra.htm>. Acesso em: 05 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Caixeta. **IPT, 2021b**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/43-caixeta.htm>. Acesso em: 05 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Cambará-rosa. **IPT, 2021c**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/9-cambara_rosa.htm>. Acesso em: 05 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Cupiúba. **IPT, 2021d**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/11-__goupiaceae.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Jatobá. **IPT, 2021e**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/14-jatoba.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Pequiá. **IPT, 2021f**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/72-piquia.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Peroba-rosa. **IPT, 2021g**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/25-a_peroba_rosa_e_susceptivel_ao_ataque_de_perfuradores_marinhos.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Roxinho. **IPT, 2021h**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/49-roxinho.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Tatajuba. **IPT, 2021i**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/50-tatajuba.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras: Tauari. **IPT, 2021j**. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/3-tauari.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. **IAWA bulletin 10**: List of microscope features for hardwood identification. IAWA Committee, 1989a. 234-332p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. **IAWA bulletin 10 (3)**: List of microscope features for hardwood identification. IAWA Committee, 1989b. 219-332p.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FONTE, A. P. N.; FRANÇA, M. C.; LAU, P. C.; MOLLEKEN, R. Potencial de uso de madeiras de *Dinizia excelsa* Ducke e *Protium puncticulatum* J. F. Macbr para produção de painéis EGP. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 709-717, 2016. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.17>.

JESUS, J. M. H.; LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. Classes de Resistência de Algumas Madeiras de Mato Grosso. **Engineering and Science**, v. 1, n. 3, p. 35-42, 2015. <http://dx.doi.org/10.18607/ES201532552>.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ Junior, W. A. **Principles of wood science and technology – Solid Wood**. 1ª edição. Berlin e Nova Iorque: Editora **Springer-Verlag**, 1984. 502 p.

LABONNOTE, N.; MALO, K. A. Effect of annual ring patterns on Norway spruce resulting material properties. In: Proceedings of the 11th World Conference of Timber Engineering, 11., Riva Del Garda, Italy, 20-24 jun 2010. **Anais...** New York: Curran Associates Inc. 2012. v. 4, p. 783-784.

LAHR, F. A. R.; ARROYO, F. N.; ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA Filho, F. M.; MENDES, I. S.; CHRISTOFORO, A. L. Full characterization of *Erismia uncinatum* Warm wood specie. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 5, p. 147-150, 2016a. <http://dx.doi.org/10.5923/j.ijme.20160605.01>.

LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, C. E. G.; ANDRADE Junior, J. R.; PINHEIRO, R. V. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de jatobá (*Hymenaea Stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 147-154, 2016b. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100016>.

LABONNOTE, N.; MALO, K. A. Effect of annual ring patterns on Norway spruce resulting material properties. In: Proceedings of the 11th World Conference of Timber Engineering, 11., Riva Del Garda, Italy, 20-24 jun 2010. **Anais...** New York: Curran Associates Inc. 2012. v. 4, p. 783-784.

LANG, E. M.; BEJO, L.; SZALAI, J.; KOVACS, Z. Orthotropic strength and elasticity of hardwoods in relation to composite manufacture. Part I. Orthotropy of shear strength. **Wood and Fiber Science**, v. 32, n. 4, p. 502–519, 2000.

LANINI, Tamiris Luiza Soares. **Relação entre módulos de elasticidade de peças estruturais e de corpos de prova de madeiras tropicais**. 2018. 63p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

LI, M., ZHANG; S., WANG, Y.; REN, H. Effect of Microstructures on the Shear Strength of *Larix kaempferi*. **Forests**, v. 12, n. 6, artigo 830, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12070830>.

LIMA, T. F. P.; ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Propriedades físicas e mecânicas da madeira Tatajuba (*Bagassa guianensis*) proveniente de duas diferentes regiões brasileiras. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, e-12185, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0519>.

LIU, J. Y.; DWIGHT, D. F.; ROSS, R. J.; LICHTENBER, G. J. An Improved shear test fixture using the Iosipescu specimen. In: ASME Joint Applied Mechanics and Materials Division Meeting, Blacksburg-Virginia, 1999. **Anais...** Mechanics of Cellulosic Materials, Ann Arbor: Universidade de Michigan, THE SOCIETY, 1999, p. 139-147.

LIU, J. Y.; FLOETER, L. H. Shear Strength in Principal Plane of Wood. **J. Eng. Mech.**, v. 110, n. 6, p. 930-936, 1984.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO Filho, M.; SILVA Junior, F. G.; CAMARGO Neto, L.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; JESUS, J. M. H. Influência do ângulo entre o esforço aplicado e a direção das fibras da madeira sobre a resistência ao cisalhamento. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 969-978, 2014. <https://doi.org/10.1590/1980-509820142404016>.

LONGUI, E. L.; OLIVEIRA, I. R. D.; GRAEBNER, R. C.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; GARCIA, J. N. Relationships among wood anatomy, hydraulic conductivity, density and shear parallel to the grain in the wood of 24-year-old *Handroanthus vellosi* (Bignoniaceae). **Rodriguésia**, v. 68, p. 1217-1224, 2017a. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768406>.

LONGUI, E. L.; PIRES, G. T.; BALLARIN, A. W.; MACHADO, J. A. R. Shear strength parallel to grain with distinct ray orientation on four Brazilian wood species. **Eur. J. Wood Prod.**, v. 75, p. 663–665, 2017b. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1129-8>.

LUOSTARINEN, K.; HERÄJÄRVI, H. Relationship between anatomy and shear strength in wood of *Larix sibirica*. **Holzforschung**, v. 72, p. 1001–1006, 2018. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0032>.

MARQUES, Márcia Helena Bezerra. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MASCIA, N. T.; NICOLAS, E. A. Determination of Poisson's ratios in relation to fiber angle of a tropical wood species. **Constr Build Mater**, v. 41, p. 691–696, 2013.

MATOS, G. S.; MOLINA, J. C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005. **revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1069-1079, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620160004.0098>.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6, 1990, Campos do Jordão. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, 1990. 695-699.

MÜLLER, U.; SRETENOVIC, A.; GINDL, W.; TEISCHINGER, A. Longitudinal shear properties of European larch wood related to cell wall structure. **Wood Fiber Sci**, v. 36, p. 143–151, 2004.

NADIR, Y.; NAGARAJAN, P.; MIDHUN, A. J. Measuring elastic constants of *Hevea brasiliensis* using compression and losipescu shear test. **Eur. J. Wood Prod.**, v. 72, p. 749–758, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0842-4>.

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. D. P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Revista Madera y Bosques**, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997. <https://doi.org/10.21829/myb.1997.311378>.

NIEMZ, P.; CLAUSS, S.; MICHEL, F.; HÄNSCH, D.; HÄNSEL, A. Physical and mechanical properties of common ash (*Fraxinus excelsior* L.). **Wood Research**, v. 59, n. 4, p. 671-682, 2014.

NISGOSKI, Silvana. **Anatomia da madeira (Apostila – material didática)**. UFPR, Curso de Engenharia Industrial Madeireira, 2016. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/APOSTILA-ANATOMIA-2P-2016.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2021.

OKINO, E. Y. A.; PASTORE, T. C. M.; CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R.; TEIXEIRA, D. E.; SANTANA, M. A. E.; FAGG, C. W. Ensaio acelerado de laboratório de três espécies de madeiras da Amazônia chamadas de Tauari, expostas aos fungos de podridão-branca e parda e resposta colorimétrica de acordo com o sistema CIE L* A* B*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 581-593, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509819609>.

OKKONEN, E. A.; RIVER, B. H. Factors affecting the strength of block-shear specimens. **Forest Prod. J.**, v. 39, n. 1, p. 43-50, 1988.

OZYHAR, T.; MOHL, L.; HERING, S.; HASS, P.; ZEINDLER, L.; ACKERMANN, R.; NIEMZ, P. Wood Material Science & Engineering, v. 11, n. 1, p. 36–45, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2014.941930>.

REIS, Pamella Caroline Marques. **Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira de espécies da Amazônia**. 2017. 81p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

RIBEIRO, Edilene Silva. **Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso**. 2017. 183p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; SOUZA, R. S.; PAULA, M. H. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos. **Nativa**, v. 4, n. 2, p. 103-106, 2016. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n02a09>.

RIBEIRO, E. S.; VARGAS, L. E. P.; PAULA, M. H.; CAMPOS, A. N. Propriedades tecnológicas da espécie *Peltogyne confertiflora* (Mart. ex Hayne) Benth. **Biodiversidade**, v. 18, n. 1, p. 28-42, 2019.

RODRIGUES, D. A.; SILVEIRA, A. P.; CASTELLO, P. A. R. Determinação de propriedades físico-mecânicas da madeira de cinco espécies madeireiras da Amazônia meridional. **Scientific Electronic Archives**, v. 7, p. 52 - 58, 2014.

RIYANTO, D. S.; GUPTA, R. Effect of Ring Angle on Shear Strength Parallel to the Grain of Wood. **Forest Prod. J.**, v. 46, n. 7/8, p. 87-92, 1996.

SALES, A.; CANDIAN, M.; CARDIN, V. S. Evaluation of the mechanical properties of Brazilian lumber (*Goupia glabra*) by nondestructive techniques. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 3, p. 1450-1454, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.020>.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, p. 469-477, 2007. <http://dx.doi.org/10.1515/HF.2007.084>.

SANTINI Jr., L.; FLORSHEIM, S. M. B.; TOMMASIELLO Filho, M. **Anatomia e identificação da madeira de 90 espécies tropicais comercializadas em São Paulo**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/43453>. Acesso em: 05 set. 2021. ISBN 978-65-5706-697-3.

SANTOS, Henrique Cativo. **Investigação química e busca de atividade antifúngica em resíduos madeireiros de *Protium puncticulatum* Macbr**. 2018. 100p. Dissertação

(Mestrado em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S. Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: Seru (*Allantoma lineata*) e Marupá (*Simarouba amara*). **Floresta**, v. 40, n. 2, p. 345-354, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv40i2.17830>.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, Laboratório de Produtos Florestais – **LPF**. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/informacoesflorestais/laboratoriodeprodutosflorestais/laboratorio-de-produtos-florestais-lpf>>. Acesso em: 06 set. 2021.

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561-568, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.043414>.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M.; PASTORE Junior, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2007.

SILVA, L. S. Z. R. S.; FERNANDES, F. P. D.; PAULA, L. S.; LAHR, F. A. R. Evaluation of the variability of compressive strength parallel to the fibers of hardwood species. **Maderas-Cienc tecnol**, v. 22, n. 2, p. 205-212, 2020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000207>.

SONDEREGGER, W.; MARTIENSSEN, A.; NITSCHKE, C.; OZYHAR, T.; KALISKE, M.; NIEMZ, P. Investigations on the physical and mechanical behaviour of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). **Eur. J. Wood Prod.**, v. 71, p. 91–99, 2013.

SOUZA, M. M.; BUFALINO, L.; GOMES, L. G. Caracterização madeira de Marupá (*Simarouba Amara* Aubl, Simaroubaceae) visando utilização na indústria moveleira. **BJD**, v. 6, n. 12, p. 98163-98185, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n12-347>.

STANGERLIN, A. F. C.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 429-438, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400004>.

SUSIN, Felipe. **Caracterização e secagem da madeira de 12 espécies amazônicas**. 2018. 125p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SZALAI, J. **Anisotropic Strength and Elasticity of Wood and Wood Based Composites**. ed. privada. Sopron, Hungary, 1994. 398p.

SZALAI, J. Indirect determination of shearing strength of wood using the anisotropic strength theory (in German). **Holz RohWerkst**, v. 50, p. 233–238, 1992.

SZÜCS, C. A. Estudo do comportamento da madeira a esforços inclinados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 04, 1992, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Instituto Brasileiro das Madeiras e das Estruturas de Madeira, 1992. v. 2, p. 53-60.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 222 om-02**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, GA: TAPPI STANDARD, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 222 om-88**: Acid-insoluble lignin. Atlanta, GA: TAPPI STANDARD, 1996.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 204om-88**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, GA: TAPPI STANDARD, 1996.

TELES, Ricardo Faustino. **Ensaio não destrutivo para avaliar o desempenho de madeiras amazônicas tratadas quimicamente**. 2014. 195p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TOMAZELLO Filho, M.; CHIMELO, J. P.; GARCIA, P. V. Madeiras de espécies florestais do estado do Maranhão: II - Caracterização anatômica. In: Congresso Florestal Brasileiro, 4, 1982, Belo Horizonte/MG. **IPEF**. Piracicaba: IPEF, 1983. n. 23, 29-36.

TOONG, W.; RATNASINGAM, J.; ROSLAN, M. K. M.; HALIS, R. The Prediction of Wood Properties from Anatomical Characteristics: The Case of Common Commercial Malaysian Timbers. **BioResources**, v. 9, n. 3, p. 5184-5197, 2014.

ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R. **Caracterização macroscópica de madeiras da Amazônia**. 1ª edição. Pará de Minas, MG: Virtual books Editora, 2019. 114p. ISBN 978-85-434-1495-9.