

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

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA
ÀS FIBRAS DE MADEIRAS DO GRUPO DAS FOLHOSAS**

NATALIA GARCIA COUTO

São Carlos
2019

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

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA
ÀS FIBRAS DE MADEIRAS DO GRUPO DAS FOLHOSAS**

NATALIA GARCIA COUTO

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: André Luís Christoforo

São Carlos
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

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

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Natalia Garcia Couto, realizada em 12/08/2019:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andre Luis Christoforo', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Andre Luis Christoforo
UFSCar

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco Antonio Rocco Lahr', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr
USP

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fernando Menezes de Almeida Filho', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho
UFSCar

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda graça, benção, alegria e força proporcionadas em cada dia desses últimos meses de mestranda. A minha família, meu irmão Gabriel, meus pais, Samuel e Suzana, vocês são meu porto seguro, minha base e meu maior exemplo de honestidade, amor, luta e fé, sem a força de vocês eu nada disso seria possível. Aos meus familiares, que mesmo de longe ajudaram com apoio e oração e em especial aos meus avós Idalina e José, e meu tio Sidirlei por me oferecerem moradia e suporte durante os últimos meses.

Agradecimento especial à duas pessoas que são exemplos de professores, pesquisadores e de ser humano. Primeiramente ao meu amigo, orientador e professor Dr. André Luis Christoforo por todo o ensinamento, suporte e companheirismo. Sua dedicação aos alunos e à sua profissão é inspiradora, sem dúvidas levarei como referência e exemplo. Também ao amigo e professor Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr, por conceder o material e estrutura para a realização da pesquisa, sem sua ajuda esse trabalho não seria possível.

Ao Laboratório de Madeiras e Estruturas em Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos, por disponibilizar o espaço e profissionais para realização dos ensaios. Ao PPGECiv por todo o conhecimento que foi passado através dos docentes nas salas de aulas e por todo o apoio que o programa ofereceu para que esse trabalho fosse realizado. Por fim aos amigos que, de perto ou de longe, me apoiaram todos os dias, em especial aos que chamo de presentes vindos da academia e do PPGECiv que se tornaram uma família para mim.

RESUMO

COUTO, Natalia Garcia. **Avaliação da relação entre a resistência ao cisalhamento e a resistência à compressão paralela às fibras de madeiras do grupo das folhosas.** 2019. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

A madeira apresenta várias vantagens em relação a outros materiais empregados no setor da construção civil. O documento normativo ABNT NBR 7190:1997 estabelece os métodos de ensaio para obtenção das propriedades físicas e mecânicas do material, porém as premissas exigem procedimentos realizados em laboratórios especializados e de alto custo. Considerando a impossibilidade da realização dos ensaios, o próprio documento estabelece relações entre propriedades visando facilitar a caracterização do material. No que se refere às relações entre as propriedades de resistência ao cisalhamento e a resistência à compressão paralela às fibras a norma apresenta valores distintos em seu texto. O trabalho objetivou investigar, considerando os resultados de ensaios experimentais, a relação entre essas propriedades obtidas com auxílio do método dos mínimos quadrados, considerando para tanto dez espécies de madeiras do grupo das folhosas. Os resultados foram comparados com os valores de relações estabelecidas pela ABNT NBR 7190:1997, sendo que o coeficiente ótimo encontrado considerando o conjunto de todas as espécies foi 86,4% superior ao apresentado pela norma brasileira. Em relação a variação da relação entre as propriedades investigadas considerando as diferentes classes de resistência da madeira, no presente estudo não foi identificado decréscimo nos valores dos coeficientes ótimos conforme as classes aumentam, situação que a ABNT NBR 7190:1997 expõe em seu texto, apresentando assim outro resultado divergente.

Palavras-chave: Resistência à compressão paralela às fibras. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Mínimos quadrados.

ABSTRACT

COUTO, Natalia Garcia. **Evaluation of the relationship between strength in shear and strength in compression parallel to the grain of hardwoods group.** 2019. 71f. Dissertation (Master on Civil Engineering) - Federal University of São Carlos. São Carlos, 2019.

Wood presents several advantages when compared with other materials employed in the civil construction sector. In Brazil, the standard ABNT NBR 7190: 1997 establishes test methods to determine physical and mechanical properties. However, tests demands procedures on specialized and high-cost laboratories. The Brazilian code displays different values for relations between shear strength and compression strength parallel to the fibers. This study aimed to investigate, considering the results of the compressive strength and shear strength parallel to the fibers tests, the relationship between these properties obtained with the statistical assistance of least square method and considering ten hardwood wood species. The results were compared with the relationship values disposed on the Brazilian Code ABNT NBR 7190:1997, being the greatest coefficient found 86,4% higher than the coefficient presented by the Brazilian code, considering the set of all species. Regarding the variation of the relationship between the investigated properties, considering the different classes of wood resistance, no study was identified that decreases in the values of the greatest coefficients as the classes increases, a situation that ABNT NBR 7190: 1997 exposes in its text, thus presenting another divergent result.

Key-words: Compressive strenth parallel to the grain. Shear strength parallel to the grain. Relations between properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tronco de Cambará-Rosa.....	17
Figura 2 – Madeira de Cedro na face tangencial (a) e face radial (b)	20
Figura 3 – Árvore de Copaíba	23
Figura 4 – Árvore de Canafistula	26
Figura 5 – Madeira de Oiticica Amarela: face tangencial (a) e face radial (b)	28
Figura 6 – Madeira de Angelim Araroba: face tangencial (a) e face radial (b).....	31
Figura 7 – Tronco da madeira Louro Verde	33
Figura 8 – Madeira de Guaiçara: (a) Árvore (b) Flores e folhas	36
Figura 9 – Madeira de Cedroarana: (a) Face tangencial (b) Face radial	39
Figura 10 – Tora da madeira Maçaranduba.....	41
Figura 11 – Cisalhamento em peças de madeira	43
Figura 13 – Compressão em peças de madeira: (a) paralela às fibras, (b) normal às fibras e (c) inclinada às fibras	45
Figura 14 – Dimensões em centímetros do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão paralela às fibras, segundo a ABNT NBR 7190:1997.....	52
Figura 15 – (a) Corpos de prova prontos para ensaio de resistência à compressão paralela às fibras; (b) Corpo de prova com o aparato para fixação dos relógios comparadores	52
Figura 16 – Procedimento de carga para o ensaio	52
Figura 17 – (a) Corpo de prova com relógios comparadores fixados; (b) Corpo de prova sendo ensaiado	53
Figura 18 – Dimensões em centímetros do corpo de prova para ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, segundo a ABNT NBR 7190:1997	54
Figura 19 – Corpo de prova de resistência ao cisalhamento antes de ser ensaiado.....	54
Figura 20 – (a) Corpo de prova sendo ensaiado para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; (b) Corpo de prova após a ruptura	55
Figura 21 – Relações f_{v0}/f_{c0} considerando as espécies de maneira individual	63
Figura 22 – Relações f_{v0}/f_{c0} considerando as espécies separadas por classes de resistência....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Cambará segundo o IPT (2018).	18
Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Cambará segundo o Arruda (2015)	19
Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira de Cedro segundo o IPT (2018)	20
Tabela 4 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o IPT (2018)	20
Tabela 5 – Propriedades físicas da madeira de Cedro segundo o Dias & Lahr (2004)	21
Tabela 6 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o Dias & Lahr (2004)	21
Tabela 7 – Propriedades físicas da madeira de Copaíba segundo o IPT (2018)	23
Tabela 8 – Propriedades mecânicas da madeira de Copaíba segundo o IPT (2018)	24
Tabela 9 – Propriedades físicas da madeira de Copaíba segundo o Aquino <i>et al.</i> (2018)	25
Tabela 10 – Propriedades mecânicas da madeira de Copaíba segundo o Aquino <i>et al.</i> (2018)	25
Tabela 11 – Valores médios obtidos para madeira de Canafístula segundo o Almeida <i>et al.</i> (2016)	27
Tabela 12 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Canafístula segundo o Vivian <i>et al.</i> (2010)	27
Tabela 13 – Propriedades físicas da madeira de Oiticica Amarela segundo o IPT (2018)	29
Tabela 14 – Propriedades mecânicas da madeira de Oiticica Amarela segundo o IPT (2018)	29
Tabela 15 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de <i>Clarisia racemosa</i> segundo o Jesus <i>et al.</i> (2015)	30
Tabela 16 – Propriedades físicas da madeira de <i>Varaireopsis Araroba</i> segundo o IPT (2018)	31
Tabela 17 – Propriedades mecânicas da madeira de <i>Varaireopsis Araroba</i> segundo o IPT (2018)	31
Tabela 18 – Valores médios obtidos para madeira de Angelim araroba segundo o Almeida <i>et al.</i> (2016)	32
Tabela 19 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de <i>Vataireopsis sp.</i> segundo o Jesus <i>et al.</i> (2015)	32
Tabela 20 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de <i>Ocotea sp.</i> segundo o Araújo (2007)	34
Tabela 21 – Valores médios das propriedades físicas da madeira de <i>Ocotea sp.</i> segundo Dias & Lahr (2004)	35
Tabela 22 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de <i>Ocotea sp.</i> segundo Dias & Lahr (2004)	35
Tabela 23 – Valores médios das propriedades físicas da madeira de <i>Luetzelburgia sp.</i> segundo Dias & Lahr (2004)	37
Tabela 24 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de <i>Luetzelburgia sp.</i> segundo Dias & Lahr (2004)	37
Tabela 25 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de <i>Luetzelburgia sp.</i> segundo Moreira <i>et al.</i> (2017)	38
Tabela 26 – Propriedades físicas da madeira de <i>Cedrelinga cateniformis</i> segundo o IPT (2018)	39
Tabela 27 – Propriedades mecânicas da madeira de <i>Cedrelinga cateniformis</i> segundo o IPT (2019)	40
Tabela 28 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de <i>Luetzelburgia sp.</i> segundo Moreira <i>et al.</i> (2017)	40
Tabela 29 – Propriedades físicas da madeira de <i>Manilkara sp.</i> segundo o IPT (2018)	42
Tabela 30 – Propriedades mecânicas da madeira de <i>Manilkara sp.</i> segundo o IPT (2018)	42

Tabela 31 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de <i>Manilkara sp.</i> segundo o Jesus <i>et al.</i> (2015)	43
Tabela 32 – Corpo de prova sendo ensaiado para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em MPa	57
Tabela 33 – Valores resultantes do ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em MPa.....	60
Tabela 34 – Relações considerando cada espécie individualmente	62
Tabela 35 – Relações considerando as classes de resistência propostas pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997)	63

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Geral	15
1.1.2 Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MADEIRA TROPICAL	
AVALIADAS	17
2.1.1 Cambará Rosa (<i>Erismia sp.</i>).....	17
2.1.2 Cedro (<i>Cedrella sp.</i>)	19
2.1.3 Copaíba (<i>Copaiba resinifera</i>).....	22
2.1.4 Canafistula (<i>Cassia ferruginea</i>).....	25
2.1.5 Oiticica amarela (<i>Clarisia racemosa</i>).....	28
2.1.6 Angelim Araroba (<i>Vataireopsis araroba</i>).....	30
2.1.7 Louro Verde (<i>Ocotea sp.</i>).....	33
2.1.8 Guaiçara (<i>Luetzelburgia sp.</i>)	36
2.1.9 Cedroarana (<i>Cedrelinga Cateniformis</i>)	38
2.1.10 Maçaranduba (<i>Manilkara sp.</i>).....	41
2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO EM MADEIRA.....	43
2.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	44
2.4 ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA	45
2.4.1 NBR 7190:1997.....	45
2.4.2 Estudos anteriores.....	47
2.4.3 EN 338:2003.....	49
2.5 CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	50
3. METODOLOGIA	51
3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS ..	51
3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS	
FIBRAS	54
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
4.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	57
4.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS.....	59
4.3 DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES	
ATRAVÉS DE MÉTODO ESTATÍSTICO	62
5. CONCLUSÃO.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material muito utilizado desde os primórdios da humanidade, esteve presente em atividades humanas habituais, como a superação de obstáculos naturais, transporte, agricultura, entre outros. Por ser um material versátil, foi sempre fundamental para as necessidades humanas e a sua ampla disponibilidade foi um fator importante para uma grande expansão na sua utilização na construção de estruturas, pontes, silos e telhados. (CHRISTOFORO *et al.*, 2013)

A alta resistência em relação ao seu peso é uma característica importante e de destaque da madeira, sendo essa relação três vezes maior que para o aço e dez vezes maior que para o concreto. Já em relação a competitividade, a madeira tem melhor desempenho em relação a outros materiais do ponto de vista econômico em base de custos iniciais, além de apresentar vantagens quando comparado seu custo a longo prazo. (CALIL JÚNIOR; DIAS, 1997). REMAGE *et al.* (2017) destacam a eficiência da madeira em estrutura longa ou extensa, nas quais uma parte significativa da carga a ser suportada é seu próprio peso. Além disso, em relação às forças sísmicas, como as ações impostas à estrutura depende fortemente de sua massa, estruturas mais pesadas tendem a sofrer forças sísmicas maiores. Por isso, as edificações com elementos estruturais em madeira apresentam bom desempenho nesse tipo de solicitação.

A madeira é ser um material biodegradável, reutilizável e reciclável. A construção em madeira requer não apenas menos energia para obtenção do material, mas também proporciona um menor consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação, quando comparado a qualquer outro material de construção. Por exemplo, edifícios de aço e concreto incorporam e consomem de 12% a 20% mais energia do que edifícios de madeira. Construir com madeira também resulta na redução de resíduos, prédios de aço e concreto produzem de 6% a 16% mais resíduos sólidos do que a madeira, tanto na fabricação quanto na construção. (WANG; TOPPINEN; JUSLIN, 2014)

O Brasil possui cerca de 8.715 espécies de árvores em seu território, o que corresponde a 14% das 60.065 que existem no planeta, segundo o estudo realizado por Beech *et al.* (2017). Em relação a cobertura florestal, o Brasil possui uma área significativa, seja de nativas ou plantadas. No que diz respeito às nativas, segundo o Sistema Florestal Brasileiro

(2016), a área é de aproximadamente 485,8 milhões de hectares, o que corresponde a 58% do território total do país. Em relação as florestas plantadas, em 2016, a área era de aproximadamente 7,84 milhões de hectares, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2017).

Em muitos países da Europa, da Ásia e da América (principalmente Estados Unidos e Canadá) a madeira tem sido intensivamente empregada. Estados Unidos e Japão são exemplos de países que, apesar de culturas distintas, aplicam a madeira em larga escala, alcançando um emprego em suas residências de aproximadamente 85% no país americano e 95% no país asiático (PINHEIRO;LAHR, 2001). Segundo Remage *et al.* (2017) no Reino Unido aproximadamente 20% das novas residências são em estruturas de madeira, na Escócia esse percentual é cerca de 70%. Já de acordo com Hemstrom (2016) no Japão, 45% das construções residenciais são em wood frame, na Nova Zelândia esse percentual é de 85%, chegando aos impressionantes 90% na América do Norte.

Apesar de possuir um grande potencial madeireiro, o Brasil não tem explorado devidamente esse material na construção civil, dentre os fatores que limitam tal emprego, destacam-se as restrições de natureza histórico-cultural, o desconhecimento das espécies e de suas propriedades, a escassez de mão-de-obra qualificada e de investimentos no setor (CURY; TOMAZELLO FILHO, 2011).

Outro preconceito referente a construção de edificações com sistemas estruturais em madeira, é em relação a combustibilidade do material e a insegurança diante de potenciais riscos relacionados a incêndios. Essa situação é fruto do desconhecimento do comportamento da madeira em relação ao fogo (MORAES; FIGUEROA, 2009). Calil & Dias (2005) afirmam grandes peças de madeira têm boa resistência ao fogo, com desempenho superior a outros materiais em condições severas de exposição. Os autores explicam que isto ocorre porque, em uma situação de incêndio, forma-se uma camada de carvão externamente nas peças de madeira e como o material não possui boa condutividade térmica, essa camada se torna isolante e evita que a temperatura interna nas peças aumente demasiadamente, mantendo parte de sua resistência. Diferente do que ocorre, por exemplo, em peças metálicas, onde a seção se aquece rapidamente devido sua alta condutividade.

Laroca & Matos (2003) destacam que a evidente vocação florestal brasileira poderia auxiliar no controle do déficit habitacional, que constitui um problema social de enormes proporções no país. Para isso, os autores evidenciam a necessidade da difusão de informações referente aos benefícios das construções em madeira e das características do material, principalmente para o mercado consumidor. Entre as informações que devem ser conhecidas e divulgadas, estão as propriedades da madeira (físicas, químicas, mecânicas e

anatômicas), onde Almeida *et al.* (2014) destacam que o conhecimento dessas propriedades é imprescindível para uma utilização racional do material e um correto dimensionamento.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através do seu documento normativo número 7190 de 1997 (ABNT NBR 7190:1997), intitulado de “Projeto de Estruturas de Madeira”, estabelece as premissas e métodos de cálculo para dimensionamento das estruturas em madeira, assim como os métodos de ensaio para obtenção das propriedades físicas e mecânicas do material. A norma exige procedimentos realizados em laboratórios especializados e com equipamentos de alto custo para a obtenção das propriedades das espécies de madeira. Considerando a impossibilidade da obtenção dessas propriedades via experimentação, a norma brasileira propõe algumas relações entre propriedades com base no ensaio de compressão paralela às fibras.

Para as folhosas, que são usualmente utilizadas em projetos estruturais devido a sua alta resistência, a NBR 7190 (ABNT,1997) estabelece no Item 6.3.3, entre outras, que a resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) é de 0,12 (12%) da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$), sem fazer distinção de classes de resistências. Entretanto, na Tabela 9 (Classes de resistências das dicotiledôneas) a norma apresenta valores de resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo às fibras divididos em classes, sendo a relação entre essas propriedades variáveis de 0,20 (20%) a 0,13 (13%) para as diferentes classes. Portanto, devido a contradição que a NBR 7190 (ABNT,1997) apresenta, se faz necessário estudos para que possam ser feitas novas avaliações das relações entre as propriedades de resistência à compressão e cisalhamento paralelo às fibras entre diferentes espécies e classes de resistência das madeiras folhosas, visto que, as propriedades em questão são de extrema importância para o dimensionamento de estruturas em madeira.

Diante do exposto, o trabalho tem como objetivo investigar, com o auxílio dos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, a relação entre essas propriedades considerando para tanto dez espécies de madeira (Cambará Rosa, Cedro, Copaíba, Canafístula, Oiticica Amarela, Angelim Araroba, Louro Verde, Guaiçara, Maçaranduba e Cedroarana) distribuídas nas classes de resistência do grupo das folhosas (madeiras duras). Com os valores característicos das propriedades obtidos experimentalmente, será possível estimar e avaliar as relações entre as resistências, com o auxílio estatístico formulado pelo método de Newton com aproximação quadrática, observando se há divergências nos valores das relações entre as classes de resistências, assim como, em relação aos valores estabelecidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Esse trabalho consta como um estudo inédito no Brasil e também internacionalmente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Essa pesquisa objetivou investigar, com o auxílio dos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, a relação entre essas propriedades considerando para tanto dez espécies de madeira tropicais (Cambará Rosa, Cedro, Copaíba, Canafístula, Oiticica Amarela, Angelim Araroba, Louro Verde, Guaiçara, Maçaranduba e Cedroarana) distribuídas nas classes de resistência do grupo das folhosas (madeiras duras). Com os valores característicos das propriedades obtidos experimentalmente, foi possível estimar e avaliar as relações entre as resistências, com o auxílio estatístico formulado pelo método de Newton com aproximação quadrática, observando se houve divergências nos valores das relações entre as classes de resistências, assim como, em relação aos valores estabelecidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Obter experimentalmente os valores das propriedades de resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) de dez espécies de madeiras tropicais;
- Encontrar a relação entre $f_{v0,k}$ e $f_{c0,k}$ de dez espécies de madeiras tropicais;
- Avaliar de forma quantitativa a equivalência dos resultados obtidos com as relações apresentadas pela Tabela 9 (página 16) e Item 6.3.3 da NBR 7190 (ABNT, 1997);
- Verificar se as relações estudadas no presente trabalho constam em outras normas internacionais;
- Fundamentar possível revisão da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997);

1.2 JUSTIFICATIVA

O documento normativo NBR 7190 (ABNT, 1997), responsável pelas premissas para projeto e dimensionamento de estruturas em madeira no Brasil, exige procedimentos realizados em laboratórios especializados e com equipamentos de alto custo para a obtenção das propriedades das espécies de madeira. Considerando a impossibilidade da obtenção dessas propriedades via experimentação, a norma brasileira propõe algumas relações entre propriedades com base no ensaio de compressão paralela às fibras.

Para as folhosas, que são usualmente utilizadas em projetos estruturais devido a sua alta resistência, a NBR 7190 (ABNT,1997) estabelece no Item 6.3.3, entre outras, que a resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) é de 0,12 (12%) da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$), sem fazer distinção de classes de resistências. Entretanto, na Tabela 9 (Classes de resistências das dicotiledôneas, página 16) a norma apresenta valores de resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo às fibras divididos em classes, sendo a relação entre essas propriedades variáveis de 0,20 (20%) a 0,13 (13%) para as diferentes classes.

A norma europeia *Deutsches Institut für Normung European Standard - Structural timber:Strength classes* (EN 338:2003) também apresenta relações para determinação de propriedades da madeira, porém o documento usa como referência o valor da resistência característica na flexão ($f_{m,k}$). A norma brasileira é a única norma que utiliza a resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) como estimador para as outras propriedades, o que ocasiona a inexistência de outras pesquisas sobre o assunto. Portanto, devido a contradição que a NBR 7190 (ABNT, 1997) apresenta e a escassez de estudos sobre o assunto, se faz necessário estudos para que possam ser feitas novas avaliações das relações entre as propriedades de resistência à compressão e cisalhamento paralelo às fibras entre diferentes espécies e classes de resistência das madeiras folhosas.

1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho desenvolvido está organizado em capítulos. O trabalho é dividido em seis capítulos.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica.

O capítulo 3 apresenta a metodologia de pesquisa.

O capítulo 4 apresenta os resultados e as discussões referentes aos mesmos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

O capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas no corpo do texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o objetivo de inserir este trabalho no contexto dos atuais assuntos relativos ao tema da pesquisa, serão expostos a seguir os principais conceitos relacionados às relações entre propriedades da madeira e também das espécies que serão utilizadas.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MADEIRA TROPICAL AVALIADAS

Serão utilizadas dez espécies de madeiras nativas do grupo das folhosas para desenvolvimento do trabalho, nos itens a seguir são expostas informações sobre cada uma delas.

2.1.1 CAMBARÁ ROSA (*ERISMA SP.*)

A madeira Cambará Rosa (Figura 1), também conhecida como Cedrinho, possui ocorrência nos estados do Brasil: Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia. Na área comercial geralmente a altura chega a 10,30 m, possui cerne e albúrneo distintos pela cor, cerne castanho avermelhado, cheiro e gosto imperceptíveis, baixa durabilidade ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos), albúrneo e cerne de fácil preservação e secagem rápida. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, 2009)

Figura 1 – Tronco de Cambará-Rosa



Fonte: Madreira São Paulo (2016a)

Com uma densidade básica de 480 kg/m³ (IPT, 2018), é considerada madeira de baixa densidade e classificada como leve através dos critérios apresentados por Grobério & Lahr (2002), que segundo os autores é indicada para uso na construção civil leve interna e estrutural (ripas, caibros), em esquadrias, uso temporário (andaimes, fôrmas de concreto, pontaletes), utilidade geral (forros, lambris, painéis, molduras), assim como para uso na indústria moveleira, de embalagens, painéis e compensados. As Tabelas 1 apresenta algumas propriedades físicas e mecânicas da espécie segundo o IPT (2018):

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Cambará segundo o IPT (2018)

Propriedades	
$\rho_{ap,15}$ (kg/m ³)	590
ρ_{verde} (kg/m ³)	1110
$\rho_{básica}$ (kg/m ³)	480
f_{c0} (MPa)	42,2
f_M (MPa)	80,2
f_{v0} (MPa)	7,4
E_M (MPa)	10395
E_{c0} (MPa)	12101

$\rho_{ap,15}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras em 15% de teor de umidade; f_M = módulo de ruptura na flexão estática em 15% de teor de umidade; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com a madeira verde; E_M = módulo de elasticidade na flexão estática em 12% de teor de umidade. E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras em 12% de teor de umidade.

Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Arruda *et al.* (2015) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de quatro madeiras tropicais tratadas termomecânicamente para a produção de pisos de madeira. Foram selecionadas as seguintes espécies: *Erismia uncinatum* Warm *Hymenolobium sp.*, *Tachigali myrmecophila* Ducke, *Qualea paraensis* Ducke. Constatou-se que o tratamento termomecânico foi eficiente para diminuir o teor de umidade e a molhabilidade superficial das madeiras. A densidade aparente das madeiras *Warm Hymenolobium sp* e *Qualea paraensis* Ducke aumentou significativamente, além de apresentar aumento na resistência à compressão. A cor da madeira de todas as espécies tornou-se mais escura, e os valores médios das propriedades mecânicas aumentaram em comparação com os valores médios de

referência. A Tabela 2 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas obtidas no estudo.

Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Cambará segundo o Arruda (2015)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	49,72
f_{t90} (MPa)	3,04
f_{v0} (MPa)	3,73
f_m (MPa)	87,48
E_m (MPa)	10787
f_{H0} (MPa)	57,86
f_{H90} (MPa)	38,64

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_m = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_m = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática; f_{H0} = dureza paralela as fibras; f_{H90} = dureza normal às fibras.

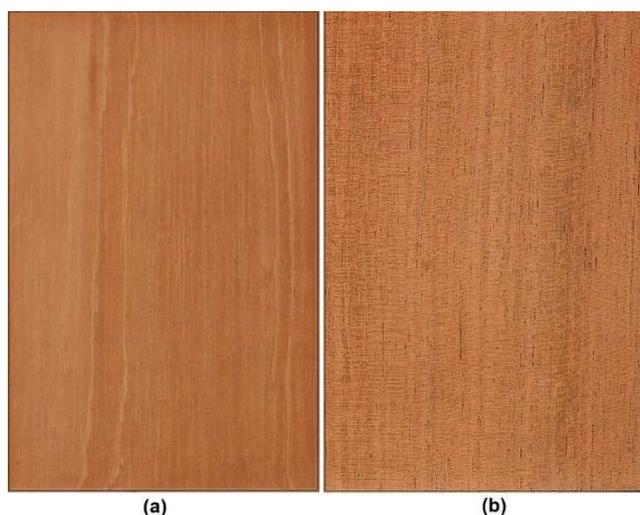
Fonte: Adaptado de Arruda (2015).

2.1.2 CEDRO (CEDRELLA SP.)

A madeira de Cedro Rosa (Figura 2), também conhecida como Cedrinho, possui ocorrência nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Rondônia, Santa Catarina, São Paulo, assim como em outros outros países da América do Sul como Argentina, Bolívia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru, Suriname (IPT, 2009). O Cedro é uma árvore com altura variando entre 10 e 25m e DAP (diâmetro à altura do peito), entre 40 e 80cm, apresenta tronco reto ou pouco tortuoso, com fuste de até 15m. É uma madeira de crescimento relativamente rápido, resistência moderada aos ataques xilófagos e fácil secagem. (IPEF, 2005)

A madeira de Cedro possui uma densidade básica de 440 kg/m³ sendo considerada uma madeira leve (IPEF, 2005), tem indicação de uso para a construção civil leve, assim como em esquadrias, indústria moveleira, de embalagens, painéis e compensados. (GROBÉRIO; LAHR, 2002). Quanto as propriedades mecânicas, possui um valor médio de 31,5 MPa de resistência à compressão paralela às fibras, conforme o Anexo E da ABNT NBR 7190:1997.

Figura 2 – Madeira de Cedro na face tangencial (a) e face radial (b)



Fonte: IPT (2013)

As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas da espécie segundo o IPT (2018):

Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira de Cedro segundo o IPT (2018)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(15\%)}$	530
$\rho_{básica}$	440
Contração (%)	
Radial	4,0
Tangencial	6,2
Volumétrica	11,6

$\rho_{ap(15\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; $\rho_{básica}$ = densidade básica.
Fonte: Adaptado de IPT (2019).

Tabela 4 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	$\rho_{ap,15}$	ρ_v
f_{c0} (MPa)	39,1	28,0

Tabela 4 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o IPT (2018) - continuação

Propriedades mecânicas	Densidade	
	$\rho_{ap,15}$	ρ_v
f_{i90} (MPa)	-	5,1
f_{v0} (MPa)	-	7,1
f_{s0} (MPa)	-	0,6
f_m (MPa)	81,2	62,8
E_{c0} (MPa)	-	9630
E_m (MPa)	-	8336

Dias e Lahr (2004), utilizaram quarenta espécies nativas brasileiras pertencentes ao grupo das folhosas, dentre elas a Cedro-doce (*Cedrella sp.*), para investigarem as relações entre a densidade aparente com as demais propriedades físicas, de resistência e de rigidez. Com resistência característica à compressão ($f_{c0,k}$) correspondente à 27,9 MPa, a madeira de Cedro-doce foi enquadrada na classe de resistência C20. As Tabela 5 e 6 apresentam respectivamente os valores médios das propriedades físicas e mecânicas determinadas pelos autores.

Tabela 5 – Propriedades físicas da madeira de Cedro segundo o Dias & Lahr (2004)

Propriedades físicas		
ρ_{12} (kg/m ³)	RRT (%)	RTT (%)
512	3,60	5,20

ρ_{12} = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; RRT = retração radial total; RTT = retração tangencial total.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Tabela 6 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o Dias & Lahr (2004)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	33
f_{t0} (MPa)	70

Tabela 6 – Propriedades mecânicas da madeira de Cedro segundo o Dias & Lahr (2004) - continuação

Propriedades mecânicas	
f_{t90} (MPa)	3,0
f_{v0} (MPa)	9,4
f_{s0} (MPa)	0,5
f_M (MPa)	58
E_{c0} (MPa)	8358
E_{t0} (MPa)	9851
E_m (MPa)	8866
f_{H0} (MPa)	51
f_{H90} (MPa)	34
W (N·m)	5,1

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; 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 convencional no ensaio de flexão estática; f_{H0} = dureza paralela as fibras; f_{H90} = dureza normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004).

2.1.3 COPAÍBA (COPAIBA RESINÍFERA)

Segundo o IPEF (2008) a madeira Copaíba (Figura 3), é encontrada no nordeste da Argentina, sul da Bolívia, norte do Paraguai e no Brasil, em todos os estados das regiões Sudeste e Centro-Oeste e nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia e Tocantins. Possui altura de 5 a 15 m, DAP de 20 a 60 cm, tronco cilíndrico e tortuoso. Em relação as características sensoriais, possui cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho-avermelhado, alburno bege-rosado; gosto ligeiramente adstringente; cheiro característico quando recém cortada e imperceptível depois de seca. Apresenta alta resistência aos ataques xilófagos, baixa permeabilidade e uma secagem natural lenta. (IPT, 2009)

Em relação a sua densidade, segundo o IPEF (2008), apresenta valor médio de 0,7 g/cm³, sendo considerada uma madeira muito pesada segundo os critérios apresentados por

Grobério & Lahr (2002) e indicada para o uso na construção civil leve externa e interna, estrutural e utilidades em geral. A madeira de Copaíba permite uma boa extração de óleo-resina, utilizado na fabricação de combustíveis para motores diesel e de medicamentos como antissépticos, cicatrizantes, anti-inflamatórios, diuréticos, laxantes e expectorantes. (IPEF, 2008).

Figura 3 – Árvore de Copaíba



Fonte: Madereira São Paulo (2016b)

As Tabelas 7 e 8 apresentam algumas propriedades físicas e mecânicas segundo o IPT (2018):

Tabela 7 – Propriedades físicas da madeira de Copaíba segundo o IPT (2018)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(15\%)}$	690
$\rho_{básica}$	575
Contração (%)	
Radial	3,8

Tabela 7 – Propriedades físicas da madeira de Copaíba segundo o IPT (2018) - continuação

Propriedades físicas	
Contração (%)	
Tangencial	7,1
Volumétrica	13,4

$\rho_{ap(15\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; $\rho_{básica}$ = densidade básica.

Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Tabela 8 – Propriedades mecânicas da madeira de Copaíba segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	$\rho_{ap,15}$	ρ_v
f_{c0} (MPa)	50	38,7
f_{t90} (MPa)	-	4
f_{s0} (MPa)	-	0,6
f_M (MPa)	112,5	38,7
E_{c0} (MPa)	-	9630
E_M (MPa)	-	10339

ρ_v = considerando a madeira verde; ρ_{15} = considerando a madeira com umidade em 15%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_m = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática.

Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Aquino *et al.* (2018) seguindo as premissas da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, caracterizou de forma completa um lote de madeira Copaíba (*Copaifera sp.*) e com a análise de variância (ANOVA), utilizou modelos de regressão para estimar os valores de resistência e rigidez em função de densidade aparente. As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados obtidos pelos os autores para os valores médios das propriedades físicas e mecânicas à umidade padrão de 12%.

Tabela 9 – Propriedades físicas da madeira de Copaíba segundo o Aquino *et al.* (2018)

Propriedades físicas		
ρ_{12} (kg/m ³)	RRT (%)	RTT (%)
700	3,51	7,03

ρ_{12} = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; RRT = retração radial total; RTT = retração tangencial total.

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

Tabela 10 – Propriedades mecânicas da madeira de Copaíba segundo o Aquino *et al.* (2018)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	50
f_{t0} (MPa)	71
f_{t90} (MPa)	3,0
f_{v0} (MPa)	15
f_{s0} (MPa)	0,6
f_m (MPa)	80
E_{c0} (MPa)	12845
E_{t0} (MPa)	13382
E_m (MPa)	12440
f_{H0} (MPa)	79
f_{H90} (MPa)	47
W (N·m)	5,90

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_m = resistência convencional no ensaio de flexão estática; 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 convencional no ensaio de flexão estática; f_{H0} = dureza paralela as fibras; f_{H90} = dureza normal às fibras; W = tenacidade.

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

2.1.4 CANAFÍSTULA (CASSIA FERRUGINEA)

A madeira Canafístula (Figura 4) possui árvore de 10 a 20 metros de altura e 35 a 90 cm de DAP. Tem ocorrência no Brasil nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, já na América do Sul pode ser encontrada na

Argentina, Paraguai e Uruguai. É uma espécie que apresenta crescimento rápido, durabilidade moderada ao apodrecimento, cheiro e gosto imperceptíveis, baixa permeabilidade à tratamentos preservativos sob pressão e possui cerne altamente resistente a fungos e cupins. (EMBRAPA, 2002).

Em relação as propriedades da madeira, possui uma densidade aparente de aproximadamente 871 kg/m^3 e uma resistência à compressão paralela às fibras média de 52 MPa segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, sendo considerada uma madeira muito pesada segundo os critérios propostos por Grobério & Lahr (2002). Em relação ao uso, é indicada para a construção civil (vigas, caibros, mourões, dormentes), fabricação de esquadrias e móveis, indústria naval, assim como, devido seu efeito ornamental, é utilizada no paisagismo de áreas urbanas e jardins. (EMBRAPA, 2002)

Figura 4 – Árvore de Canafístula



Fonte: Diewald (2013)

Almeida *et al.* (2016) realizaram um estudo com o objetivo avaliar a possibilidade de estimar a resistência à compressão paralela às fibras (fc_0) em função da densidade, utilizando três espécies de madeiras tropicais brasileiras: Canafístula (*Cassia ferruginea*); Angelim araroba (*Vataireopsis araroba*) e Castelo (*Gossypiospermum* sp.). A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos pelos autores para as propriedades físicas e mecânicas da madeira de Canafístula, determinadas experimentalmente segundo as premissas da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 11 – Valores médios obtidos para madeira de Canafístula segundo o Almeida et al. (2016)

Propriedades físicas	
ρ_{12} (g/cm ³)	0,86
f_{c0} (MPa)	51,96

ρ_{12} = densidade aparente a 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras
 Fonte: Adaptado de Almeida *et al.* (2016)

Vivian *et al.* (2016) caracterizaram as propriedades físicas e mecânicas da madeira de Canafístula proveniente de árvores com 10 anos, por meio da determinação da massa específica básica, da retratibilidade, do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em flexão estática, do módulo de elasticidade em compressão perpendicular, da resistência máxima à compressão paralela à grã, da dureza de Janka, da resistência máxima ao cisalhamento e da resistência ao choque. Os autores utilizaram as normas COPANT 30:1-004 (1971), COPANT 30:1-005 (1971), ASTM D 143-94 (2000) e NF B 51-009 (1942). A Tabelas 12 apresenta alguns dos resultados obtidos pelos autores para as propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 12 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Canafístula segundo o Vivian et al. (2010)

Propriedades físicas	
MEB (g/cm ³)	0,50
MEA (g/cm ³)	0,64
RRT (%)	3,3
RTT (%)	6,4
RVT (%)	10,08
f_{c0} (MPa)	30,31
f_{v0} (MPa)	13,22

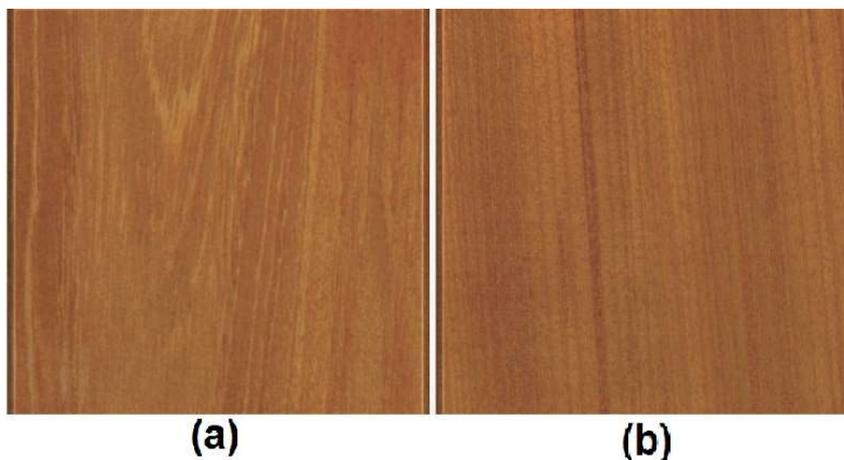
MEB = massa específica básica; MEA = massa específica aparente a 15%; RRT = retração radial total; RTT = retração tangencial total, RVT = volumétrica total; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.
 Fonte: Adaptado de Vivian *et al.* (2010)

2.1.5 OITICICA AMARELA (*CLARISIA RACEMOSA*)

A Oiticica Amarela (Figura 5) é ocorrente nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará e Rondônia. A madeira possui altura comercial de aproximadamente 13 metros, DAP em média de 65 centímetros, tronco retilíneo, cerne e alborno distintos pela cor, cerne de cor amarela para castanho-amarelado, alborno branco-amarelado, além de cheiro e gosto imperceptíveis. Quanto a secagem, o processo ao ar livre é moderadamente rápida, a madeira apresenta dificuldade de tratamento devido à alta impermeabilidade e baixa resistência à ataques xilófagos. (IPT, 2013)

A Oiticica Amarela apresenta massa específica aparente média, em 12% de umidade, de 756 kg/m³, e uma resistência à compressão paralela às fibras de 69,90 MPa, segundo o Anexo E da ABNT NBR 7190:1997, sendo classificada como madeira da Classe C60 segundo a norma brasileira. Quanto ao seu uso, é indicada para construção civil leve interna e externa, estrutural, estruturas temporárias (andaimes, escoras, fôrmas), indústria moveleira (alta qualidade), fabricação de instrumentos musicais, compensados e embalagens. Pode substituir outras madeiras como a Cupiúba, Garapa, Itaúba e Louro Vermelho, que são também utilizadas na construção civil. (IPT, 2013)

Figura 5 – Madeira de Oiticica Amarela: face tangencial (a) e face radial (b)



Fonte: IPT (2013)

As Tabelas 13 e 14 apresentam algumas propriedades físicas e mecânicas segundo o IPT (2018):

Tabela 13 – Propriedades físicas da madeira de Oiticica Amarela segundo o IPT (2018)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(15\%)}$	560
$\rho_{básica}$	467
Contração (%)	
Radial	2,2
Tangencial	4,4
Volumétrica	7,3

$\rho_{ap(15\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; $\rho_{básica}$ = densidade básica.
 Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Tabela 14 – Propriedades mecânicas da madeira de Oiticica Amarela segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	ρ_{15}	ρ_v
f_{c0} (MPa)	45,1	36,9
f_{i90} (MPa)	-	5,8
f_{v0} (MPa)	-	9,8
f_{s0} (MPa)	-	0,6
f_M (MPa)	80,3	72
E_{c0} (MPa)	-	11513
E_M (MPa)	-	7963

ρ_v = considerando a madeira verde; ρ_{15} = considerando a madeira com umidade em 15%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{i90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática.
 Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Jesus et al. (2015) realizaram um estudo objetivando relacionar ao nome vulgar de algumas espécies mato-grossenses à sua classe de resistência, a fim de subsidiar os engenheiros da região em seus projetos de estruturas de madeira. Para isto, os autores

caracterizaram 26 espécies nativas de Mato Grosso, utilizando as premissas da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997. Entre as madeiras utilizadas está a *Clarisia racemosa* onde a Tabela 15 apresenta os resultados obtidos pelos autores para as propriedades físicas e mecânicas para essa espécie.

Tabela 15 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de *Clarisia racemosa* segundo o Jesus *et al.* (2015)

Propriedades mecânicas	
$f_{c0,k}$ (MPa)	59,14
$f_{t0,k}$ (MPa)	53,72
$f_{v0,k}$ (MPa)	8,69
$E_{c0,m}$ (MPa)	17512
ρ_{12} (kg/m ³)	696

ρ_{12} = densidade aparente em 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; $E_{c0,m}$ = valor médio do módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Jesus *et al.* (2015)

2.1.6 ANGELIM ARARоба (VATAIREOPSIS ARARоба)

Também conhecida como Angelim Amargoso, a madeira de Angelim Araroba (Figura 6) tem ocorrência nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima. A madeira apresenta cerne e alborno distintos pela cor (cerne castanho-amarelado ou castanho-avermelhado), cerne com aspecto fibroso, cheiro imperceptível e gosto amargo. Quanto a durabilidade, o cerne apresenta alta resistência ao apodrecimento e ação de cupins, em relação a tratabilidade, a madeira é moderadamente permeável às soluções preservativas. (IPT, 2013)

Em relação as propriedades, segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, apresenta uma massa específica aparente média, em 12% de umidade, de 688 kg/m³, e uma resistência à compressão paralela às fibras com média de 50,5 MPa. Considerada uma madeira pesada e de resistência média, possui indicação de uso na construção civil leve externa e interna, estrutural, na fabricação de assoalhos domésticos e estruturas temporárias (andaimes, escoras, fôrmas). (GROBÉRIO; LAHR, 2002)

Figura 6 – Madeira de Angelim Araroba: face tangencial (a) e face radial (b)



Fonte: IPT (2013)

As Tabelas 16 e 17 apresentam algumas propriedades físicas e mecânicas segundo o IPT (2018):

Tabela 16 – Propriedades físicas da madeira de *Vataireopsis araroba* segundo o IPT (2018)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(15\%)}$	936
Contração (%)	
Radial	4,8
Tangencial	9,8
Volumétrica	14

$\rho_{ap(15\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%.
Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Tabela 17 – Propriedades mecânicas da madeira de *Vataireopsis Araroba* segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	ρ_{15}	ρ_v
f_{c0} (MPa)	77,8	54,8

Tabela 17 – Propriedades mecânicas da madeira de *Vataireopsis Araroba* segundo o IPT (2018) - continuação

Propriedades mecânicas	Densidade	
	ρ_{15}	ρ_v
f_{t90} (MPa)	-	3,9
f_{v0} (MPa)	-	14,2
f_M (MPa)	148,5	119,5
E_M (MPa)	-	13435

ρ_v = considerando a madeira verde; ρ_{15} = considerando a madeira com umidade em 15%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_m = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática.

Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Remetendo-se a Almeida *et al.* (2016) e seu estudo citado anteriormente, entre as quatro espécies analisadas e contra-se a Angelim araroba (*Vataireopsis araroba*). A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos pelos autores para as propriedades físicas e mecânicas da madeira de Angelim araroba.

Tabela 18 – Valores médios obtidos para madeira de Angelim araroba segundo o Almeida *et al.* (2016)

Propriedades físicas	
ρ_{12} (g/cm ³)	0,70
f_{c0} (MPa)	50,73

ρ_{12} = densidade aparente a 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras

Fonte: Adaptado de Almeida *et al.* (2016)

Referindo-se a pesquisa realizada por Jesus *et al.* (2015) e citada no item 2.1.5 do presente trabalho, entre as 26 espécies analisadas, foram determinadas propriedades da madeira de *Vataireopsis sp.* (Tabela 19).

Tabela 19 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de *Vataireopsis sp.* segundo o Jesus *et al.* (2015)

Propriedades mecânicas	
$f_{c0,k}$ (MPa)	46,46

Tabela 19 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de *Vataireopsis sp.* segundo o Jesus *et al.* (2015) - continuação

Propriedades mecânicas	
$f_{t0,k}$ (MPa)	85,62
$f_{v0,k}$ (MPa)	9,34
$E_{c0,m}$ (MPa)	16712
ρ_{12} (kg/m ³)	667

ρ_{12} = densidade aparente em 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; $E_{c0,m}$ = valor médio do módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

Fonte: Adaptado de Jesus *et al.* (2015)

2.1.7 LOURO VERDE (*OCOTEA SP.*)

Com árvores grande porte, a madeira Louro Verde (Figura 7), também conhecida como Louro Preto ou Canela, tem como região de ocorrência o norte do país, Mato Grosso, Minas Gerais e Paraná. A madeira possui cerne castanho a pardo levemente amarelado, textura média, baixa retratibilidade, cheiro e gosto imperceptíveis. (REMADE, 2013)

A madeira apresenta, segundo a ABNT NBR 7190:1997, uma massa específica aparente média com 12% de umidade de 684 kg/m³ e uma resistência à compressão paralela às fibras média de 56,5 MPa. Pode ser considerada uma madeira pesada e de resistência média, podendo ser utilizada na construção civil leve externa e interna, fabricação de móveis, compensados e estruturas temporárias. (GROBÉRIO;LAHR, 2002)

Figura 7 – Tronco da madeira Louro Verde



Fonte: Madreira São Paulo (2016c)

Araújo (2007) realizou um estudo onde buscou, através de recursos matemáticos, relações entre propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeiras tropicais brasileiras, entre elas a Louro-canela (*Ocotea sp.*). Em conformidade com as normas da COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) e a 12% de umidade, o autor caracterizou a espécie, obtendo resultados de propriedades como: densidade básica, contração tangencial e radial, dureza Janka paralela e transversal, resistência e módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, flexão estática, resistência à tração normal às fibras, fendilhamento e cisalhamento paralelo às fibras. A Tabela 20 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas obtidas no estudo.

Tabela 20 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de *Ocotea sp.* segundo o Araújo (2007)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	63,45
E_{c90} (MPa)	9,71
f_{t90} (MPa)	4,81
f_{v0} (MPa)	6,96
f_{s0} (MPa)	12,36
f_M (MPa)	119,74
E_M (MPa)	14024
f_{H0} (MPa)	5237
f_{H90} (MPa)	5256

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_M = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática; E_{c90} = resistência ao limite proporcional à compressão perpendicular às fibras; f_{H0} = dureza Janka paralela as fibras; f_{H90} = dureza Janka normal às fibras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2007).

Remetendo-se ao estudo de Dias & Lahr (2004) citado anteriormente no Item 2.1.2 do presente trabalho, os autores entre as quarenta espécies caracterizadas, utilizaram a madeira de Louro – verde (*Ocotea sp.*). A Tabela 21 e 22 apresentam os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 21 – Valores médios das propriedades físicas da madeira de *Ocotea sp.* segundo Dias & Lahr (2004)

Propriedades físicas		
ρ_{12} (kg/m ³)	RRT (%)	RTT (%)
680	4,1	8,1

ρ_{12} = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; RRT = retração radial total; RTT = retração tangencial total.

Fonte: Adaptado de Dias e Lahr (2004)

Tabela 22 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Ocotea sp.* segundo Dias & Lahr (2004)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	55
f_{t0} (MPa)	68
f_{t90} (MPa)	3,1
f_{v0} (MPa)	13,8
f_{s0} (MPa)	0,6
f_m (MPa)	85
E_{c0} (MPa)	13536
E_{t0} (MPa)	12851
E_m (MPa)	13556
f_{H0} (MPa)	85
f_{H90} (MPa)	50
W (daN·m)	0,66

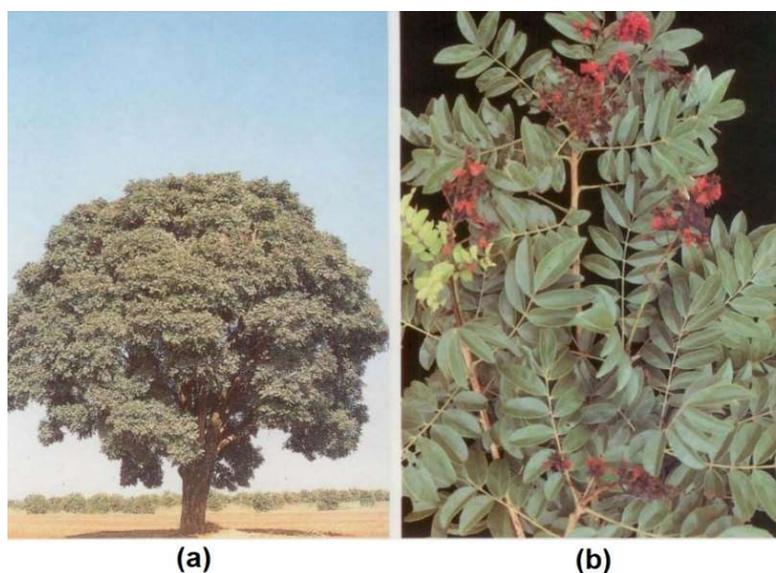
f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_m = resistência convencional no ensaio de flexão estática; 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 convencional no ensaio de flexão estática; f_{H0} = dureza paralela as fibras; f_{H90} = dureza normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias & Lahr (2004).

2.1.8 GUAÍÇARA (*LUETZELBURGIA SP*)

Com altura média entre 10 e 22 metros de altura, a árvore de Guaiçara (Figura 8a) possui um tronco de aproximadamente 50 a 70 centímetros de diâmetro e folhas compostas por 9 a 19 folíolos. Tem ocorrência em Minas Gerais, São Paulo e Paraná. É uma madeira pesada, moderadamente durável e decorativa. A árvore é considerada ornamental devido sua copa globosa de folhas verde escuras, e quando floresce, apresenta pequenas flores vermelhas (Figura 8b). (LORENZI, 1992)

Figura 8 – Madeira de Guaiçara: (a) Árvore (b) Flores e folhas



Fonte: Lorenzi (1992)

Segundo o Anexo E da ABNT NBR 7190:1997, a madeira de Guaiçara apresenta uma massa específica média de 825 kg/m³, e uma resistência à compressão paralela às fibras média de 71,4 MPa. Devido sua alta resistência e densidade, é indicada para uso na construção civil pesada externa (estacas marítimas, trapiches, pontes, dormentes, torres de observação) e interna (tesouras, treliças, escadas, plataformas), estrutural, assoalhos domésticos e industriais. (GROBÉRIO;LAHR, 2002)

Referindo-se ao estudo de Dias & Lahr (2004) citado anteriormente no Item 2.1.2 do presente trabalho, os autores entre as quarenta espécies caracterizadas, utilizaram a madeira de Guaiçara (*Luetzelburgia sp.*). A Tabela 23 e 24 apresentam os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 23 – Valores médios das propriedades físicas da madeira de *Luetzelburgia sp.* segundo Dias & Lahr (2004)

Propriedades físicas		
ρ_{12} (kg/m ³)	RRT (%)	RTT (%)
916	4,1	8,1

ρ_{12} = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; RRT = retração radial total; RTT = retração tangencial total.

Fonte: Adaptado de Dias & Lahr (2004)

Tabela 24 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Luetzelburgia sp.* segundo Dias & Lahr (2004)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	62
f_{t0} (MPa)	75
f_{t90} (MPa)	5,7
f_{v0} (MPa)	20,3
f_{s0} (MPa)	1,0
f_m (MPa)	112
E_{c0} (MPa)	14027
E_{t0} (MPa)	14946
E_m (MPa)	13866
f_{H0} (MPa)	109
f_{H90} (MPa)	102
W (daN·m)	2,09

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_m = resistência convencional no ensaio de flexão estática; 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 convencional no ensaio de flexão estática; f_{H0} = dureza paralela as fibras; f_{H90} = dureza normal às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Dias & Lahr (2004).

Moreira *et al.* (2017) correlacionaram a tenacidade e resistência ao impacto em função do módulo de elasticidade e da resistência na compressão paralela às fibras. Para isso, realizaram determinações experimentais seguindo as premissas da norma brasileira NBR

7190 (ABNT, 1997) e utilizaram lotes de dez espécies tropicais, de diferentes classes de resistência, nas quais foram: Cedro (*Cedrella sp.*), Cambará Rosa (*Erismia uncinatum Quente*), Cedrorana (*Cedrelinga cateniformis*), Catanudo (*Calophyllum sp.*), Cupiúba (*Goupia glabra*), Angelim Saia (*Parkia spp.*), Tatajuba (*Bagassa guianensis Aubl.*), Guaiçara (*Luetzelburgia sp.*), Cumaru (*Dipteryx odorata*) e Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*). As relações desenvolvidas entre as propriedades foram feitas através de modelos de regressão, avaliados de acordo com a análise de variância (ANOVA). No que diz respeito as propriedades determinadas para a madeira de Guaiçara (*Luetzelburgia sp.*) os resultados encontrados pelos autores são demonstrados na Tabela 25.

Tabela 25 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Luetzelburgia sp.* segundo Moreira et al. (2017)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	71
f_{bw} (MPa)	44,98
E_{c0} (MPa)	15301
W (N·m)	17,99

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; W = tenacidade.

Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2017).

2.1.9 CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENIFORMIS*)

A Cedroarana (Figura 9), também conhecida como Cedrana, Cedrorana e Cedro-branco, tem ocorrência nos estados do Mato Grosso, Pará, Rondônia e Amazonas. Possui cerne e alburno distintos pela cor, cheiro desagradável perceptível quando está úmida e imperceptível para madeira seca, gosto indistinto e textura grossa. Possui durabilidade moderada contra cupins, fungos e apodrecimento; apresenta dificuldade para o tratamento com produtos preservativos hidrossolúveis (IPT, 2013)

Em relação ao uso, considerando a densidade e sua resistência à compressão paralela às fibras que são consideradas médias, Grobério & Lahr (2002) destacam o emprego na construção civil leve interna e externa.

Figura 9 – Madeira de Cedroarana: (a) Face tangencial (b) Face radial



Fonte: IPT (2013)

As Tabelas 26 e 27 apresentam algumas propriedades físicas e mecânicas segundo o IPT (2018):

Tabela 26 – Propriedades físicas da madeira de *Cedrelinga cateniformis* segundo o IPT (2019)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(12\%)}$	520
ρ_v	900
ρ_{basica}	440
Contração (%)	
Radial	4,8
Tangencial	7,9
Volumétrica	11,8

$\rho_{ap(12\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 12%; ρ_v = densidade da madeira verde; ρ_{basica} = densidade básica.

Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Tabela 27 – Propriedades mecânicas da madeira de *Cedrelinga cateniformis* segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	ρ_{12}	ρ_v
f_{c0} (MPa)	46,6	40,6
f_{c90} (MPa)	3,6	3,2
f_{t90} (MPa)	4,5	4,4
f_{v0} (MPa)	7,2	6,7
f_M (MPa)	77,8	70,8
E_M (MPa)	12847	12258

ρ_v = considerando a madeira verde; ρ_{12} = considerando a madeira com umidade em 12%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{c90} = resistência à compressão perpendicular às fibras; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_m = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática. Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Retomando ao estudo realizado por Moreira *et al.* (2017) citado anteriormente no Item 2.1.8, entre as espécies utilizadas está a *Cedrelinga cateniformis*, sendo que os valores encontrados pelos autores a espécie em questão são demonstrados na Tabela 28.

Tabela 28 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Luetzelburgia* sp. segundo Moreira *et al.* (2017)

Propriedades mecânicas	
f_{c0} (MPa)	31
f_{bw} (MPa)	20,02
E_{c0} (MPa)	8962
W (N·m)	8,01

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{bw} = resistência ao impacto; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; W = tenacidade. Fonte: Adaptado de Moreira *et al.* (2017).

2.1.10 MAÇARANDUBA (*MANILKARA SP.*)

A madeira de Maçaranduba (Figura 10), também conhecida como Paraju, é uma das mais empregadas em estruturas em madeira, principalmente nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (ROSA *et al*, 2014). Em relação às características sensoriais, apresenta cerne e alburno distintos pela cor (cerne vermelho - claro a vermelho - escuro), cheiro e gosto imperceptíveis, textura fina. A madeira de Maçaranduba apresenta boa resistência ao ataque de fungos apodrecedores e cupins subterrâneos, baixa resistência aos xilófagos marinhos e moderada aos cupins de madeira seca. Quanto a tratabilidade, o cerne é impermeável às soluções preservantes hidrossolúveis (IPT, 2009).

Figura 10 – Tora da madeira Maçaranduba



Fonte: PROMAP Madeiras (2016)

O Anexo E da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 apresenta para a Maçaranduba valores médios de massa específica aparente a 12% de umidade e de resistência à compressão paralela às fibras de 1143 kg/m³ e 82,9 MPa, respectivamente. Com esses valores de propriedades, a *Manilkara sp.* é considerada por Grobério & Lahr (2002) uma madeira muito pesada e resistente, podendo ser aplicada na construção civil pesada externa e interna, assoalhos industriais e mobiliário de alta qualidade.

As Tabelas 29 e 30 apresentam algumas propriedades físicas e mecânicas segundo o IPT (2018):

Tabela 29 – Propriedades físicas da madeira de *Manilkara sp.* segundo o IPT (2018)

Propriedades físicas	
Densidade (kg/m ³)	
$\rho_{ap(15\%)}$	1000
ρ_{basica}	833
Contração (%)	
Radial	6,8
Tangencial	11
Volumétrica	19

$\rho_{ap(15\%)}$ = densidade aparente ao teor de umidade de 15%; ρ_{basica} = densidade básica.
 Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Tabela 30 – Propriedades mecânicas da madeira de *Manilkara sp.* segundo o IPT (2018)

Propriedades mecânicas	Densidade	
	ρ_{15}	ρ_v
f_{c0} (MPa)	73,9	59,8
E_{c0} (MPa)	-	16583
f_{t90} (MPa)	-	8,2
f_{s0} (MPa)	-	0,9
f_{v0} (MPa)	-	8,2
f_M (MPa)	162,6	117
E_M (MPa)	-	14769

ρ_v = considerando a madeira verde; ρ_{15} = considerando a madeira com umidade em 15%; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_{t90} = resistência a tração normal às fibras; f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; f_M = resistência convencional no ensaio de flexão estática; E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras; E_M = módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática.
 Fonte: Adaptado de IPT (2018).

Referindo-se ao estudo já citado anteriormente no Item 2.1.5, realizada por Jesus *et al.* (2015), a madeira de *Manilkara sp.* é uma das 26 espécies analisadas pelos autores onde as propriedades encontradas por eles para essa espécie estão listadas na Tabela 31.

Tabela 31 – Propriedades mecânicas e físicas da madeira de *Manilkara sp.* segundo o Jesus *et al.* (2015)

Propriedades mecânicas	
$f_{c0,k}$ (MPa)	67,57
$f_{t0,k}$ (MPa)	82,48
$f_{v0,k}$ (MPa)	11,77
$E_{c0,m}$ (MPa)	18620
ρ_{12} (kg/m ³)	1019

ρ_{12} = densidade aparente em 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; $E_{c0,m}$ = valor médio do módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras.

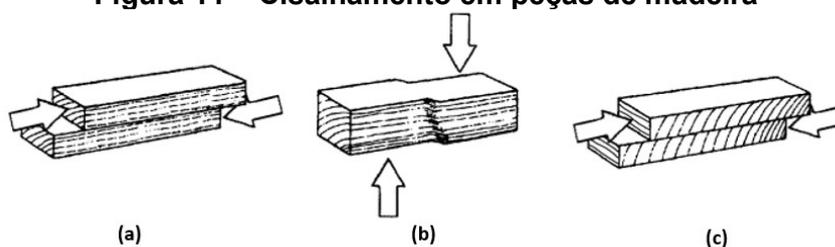
Fonte: Adaptado de Jesus *et al.* (2015)

2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO EM MADEIRA

Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira é definida, segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 7190:1997, como a máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo-de-prova prismático. A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras é de grande importância para o dimensionamento de elementos estruturais, sendo que o uso de valores inexatos podem causar danos materiais e outras consequências (EVANS; SENFT; GREEN, 2000).

O cisalhamento nas peças de madeira pode ocorrer na direção paralela às fibras ou perpendicularmente a elas. O caso mais comum é o cisalhamento paralelo às fibras (figura 11a). O cisalhamento vertical (figura 11b), geralmente desconsiderado, só acontece em casos especiais, em geral fruto de falha no dimensionamento, pois outras falhas ocorrerão antes dele. O cisalhamento perpendicular (figura 11c), conhecido internacionalmente por rolling shear, é evitado pela prática construtiva, que basicamente utiliza a madeira disposta longitudinalmente.

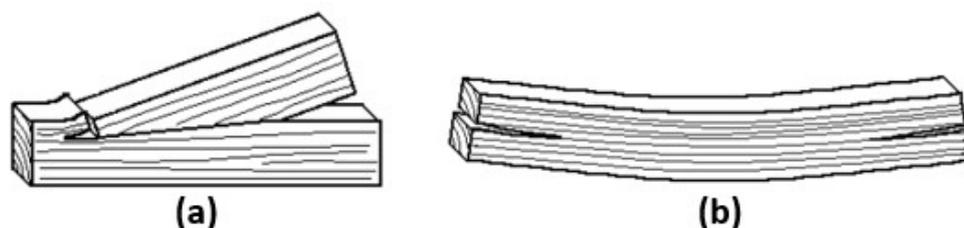
Figura 11 – Cisalhamento em peças de madeira



Fonte: RITTER (1990) apud CALIL JÚNIOR & BARALDI (1998)

Estados limites oriundos de tensões de cisalhamento, na direção paralela às fibras, podem ocorrer em ligações por meio de dentes e entalhes (figura 12a) ou em vigas fletidas com elevados esforços cortantes (figura 12b). A verificação das peças de madeira à destes estados limites será apresentada posteriormente no estudo da flexão e das ligações.

Figura 12 – Cisalhamento paralelo em estruturas de madeira



Fonte: RITTER (1990) apud CALIL JÚNIOR & BARALDI (1998)

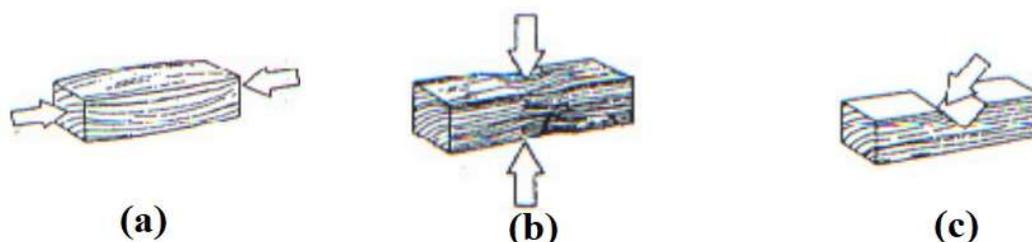
Estados limites devidos ao cisalhamento vertical, acompanhado de forte compressão normal, pode ser observado nos travesseiros de vigas contínuas (ou no encontro de duas vigas) sobre os pilares. Este fenômeno é mais comum em vigas de pontes, devido aos elevados esforços cortantes, e pode ser evitado com o aumento da espessura do travesseiro e o alargamento do topo do pilar. Estados limites devidos ao cisalhamento perpendicular (*rolling shear*), não são encontrados em estruturas de madeira, uma vez que construtivamente a madeira é disposta longitudinalmente e, nesta situação, as tensões de cisalhamento ocorrem predominantemente na direção paralela às fibras. (HARA *et al.*, 2014)

2.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

A compressão na madeira pode ocorrer segundo três orientações: paralela, normal e inclinada em relação às fibras. Quando a peça é solicitada por compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente ao comprimento das células. As células reagindo em conjunto conferem uma grande resistência da madeira à compressão. No caso de solicitação normal ou perpendicular às fibras, a madeira apresenta resistências menores que na compressão paralela, pois a força é aplicada na direção normal ao comprimento das células, direção na qual possuem baixa resistência. Os valores de resistência à compressão normal às fibras são da ordem de $\frac{1}{4}$ dos valores de resistência à compressão paralela.

A compressão paralela tem a tendência de encurtar as células da madeira ao longo do seu eixo longitudinal (Figura 13a). A compressão normal comprime as células da madeira perpendicularmente ao eixo longitudinal (Figura 13b). E a compressão inclinada: age tanto paralela como perpendicularmente às fibras (Figura 13c).

Figura 13 – Compressão em peças de madeira: (a) paralela às fibras, (b) normal às fibras e (c) inclinada às fibras



Fonte: RITTER (1990) apud CALIL JÚNIOR & BARALDI (1998)

2.4 ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

2.4.1 NBR 7190:1997

A aplicação racional da madeira nas mais diversas finalidades dependem do conhecimento de suas propriedades (físicas, químicas, mecânicas e anatômicas) (ALMEIDA *et al*, 2014). A caracterização completa das propriedades de resistência da madeira, segundo a ABNT NBR 7190:1997, é determinada pelos seguintes valores: resistência à compressão paralela às fibras; resistência à tração paralela às fibras; resistência à compressão normal às fibras; resistência à tração normal às fibras; resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; resistência de embutimento paralelo às fibras e resistência de embutimento normal às fibras; e, por fim, densidade básica e densidade aparente, com corpos de prova a 12% de umidade. Ainda, a normativa brasileira em vigor estabelece, para espécies pouco conhecidas, a caracterização mínima de resistência que contempla: resistência à compressão paralela às fibras, resistência à tração paralela às fibras (caso haja impossibilidade da realização do ensaio de tração uniforme, que este valor deve ser equivalente ao da resistência à tração na flexão), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, e, por fim, densidades básica e aparente.

Segundo Dias & Lahr (2004) os métodos de ensaios para caracterização de espécies pouco conhecidas estabelecidos pela ABNT NBR 7190:1997 exigem procedimentos realizados em laboratórios especializados e com equipamentos de alto custo. A norma brasileira citada também propõe relações entre diversas propriedades mecânicas e físicas, visando estimar parâmetros da madeira, facilitando os procedimentos de caracterização (ALMEIDA *et al*, 2016). Nos Itens 6.3.3 da ABNT NBR 7190:1997 são apresentadas as relações abaixo (Equação 1 a 7):

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77 \quad (1)$$

$$\frac{f_{tM,k}}{f_{t0,k}} = 1,00 \quad (2)$$

$$\frac{f_{c90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25 \quad (3)$$

$$\frac{f_{e0,k}}{f_{c0,k}} = 1,00 \quad (4)$$

$$\frac{f_{e90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25 \quad (5)$$

Para coníferas:

$$\frac{f_{v0,k}}{f_{c0,k}} = 0,15 \quad (6)$$

Para dicotiledôneas:

$$\frac{f_{v0,k}}{f_{c0,k}} = 0,12 \quad (7)$$

Considerando as Equações 1 a 7, tem-se: $f_{c0,k}$ resistência característica à compressão paralela às fibras, $f_{v0,k}$ resistência característica à tração paralela às fibras, $f_{c90,k}$ resistência característica à compressão normal às fibras, $f_{e0,k}$ resistência característica ao embutimento paralelo às fibras e $f_{v0,k}$ resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras. Além das relações de resistências, a norma também apresenta relações para os valores característicos dos módulos de elasticidade (Equações 8 a 11):

$$E_{c90} = \frac{1}{20} E_{c0} \quad (8)$$

$$E_{c0,m} = E_{t0,m} \quad (9)$$

Para coníferas:

$$E_M = 0,85 E_{c0} \quad (10)$$

Para dicotiledôneas:

$$E_M = 0,90 E_{c0} \quad (11)$$

Nas Equações de 8 a 11, tem-se: E_{c90} módulo de elasticidade na compressão normal às fibras, E_{c0} módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, E_M módulo de elasticidade na flexão e $E_{t0,m}$ módulo de elasticidade médio na tração paralela às fibras. Ademais, considerando à possibilidade de relações entre propriedades existentes, como foi exposto, e também a dificuldade de se realizar ensaios para obtenção dos valores necessários para a caracterização, diversos autores estão realizando pesquisas relacionadas a estimativa das propriedades através de relações.

2.4.2 ESTUDOS ANTERIORES

Aquino *et al.* (2018) realizaram, após a caracterização da madeira *Copaifera sp.*, a estimativa dos valores das resistências físicas e mecânicas através da densidade aparente. Utilizando os modelos de regressão logarítmico, exponencial, linear e geométrico, a propriedade de resistência a tração normal às fibras obteve a melhor estimativa com um coeficiente de determinação igual a 32,25%.

Christoforo *et al.* (2017a), com base nas premissas da ABNT NBR 7190:1997, realizaram a caracterização completa da espécie Angico Branco (*Anadenanthera colubrina*) e realizaram a estimativa de quatro propriedades físicas e mecânicas utilizando a densidade aparente como estimador, com o auxílio de modelos de regressão (linear, geométrica, quadrática e exponencial). A melhor estimativa se deu entre densidade aparente e módulo de elasticidade na direção paralela às fibras através de correlação linear, com coeficiente de determinação de 56,32%. Já para a espécie *Calycophyllum multiflorum*, conhecida popularmente como Castelo, Christoforo *et al.* (2017b) encontraram uma boa relação de seis propriedades mecânicas (resistência à compressão paralela e normal às fibras, módulo de elasticidade na compressão e tração paralela às fibras, módulo de elasticidade na flexão e o módulo de elasticidade na compressão normal às fibras) com a densidade aparente, sendo o

melhor ajuste das estimativas obtido pelo módulo de elasticidade na flexão com um coeficiente de determinação (R^2) de 75,45%.

Aquino *et al.* (2017) desenvolveram correlações através de modelos de regressão entre 27 propriedades mecânicas, densidade, coeficientes de retratibilidade e anisotropia, teor de umidade e ponto de saturação das fibras para madeiras das espécies *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. e *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. Considerando uma única variável, a melhor correlação obtida foi entre módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras e a retratibilidade tangencial, com um coeficiente de determinação (R^2) de 49,4%, e o pior ajuste obtido foi para a força no limite de proporcionalidade em esforços de flexão estática e a retratibilidade tangencial, com um R^2 de 10,4%. Os autores obtiveram, a melhor correlação (com $R^2 = 0,93$ e p -valor $< 0,001$) por meio de um modelo multivariado linear para a estimativa do módulo de elasticidade da madeira, a condição de umidade padrão 12%, em relação a densidade básica e anidra, retratibilidade tangencial e radial, teor de umidade verde e coeficiente de anisotropia.

Almeida *et al.* (2016) estimaram a resistência à compressão paralela às fibras em função da densidade aparente a umidade padrão de 12%, para as madeiras de Canafístula (*Cassia ferruginea*), Angelim araroba (*Vataireopsis araroba*) e Castelo (*Gossypiospermum sp.*), todas do grupo das folhosas. Foram elaborados modelos de regressão lineares, exponenciais, logarítmicos e geométricos, sujeitos a análises de variância (ANOVA) com nível de significância de 5%. As madeiras que apresentaram os melhores coeficientes de determinação (R^2) foram a Canafístula e Castelo com os valores de 48,57% e 52,84%, respectivamente. Para a Angelim Araroba, os modelos não foram significativos (p -valor superior a 5%), e os modelos considerando todas as espécies juntas no conjunto resultaram em relações significativas e lineares com R^2 de 17,88%.

Pazos *et al.* (2005) avaliaram as relações entre características anatômicas, propriedades físicas e cinco propriedades mecânicas de 23 espécies de madeira dos estados de Chiapas e Tamaulipas no México. Foram utilizadas dez variáveis independentes, oito das quais foram parâmetros anatômicos (cinco relacionadas ao parênquima radial, duas às fibras e uma à combinação de parênquima e parênquima axial) e duas eram propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade tangencial total). Os valores de cinco propriedades mecânicas (módulo de elasticidade na flexão, resistência à compressão paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, dureza paralela e normal às fibras) foram estimados usando as variáveis independentes e equações de regressões lineares múltiplas. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) ficaram entre 0,78 a 0,89, comprovando que

as propriedades mecânicas da madeira analisadas podem ser estimadas usando essas variáveis escolhidas.

2.4.3 DIN EN 338:2003

A norma europeia que apresenta algumas relações entre propriedades é a DIN EN 338:2003. O documento normativo europeu também apresenta as classes de resistência das madeiras e valores de referência de propriedades físicas e mecânicas. Para as chamadas *softwoods*, são expostas 12 classes de resistência, enquanto para as *hardwoods*, o número é reduzido, obtendo-se 6 classes de resistência.

Diferente das relações apresentadas no item 6.3.3 da ABNT NBR 7190:1997 em que o valor de referência é a resistência à compressão paralela às fibras, a EN 338:2003 utiliza a resistência característica na flexão. As Equações 12 a 22 apresentam as relações para valores em MPa:

$$f_{t,0,k} = 0,60 \cdot f_{m,k} \quad (12)$$

$$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0,45} \quad (13)$$

$$f_{v,k} = \min \begin{cases} 3,8 \\ 0,2(f_{m,k})^{0,8} \end{cases} \quad (14)$$

$$f_{t,90,k} = \min \begin{cases} 0,6 \\ 0,0015 \rho_k \end{cases} \quad (15)$$

$$G_{mean} = E_{0,mean} / 16 \quad (16)$$

Para as *softwoods*:

$$f_{c,90,k} = 0,007 \rho_k \quad (17)$$

$$E_{0,005} = 0,67 E_{0,mean} \quad (18)$$

$$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 30 \quad (19)$$

Para as *hardwoods*:

$$f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k \quad (20)$$

$$E_{0,005} = 0,84 E_{0,mean} \quad (21)$$

$$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 15 \quad (22)$$

Nas Equações de 12 a 22, tem-se: $f_{t,0,k}$ resistência característica à tração paralela às fibras, $f_{c,0,k}$ resistência característica à compressão paralela às fibras, $f_{v,k}$ resistência característica ao cisalhamento, $f_{t,90,k}$ resistência característica à tração perpendicular às fibras, $f_{m,k}$ resistência característica na flexão, $E_{0,mean}$ valor característico médio do módulo de elasticidade paralelo às fibras, $E_{0,05}$ valor característico de 5% por cento do módulo de elasticidade paralelo às fibras, $E_{90,mean}$ valor característico médio do módulo de elasticidade perpendicular às fibra.

2.5 CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, algumas conclusões podem ser apresentadas:

Existem poucos trabalhos na literatura consultada que correlacionam propriedades mecânicas da madeira e nenhuma pesquisa que investiga especificamente a relação da resistência a compressão com a resistência ao cisalhamento, ambas paralelas às fibras. Considerando pesquisas internacionais, o trabalho também se constitui inédito visto que a norma brasileira é a única que utiliza a resistência à compressão paralela às fibras como referência para a caracterização simplificada.

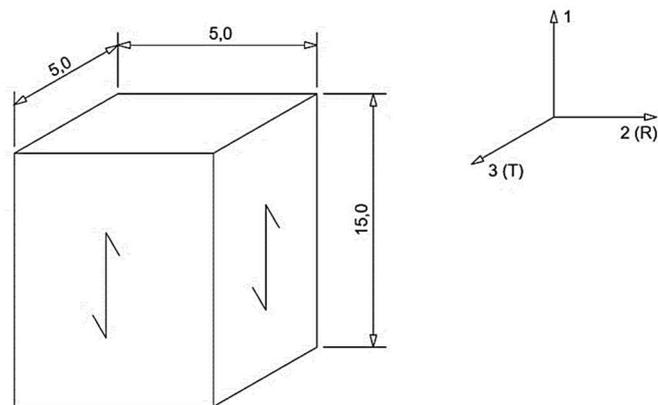
3. METODOLOGIA

O trabalho a ser realizado possui natureza aplicada, objetivando resultados quantitativos e descritivos através de uma pesquisa experimental. As espécies de madeiras que serão utilizadas são: Cambará Rosa (*Erisma sp.*), Cedro (*Cedrella sp.*), Copaíba (*Copaiba resinífera*), Canafístula (*Cassia ferruginea*), Angelim Araroba (*Vataireopsis araroba*), Oiticica Amarela (*Clarisia racemosa*), Louro Verde (*Ocotea sp.*), Cedroarana (*Cedrelinga cateniformis*), Guaiçara (*Luetzelburgia sp.*) e Maçaranduba (*Manikara sp.*), todas do grupo das folhosas. Todos os testes descritos nos próximos itens desse capítulo foram realizados no Laboratório de Madeira e Estruturas em Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia da USP São Carlos (EESC) e seguiram as premissas e métodos de cálculo apresentados no anexo B da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997.

3.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

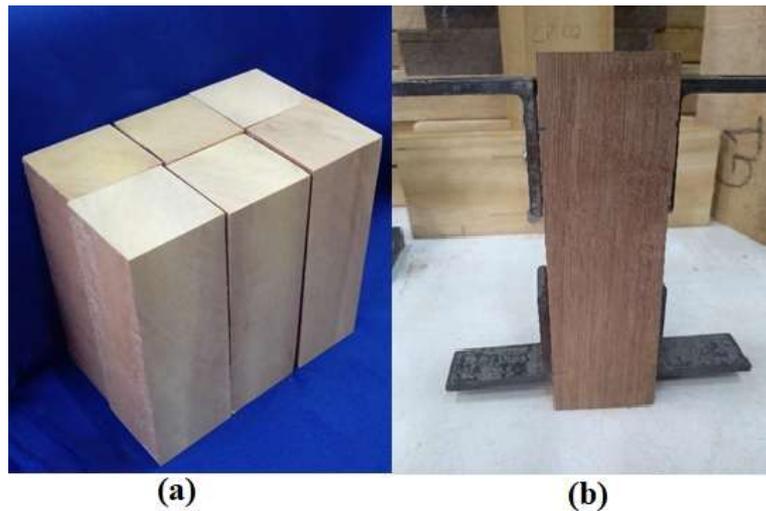
O ensaio de resistência à compressão paralela às fibras seguiu as premissas do Anexo B do documento normativo NBR 7190 (ABNT,1997). Inicialmente, as tábuas de madeira de dimensões próximas de 50x90x4000mm foram classificadas visualmente, e então aferiu-se o teor de umidade através de um medidor elétrico, modelo M52, da marca MARRARI e verificou-se que estavam na umidade padrão de 12%. Posteriormente, foram confeccionados conforme as dimensões apresentadas na Figura 14, 12 corpos de prova para cada espécie, totalizando 120 amostras. A Figura 15 apresenta um corpo de prova em momentos antes de ser ensaiado. O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios da marca AMSLER, o carregamento aplicado foi de maneira crescente monotônica à taxa de 10 MPa/min aplicando-se dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no diagrama de carregamento da Figura 16, até atingir a força máxima de ruptura do corpo de prova. Os deslocamentos foram determinados por meio do uso de dois relógios comparadores acoplados (Figura 17).

Figura 14 – Dimensões em centímetros do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão paralela às fibras, segundo a ABNT NBR 7190:1997



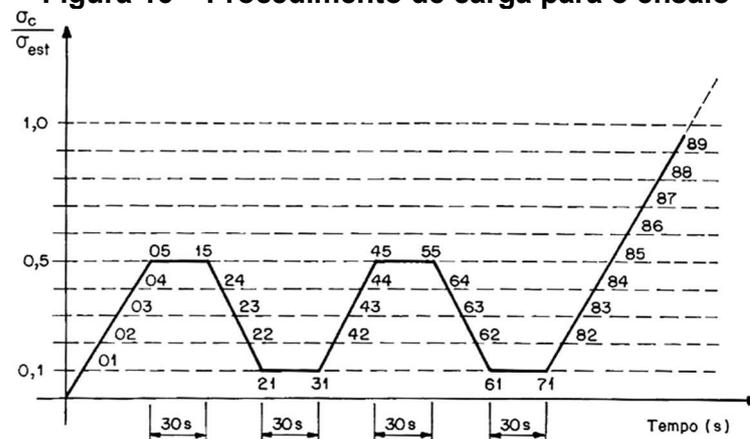
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 15 – (a) Corpos de prova prontos para ensaio de resistência à compressão paralela às fibras; (b) Corpo de prova com o aparato para fixação dos relógios comparadores



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 16 – Procedimento de carga para o ensaio



Fonte: Adaptado ABNT NBR 7190:1997

Figura 17 – (a) Corpo de prova com relógios comparadores fixados; (b) Corpo de prova sendo ensaiado



Fonte: Autoria própria (2019)

A resistência à compressão (f_{c0}) é definida pela razão entre a máxima força de compressão aplicada a um corpo de prova por sua área de seção transversal, conforme mostrado na Equação 23.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A_{c0}} \quad (23)$$

Depois de obtidos os valores de resistência pelas experimentações (Equação 23), os valores de resistência característica (f_{wk}) por espécie de madeira foram calculados com o uso da Equação 24.

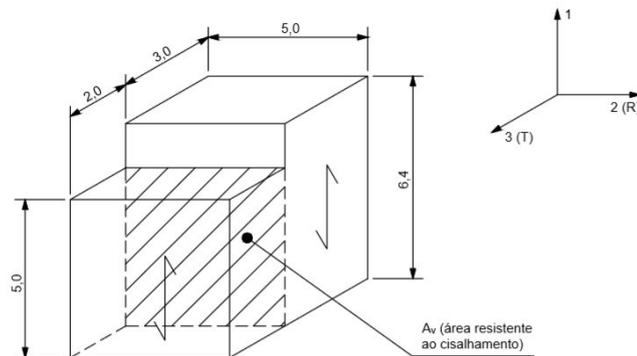
$$f_{wk} = \left(2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{(n/2)-1}}{(n/2) - 1} - f_{n/2} \right) \cdot 1,10 \quad (24)$$

Para a Equação 24, os resultados devem ser colocados em ordem crescente ($f_1 \leq f_2 \leq f_3 \dots \leq f_n$), desprezando-se o maior valor da resistência em caso de número de corpos de prova ímpar, não se tomando para f_{wk} valor de resistência inferior a f_1 e nem inferior a 0,70 do valor médio da resistência.

3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS

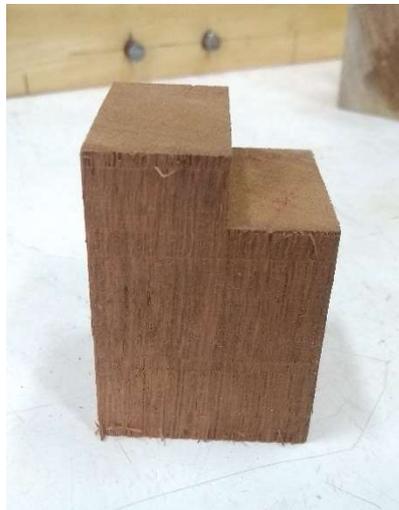
O ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras seguiu as premissas do Anexo B do documento normativo ABNT NBR 7190:1997. Inicialmente, as tábuas de madeira de dimensões próximas de 50x90x4000mm foram classificadas visualmente, e então aferiu-se o teor de umidade através de um medidor elétrico, modelo M52, da marca MARRARI e verificou-se que estavam na umidade padrão de 12%. Então, foram confeccionados conforme as dimensões apresentadas na Figura 18, 12 corpos de prova para cada espécie, totalizando 120 amostras. Os corpos de prova de resistência ao cisalhamento e à compressão paralela às fibras foram retirados lado a lado das peças de madeira. O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios da marca AMSLER, o carregamento foi aplicado de maneira crescente monotônica à taxa de 2,5 MPa/min. A Figura 19 apresenta um corpo de prova antes de ser ensaiado e a Figura 20 demonstra um corpo de prova sendo ensaiado e o mesmo após a ruptura.

Figura 18 – Dimensões em centímetros do corpo de prova para ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, segundo a ABNT NBR 7190:1997



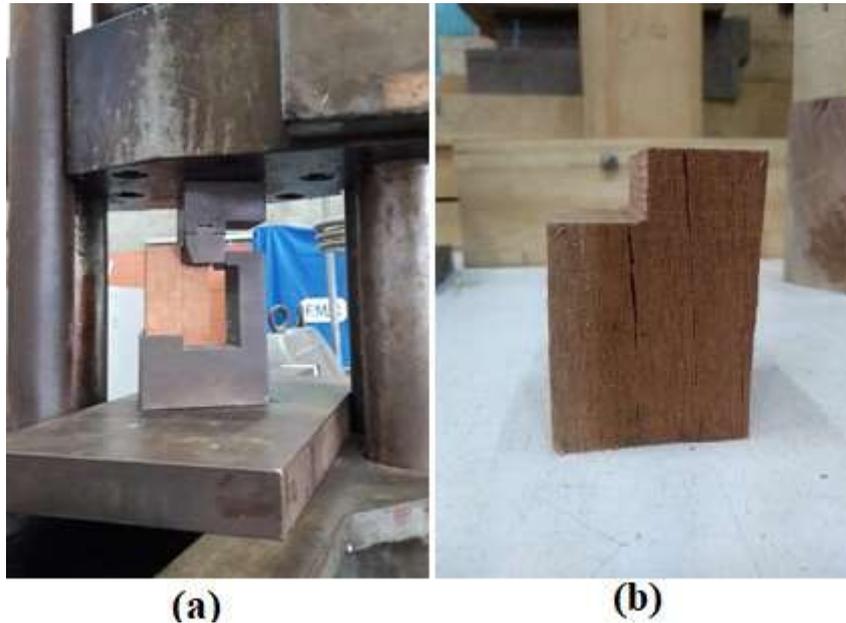
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 19 – Corpo de prova de resistência ao cisalhamento antes de ser ensaiado



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 20 – (a) Corpo de prova sendo ensaiado para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; (b) Corpo de prova após a ruptura



Fonte: Autoria própria (2019)

Os valores da resistência ao cisalhamento foram obtidos por meio da Equação 25, sendo que $F_{v0,máx}$ denota o valor máximo da força cisalhante aplicada no corpo de prova e A_{v0} é a área inicial da seção crítica do corpo de prova em um plano paralelo às fibras.

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,máx}}{A_{v0}} \quad (25)$$

Depois de obtidos os valores de resistência pelas experimentações (Equação 25), os valores de resistência característica (f_{wk}) por espécie de madeira foram calculados com o uso da Equação 24 e utilizando os mesmos procedimentos citados no item 3.1 para o ensaio de compressão paralela às fibras.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com posse dos valores característicos obtidos para a resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) e da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$), sendo 10 valores para cada uma das propriedades, utilizou-se o software Mathcad® versão 14, para obtenção do

coeficiente ótimo (λ) da relação entre os valores de resistência ($f_{v0,k}=\lambda \cdot f_{c0,k}$). A obtenção do coeficiente ótimo (λ) se deu pela minimização da Equação 26 obtido com o auxílio do método de Newton com aproximação quadrática (Equação 27), ficando a convergência para solução ótima independente da escolha da estimativa inicial λ_o do método iterativo.

$$f(\lambda) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (f_{v0,k_i} - \lambda \cdot f_{c0,k_i})^2 \quad (26)$$

$$\lambda = \lambda_o - \left(\frac{d^2}{d\lambda^2} [f(\lambda_o)] \right)^{-1} \cdot \frac{d}{d\lambda} [f(\lambda_o)] \quad (27)$$

O coeficiente λ obtido da Equação 17 foi comparado com o coeficiente proposto pela norma brasileira, objetivando-se verificar a possível divergência entre ambos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Os procedimentos realizados seguiram o descrito no item 3.1. Os resultados são demonstrados na Tabela 32. Os valores dos coeficientes de variação (C_v) para o valor da resistência característica na compressão paralela à fibras ($f_{c0,k}$) estão de acordo com o que a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 estabelece, sendo o coeficiente de variação a solicitações normais de 18% considerando madeiras folhosas com umidade próxima de 12%.

Tabela 32 – Corpo de prova sendo ensaiado para determinação da resistência a compressão paralelo às fibras em MPa

Amostra	Cambará Rosa	Cedro	Copaíba	Canafistula	Anelím Araroba
CP1	27	27	52	57	48
CP2	30	27	58	43	56
CP3	30	29	45	59	47
CP4	35	30	49	62	48
CP5	35	36	43	60	45
CP6	38	27	43	55	52
CP7	41	30	47	39	50
CP8	27	27	48	35	45
CP9	42	43	57	43	53
CP10	36	39	51	58	61
CP11	30	26	41	55	53
CP12	34	28	48	50	56
Desvio Padrão	4.98	5.51	5.33	9.10	4.95
Média	33.8	30.8	48.5	51.3	51.1
Coef. de Variação	0.15	0.18	0.11	0.18	0.10
Valor Característico	25.67	29.36	43.53	31.90	47.30

Amostra	Oiticica Amarela	Guaíçara	Louro Verde	Cedroarana	Maçaranduba
CP1	80	61	47	45	76
CP2	75	80	51	46	73
CP3	78	77	60	31	87
CP4	74	79	47	32	83

Tabela 32 – Corpo de prova sendo ensaiado para determinação da resistência a compressão paralelo às fibras em MPa - continuação

Amostra	Oiticica Amarela	Guaíçara	Louro Verde	Cedroarana	Maçaranduba
CP5	63	58	52	30	90
CP6	70	62	45	42	91
CP7	71	60	58	41	83
CP8	79	81	50	48	82
CP9	72	75	51	44	74
CP10	67	79	55	31	81
CP11	70	68	64	45	86
CP12	65	71	54	42	75
Desvio Padrão	5.45	8.66	5.67	6.74	6.17
Média	72.0	70.9	52.9	39.8	81.8
Coef. de Variação	0.08	0.12	0.11	0.17	0.08
Valor Característico	69.45	60.10	49.14	26.40	79.56

Como pode ser observado na Tabela 32, as espécies ensaiadas apresentaram classificação diversa quanto as classes de resistências (proposta pela ABNT 7190:1997 na Tabela 9 do Item 6.3.5, página 16) sendo um total de três espécies classificadas como C20 (Cedro, Cambará Rosa, Cedroarana), uma como C30 (Canafístula), três como C40 (Louro Verde, Angelim Araroba e Copaíba) e três espécies C60 (Oiticica Amarela, Guaíçara e Maçaranduba).

Para a madeira de Canafístula, a resistência à compressão paralela às fibras apresentou valor médio de 51,3 MPa, que foi maior do obtido por Vivian *et al.* (2010) (30,31 MPa) e próximo aos obtidos por Dias & Lahr (2004) (52 MPa), Almeida *et al.* (2016) (51,96 MPa) e ABNT NBR 7190:1997 (52 MPa).

A madeira de Angelim Araroba atingiu 51,10 MPa de resistência média à compressão paralela às fibras, sendo esse valor inferior ao apresentado pelo IPT (2018) (77,8 MPa) e próximo ao apresentado por Almeida *et al.* (2016) (50,93 MPa), Grobério & Lahr (2002) (50,2 MPa) e ABNT NBR 7190:1997 (50,5 MPa). O valor obtido para a resistência característica à compressão paralela às fibras de 47,30 MPa foi próximo ao encontrado por Jesus *et al.* (2015) (46,46 MPa) para a mesma espécie.

Em relação as propriedades da Oiticica Amarela, a $f_{c0,m}$ foi de 72 MPa, apresentando resultados próximos ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (69,9 MPa), Dias & Lahr (2004) (70 MPa) e superior ao apresentado pelo IPT (2019) (45,10 MPa). Já o valor característico para a resistência à compressão paralela às fibras (69,45 MPa) foi superior ao encontrado por Jesus *et al.* (2015) (59,14 MPa), gerando enquadramento em classes de

resistências, segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190:1997, distintos para a mesma espécie.

Para a Maçaranduba, o valor característico de resistência à compressão paralela às fibras obtido (79,56 MPa) foi superior ao encontrado por Jesus *et al.* (2015) (67,57 MPa) para a mesma espécie. Já o valor médio de 81,8 MPa, apresentou-se próximo ao da NBR 7190 (ABNT, 1997) (82 MPa), Dias & Lahr (2004) (83 MPa) e superior ao apresentado pelo IPT (2018) (73,9 MPa).

Para a madeira de Cambará Rosa obteve-se valor médio de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de 33,8 MPa, sendo próximo ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) 7190:1997 de 37,8 MPa e divergente do encontrado por Arruda *et al.* (2015) (49,75 MPa) e IPT (2018) (42,4 MPa) todos para a mesma espécie. Em relação as propriedades do Cedro, o valor médio de resistência a compressão paralela às fibras obtido foi de 30,8 MPa, sendo inferior ao apresentado pelo IPT (2018) (39,1 MPa) e próximo ao encontrado por Dias & Lahr (2004) (33 MPa) e ao que a NBR 7190 (ABNT,1997) apresenta (31,5 MPa).

Para a madeira de Cedroarana, os valores apresentados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (31,5 MPa), Moreira *et al.* (2017) (31 MPa) e Dias & Lahr (2004) (33 MPa) foram inferiores aos obtidos no presente estudo (39,8 MPa) para a resistência à compressão paralela às fibras e o apresentado pelo IPT (2018) (46,6 MPa) mostrou-se superior.

A resistência à compressão paralela às fibras da madeira de Louro Verde, resultou em um valor médio de 52,9 MPa, sendo esse próximo aos apresentados pela ABNT NBR 7190:1997 (56,5 MPa), Lahr & Dias (2004) (55 MPa) e inferior ao Araújo (2007) (63,45 MPa).

O valor de resistência à compressão paralela às fibras obtido para a madeira de Guaiçara apresentou valor médio de 70,9 MPa sendo superior ao encontrado por Lahr & Dias (2004) (62 MPa) e muito próximo ao apresentado no Anexo E da norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 (71,40 MPa) e Moreira *et al.* (2017) (71 MPa). Para madeira de Copaíba, o valor médio encontrado de resistência à compressão paralela às fibras no presente estudo foi de 48,5 MPa, sendo inferior ao apresentado pelo IPT (2018) (50 MPa) e Aquino *et al.* (2018) (50 MPa).

4.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS

Os procedimentos realizados seguiram o descrito no item 3.1. Os resultados são demonstrados na Tabela 33. Os valores dos coeficientes de variação (C_v) para o valor da

resistência característica no cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,k}$) estão de acordo com o que a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece, sendo o coeficiente de variação para solicitações tangenciais de 28%, considerando madeiras folhosas com umidade próxima de 12%.

Tabela 33 – Valores resultantes do ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em MPa

Amostra	Cambará Rosa	Cedro	Copaíba	Canafistula	Angelim Araroba
CP1	6.0	7.5	15.8	20.8	7.4
CP2	8.7	6.7	14.7	20.3	10.6
CP3	6.1	8.0	10.5	19.2	9.2
CP4	7.0	7.2	14.3	18.4	8.7
CP5	8.1	9.8	17.6	20.9	9.1
CP6	7.1	7.2	15.0	21.3	8.3
CP7	9.4	9.2	13.6	11.3	10.1
CP8	5.7	7.1	14.2	12.0	9.0
CP9	8.0	12.0	9.8	12.5	14.9
CP10	8.3	10.9	11.8	13.2	13.1
CP11	6.4	8.2	15.7	14.8	9.2
CP12	7.2	8.8	13.6	11.4	12.3
Desvio Padrão	1.18	1.57	2.30	4.15	2.20
Média	7.3	8.6	13.9	16.1	10.2
Coef. de Variação	0.16	0.18	0.17	0.25	0.23
Valor Característico	5.95	6.98	10.62	9.26	8.44

Amostra	Oiticica Amarela	Guaíçara	Louro Verde	Cedroarana	Maçaranduba
CP1	22.0	18.0	11.3	14.2	23.1
CP2	17.3	23.2	10.8	10.8	21.4
CP3	18.1	17.5	9.8	7.3	22.8
CP4	21.4	22.0	11.2	9.4	25.9
CP5	18.9	21.6	11.8	9.1	25.2
CP6	17.8	18.4	10.6	11.2	21.6
CP7	18.2	21.3	12.6	12.8	23.2
CP8	17.6	22.0	10.1	9.2	20.8
CP9	16.9	21.2	11.7	14.6	19.3
CP10	17.5	19.9	11.7	8.1	26.0
CP11	16.9	24.5	12.0	12.4	25.1
CP12	19.2	19.0	9.0	11.0	21.2
Desvio Padrão	1.81	2.17	1.03	2.44	2.36
Média	18.5	20.7	11.0	10.7	23.0
Coef. de Variação	0.10	0.10	0.09	0.23	0.10
Valor Característico	17.60	17.51	9.77	6.57	20.15

Para a madeira de Cambará Rosa obteve-se valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v0,m}$) de 7,3 MPa, sendo divergente do de 14 MPa encontrado por Lahr *et al.* (2016) e Arruda *et al.* (2015) (3,73 MPa). Considerando a mesma propriedade e espécie, em comparação com os valores apresentados pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) (5,8 MPa), IPT (2018) (7,4 MPa) o valor encontrado no presente estudo foi próximo.

Em relação as propriedades do Cedro, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras apresentou valor médio de 8,6 MPa, sendo superior ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (5,6 MPa), IPT (2018) (7,1 MPa) e inferior ao encontrado por Dias & Lahr (9,4 MPa). Para a madeira de Canafístula, o f_{v0} médio encontrado foi de 16,1 MPa, apresentando-se superior aos apresentados por Vivian *et al.* (2010) (13,22 MPa) e pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (11,1 MPa).

A madeira de Angelim Araroba atingiu 10,2 MPa como valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, sendo superior ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (8,6 MPa) e inferior aos obtidos por Grobério & Lahr (2002) (11,3 MPa), Lahr & Dias (2004) (12 MPa) e IPT (2018) (14,2 MPa). O valor característico obtido no presente estudo foi de 8,44 MPa, sendo inferior ao apresentado por Jesus *et al.* (2015) (9,34 MPa).

Em relação as propriedades da Oiticica Amarela, o valor médio obtido de 18,5 MPa para o f_{v0} foi superior ao apresentado pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) (10,6 MPa) e IPT (2018) (9,8 MPa). Para o valor característico da propriedade, Jesus *et al.* (2015) apresentou resultado (8,69 MPa) consideravelmente inferior ao presente estudo (17,6 MPa).

Já para a Maçaranduba, o valor médio encontrado foi de 23 MPa sendo superior aos apresentados pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) (14,9 MPa) e IPT (2018) (8,2 MPa). O presente estudo, em relação ao valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, apresentou o valor de 20,15 MPa sendo superior ao obtido por Jesus *et al.* (2015) (11,77 MPa).

Para a madeira de Cedroarana, os autores Lahr & Dias (2004) (9,4 MPa), norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) (5,6 MPa) e IPT (2018) (7,2 MPa) obtiveram valores inferiores para o valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras quando comparado ao presente estudo (10,7 MPa). Já o valor característico da propriedade (6,57 MPa) foi muito próximo ao apresentado por Jesus *et al.* (2015) (6,21 MPa).

Em relação ao valor médio encontrado para o Louro Verde, o presente estudo resultou em 11 MPa de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, sendo próximo aos encontrados

por Araújo (2007) (9,71 MPa), Lahr & Dias (2004) (13,1 MPa) e NBR 7190 (ABNT, 1997) (9 MPa).

A madeira de Guaiçara, em relação à resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, o valor médio encontrado no presente estudo foi de 20,7 MPa, sendo superior ao apresentado pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) (12,5 MPa) e por Dias & Lahr (2004) (20,3 MPa). Para a madeira de Copaíba, o presente estudo obteve um valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de 13,9 MPa, sendo inferior aos apresentados por Aquino *et al.* (2018) (15 MPa) e Dias & Lahr (14,6 MPa) para mesma propriedade e espécie.

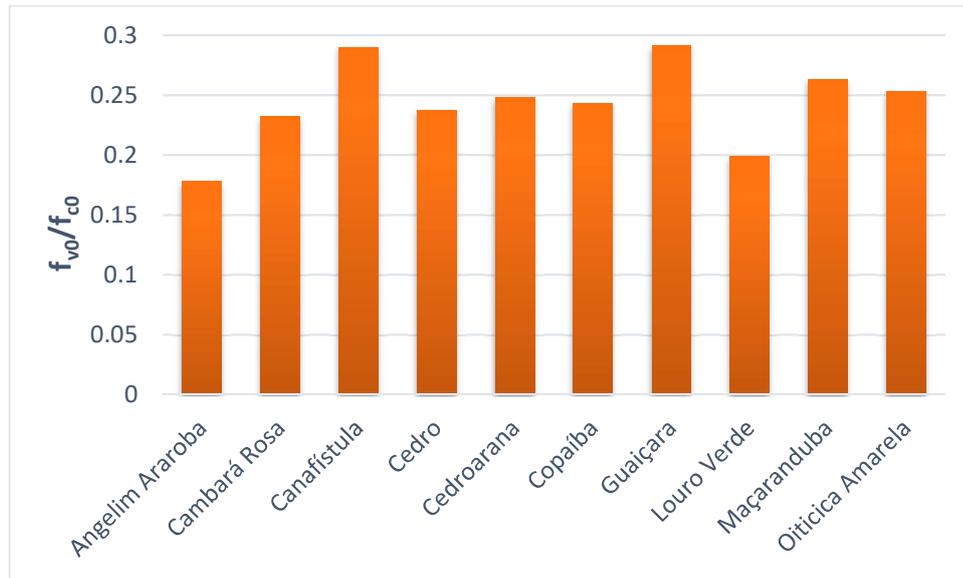
4.3 DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES ATRAVÉS DE MÉTODO ESTATÍSTICO

As relações encontradas foram obtidas através da minimização da Equação 16, apresentada no Item 3.3 e utilizou-se o software Mathcad® versão 14 para determinação dos coeficientes. Inicialmente, foram realizadas as estimativas das relações entre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras considerando cada espécie individualmente. Os resultados são apresentados numericamente na Tabela 34, assim como a média considerando o conjunto de todas as relações encontradas. Para facilitar a visualização da variação dos valores dos coeficientes ótimos encontrados, na Figura 21 os resultados são expostos em forma de gráfico.

Tabela 34 – Relações considerando cada espécie individualmente

Espécie	Relação
Angelim Araroba	$f_{v0,k} = 0,178.f_{c0,k}$
Cambará Rosa	$f_{v0,k} = 0,232.f_{c0,k}$
Canafístula	$f_{v0,k} = 0,290.f_{c0,k}$
Cedro	$f_{v0,k} = 0,237.f_{c0,k}$
Cedroarana	$f_{v0,k} = 0,248.f_{c0,k}$
Copaíba	$f_{v0,k} = 0,243.f_{c0,k}$
Guaiçara	$f_{v0,k} = 0,291.f_{c0,k}$
Louro Verde	$f_{v0,k} = 0,199.f_{c0,k}$
Maçaranduba	$f_{v0,k} = 0,263.f_{c0,k}$
Oiticica Amarela	$f_{v0,k} = 0,253.f_{c0,k}$
Média	$f_{v0,k} = 0,243.f_{c0,k}$

Figura 21 – Relações f_{v0}/f_{c0} considerando as espécies de maneira individual

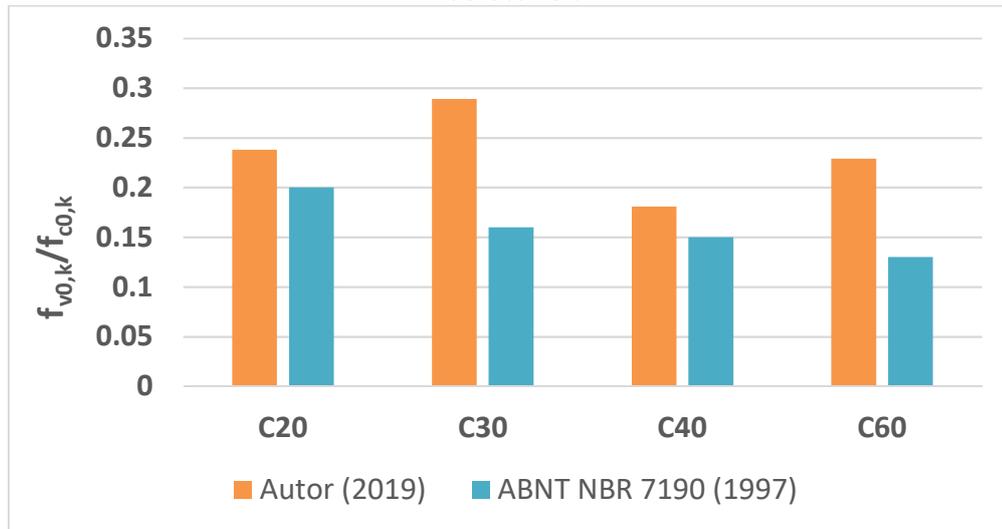


Posteriormente, tomou-se o conjunto das espécies separadas por classes de resistência, calculou-se o coeficiente ótimo (λ) para cada uma das 4 classes (C20, C30, C40, C60) para madeiras folhosas apresentadas pela norma brasileira. A Tabela 35 apresenta os coeficientes ótimos encontrados estatisticamente, os valores apresentados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) em seu texto para as mesmas relações e os as médias para ambos as análises. Na Figura 22 apresenta-se um gráfico com os mesmos coeficientes.

Tabela 35 – Relações considerando as classes de resistência propostas pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997)

Classe	Relação	ABNT NBR 7190 (1997)
C20	$f_{v0,k} = 0,238 \cdot f_{c0,k}$	$f_{v0,k} = 0,20 \cdot f_{c0,k}$
C30	$f_{v0,k} = 0,290 \cdot f_{c0,k}$	$f_{v0,k} = 0,16 \cdot f_{c0,k}$
C40	$f_{v0,k} = 0,181 \cdot f_{c0,k}$	$f_{v0,k} = 0,15 \cdot f_{c0,k}$
C60	$f_{v0,k} = 0,229 \cdot f_{c0,k}$	$f_{v0,k} = 0,13 \cdot f_{c0,k}$
Média	$f_{v0,k} = 0,234 \cdot f_{c0,k}$	$f_{v0,k} = 0,16 \cdot f_{c0,k}$

Figura 22 – Relações f_{v0}/f_{c0} considerando as espécies separadas por classes de resistência



Por fim, calculou-se a relação considerando o conjunto de todas as espécies juntas. O coeficiente ótimo (λ), aplicando a estatística demonstrada no Item 3.3 do presente trabalho, é apresentada na Equação 28.

$$f_{v0,k} = 0,221 \cdot f_{c0,k} \quad (28)$$

Como pode ser observado na Equação 18, constatou-se uma relação onde a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foi da ordem de 22,1% da resistência à compressão paralela às fibras, sendo 84,16% maior do que o valor proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (12%). A Tabela 35 evidencia que não houve uma variação proporcional entre as espécies conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997) determina em seu texto na Tabela 9 (página 16).

A divergência apresentada entre o valor proposto pela norma e a Equação 28 pode ser fundamentada, em partes, pela variabilidade intrínseca do material e pelo modelo de cálculo utilizado para a determinação dos resultados experimentais, assim como, o fato de que a relação apresentada no Item 6.3.3 da NBR 7190 (ABNT, 1997) considera as madeiras de reflorestamento e nativas no mesmo conjunto, sendo que as madeiras de reflorestamento tendem a apresentar valores de resistências inferiores as nativas, influenciando no coeficiente ótimo (λ) da relação.

Matos & Molina (2016) realizaram um estudo comparativo entre os valores de resistência ao cisalhamento para a madeira de *Eucalyptus saligna* utilizando o método proposto pela norma ABNT NBR 7190:1997 e pela ISO 13910:2005. Além de obterem experimentalmente a resistência ao cisalhamento, os autores investigaram a relação de

$f_{v0,k}/f_{c0,k}$ onde encontraram o valor 0,130. Nota-se que o valor encontrado foi inferior ao apresentado pelo presente estudo e próximo ao apresentado pela NBR 7190 (ABNT,1997), reforçando a possível influência das madeiras reflorestadas na relação investigada.

Além da origem das madeiras, deve ser ressaltada a variabilidade do material. Ao observar a Tabela 21 nota-se que há uma divergência entre os valores de relação considerando cada espécie individualmente.

5. CONCLUSÃO

Diante do exposto foi possível concluir que o valor encontrado para a relação entre a resistência ao cisalhamento paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras, considerando o conjunto de todas as espécies, no presente estudo foi significativamente diferente do valor proposto no Item 6.3.3 da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo 84,16% superior. Destaca-se que ao apresentar uma relação com valor inferior, é possível afirmar que a norma brasileira está sendo conservadora. Essa divergência faz com que haja um superdimensionamento dos elementos, conseqüentemente, um maior gasto de material e aumento do peso próprio das estruturas. Um destaque desse superdimensionamento está nas ligações, onde o espaçamento mínimo entre os parafusos e a espessura convencional da peça (t) são influenciados diretamente pela resistência ao cisalhamento da madeira utilizada na estrutura.

O estudo também obteve divergências nos valores das relações encontradas considerando as espécies separadas pelas diferentes classes de resistência em comparação com os valores da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), não mantendo a proporção e valores indicados na Tabela 9 (página 16) do documento normativo. Foi destacado também o caráter inédito da pesquisa visto que a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) é a única que apresenta as relações entre as propriedades considerando a resistência característica à compressão paralela às fibras como referência. Esse fator foi evidenciado com a apresentação das relações presentes na norma europeia EN 383:1995.

As divergências encontradas entre os resultados do presente estudo em comparação aos valores apresentados pela norma brasileira podem ser fundamentadas pela variabilidade intrínseca do material, assim como, o fato que as relações apresentadas no texto da NBR 7190 (ABNT, 1997) consideram as madeiras de reflorestamento e nativas no mesmo conjunto. A influência das madeiras de reflorestamento é justificada por estas tenderem a apresentar valores de resistências inferiores quando comparadas às espécies nativas.

Em função da grande diferença encontrada entre os valores das relações em comparação com os estabelecidos pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e da importância da relação estudada para o dimensionamento estrutural, faz-se necessário o desenvolvimento de outras pesquisas nesta temática, como: estudo investigando a mesma relação para uma

maior variabilidade de espécies, avaliação da relação $f_{v0,k}/f_{c0,k}$ considerando separadamente espécies nativas e de reflorestamento, estimativa da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras através de uma relação com a resistência característica na flexão estática de referência conforme a EN 383:1995.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; CHRISTOFORO, A. L.; VARANDA, L. D.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; JUNIOR, C. C. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente, **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.203-207, 2014.

ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; CHAHUD, E.; BRANCO, L. A. M. N.; LAHR, F. A. R. Density as Estimator of Strength in Compression Parallel to the Grain in Wood. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 3, p. 67-71, 2016.

AQUINO, F. R.; PENÃ, M. M. G.; HERNANDÉZ, J. I. V.; MANZANARES, A. R.; SALINAS, M. F. Mechanical properties of wood of two Mexican oaks: relationship to selected physical properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 76, n. 1, p. 1-9, 2017.

AQUINO, V. B. M.; ALMEIDA, J. P. B.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Physical and Mechanical Characterization of *Copaifera sp.* Wood Specie. **International Journal of Materials Engineering**, v. 8, n. 3, p. 55-58, 2018.

ARAUJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba -PR, v. 37, n. 3, set/dez. 2007.

ARRUDA, L. M.; MENEZZI, C. H. S. D., ANDRADE, A. Utilization of a thermomechanical process to enhance properties of hardwood used for flooring. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 6, n. 3, p. 223-231, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 7190. **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 107 p., 1997.

BEECH, E.; RIVERS, M.; OLDFIELD, S.; SMITH, P. P. GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 36, n. 5, p. 454-489, 2017.

CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, p. 71-77, 1997.

CALIL JUNIOR, C.; BARALDI, T. L. Critérios de dimensionamento para treliças executadas com chapas com dentes estampados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EBRAMEM, p. 101-112.

CALIL JÚNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista da Madeira**, n. 88, 2005.

CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Caracterização do setor florestal: Uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2005.

CHRISTOFORO, A. L.; BLECHA, K. A.; CARVALHO, A. L. *Cet al.* Characterization of Tropical Wood Species for Use in Civil Constructions. **Journal of Civil Engineering Research**, v. 3,

n. 3, p. 98–103, 2013.

CHRISTOFORO, A. L.; AFTIMUS, B. H.; PANZERA, T. H.; MACHADO, G. O.; LAHR, F. A. R. Physico-mechanical characterization of the *Anadenanthera Colubrina* wood specie. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 376-384, 2017a.

CHRISTOFORO, A. L.; ARROYO, F. N.; SILVA, D. A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Full characterization of *Calycophyllum Multiflorum* wood specie. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 37, n. 4, p. 637-643, 2017b.

CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição anatômica de espécies de madeira utilizadas na Construção Civil. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 3, p. 227-236, 2011.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente, **Scientia Florestalis**, Piracicaba - SP, n. 65, p. 102 - 113, jun. 2004.

DIEWALD, C. Canafístula. 2013. Disponível em: <<https://cidadesquerespiram.wordpress.com/2013/12/19/canafistula/>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

EMBRAPA. **Circular técnica: Canafístula**. 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/306466/1/CT0064.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

EVANS, J. L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

GROBÉRIO, M. P.; LAHR, F. A. R. Indicações para o emprego da madeira de espécies tropicais do Brasil, **Madeira: arquitetura e engenharia**, n. 8, 2002.

HARA, M. M.; MATOSKI, A.; MAGAJEWSKI, C.; CASALI, J. M. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por punção. **Revista Engenharia e Construção Civil**, Curitiba – PR, v. 1, n. 2, p. 40-54, jul/dez.,2014.

IBÁ. Relatório Anual. **Indústria Brasileira de Árvores**, p. 80, 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Identificação de espécies florestais: Cedrella fissilis (Cedo)**. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cedrella.fissilis.asp>>. Acesso em: 27 jul. 2018

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Identificação de espécies florestais: Copaifera langsdorffii (Copaíba)**. 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/copaifera.langsdorffii.asp>>. Acesso em: 27 jul. 2018

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. Publicação IPT; 3010, 2. ed. São Paulo, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil**. Publicação IPT; 4371, 104 p., ISBN: 978-85-09-00175-9, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras. IPT, 2018. Disponível em: <http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira>. Data de acesso: 2. jun. 2018.

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, 2015.

LAROCA, C.; MATOS, J. Habitação social e design como oportunidades para o setor. **Revista da madeira**, n. 77, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 1. ed. Nova Odessa:Plantarum, 1992. 385 p.

MADEREIRA SÃO PAULO. **Cedrinho**. 2016a. Disponível: <<http://www.madsaopaulo.com.br/madeira-cedrinho/>>. Acesso em 25 jul. 2018.

MADEREIRA SÃO PAULO. **Copaíba**. 2016b. Disponível:<<http://www.madsaopaulo.com.br/madeira-copaiba/>>. Acesso em 25 jul. 2018.

MADEREIRA SÃO PAULO. **Louro**. 2016c. Disponível:<<http://www.madsaopaulo.com.br/madeira-louro/>>. Acesso em 25 jul. 2018.

MATOS, G. S.; MOLINA, J. C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISSO 13910:2005. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1069-1079, 2016.

MORAES, P. D.; FIGUEROA, M. J. M. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157–174, 2009.

MOREIRA, A. P.; SILVEIRA, E.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Toughness and Impact Strength in Dynamic Bending of Wood as a Function of the Modulus of Elasticity and the Strength in Compression to the Grain. **International Journal of Materials Engineering**, v. 7, n. 4, p. 61-67, 2017.

PAZOS, G. M. B.; ORTEGA, F. E.; ALVAREZ, G. A.; PÉREZ, P. R. Relación estructural-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. **Universidad y Ciencia**, Villahermosa, México, v. 21, n. 42, p. 45-55, 2005.

PINHEIRO, R. V.; LAHR, F. A. R. Influência da preservação, contra a demanda biológica, nas propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. **Madeira: arquitetura e engenharia**, n. 6, set/dez. 2001.

PROMAP MADEIRA. **Maçaranduba**. 2015. Disponível: <<http://www.promapmadeiras.com.br/macaranduba.html>>. Acesso em 25 jul. 2018.

REMADE. **Madeiras brasileiras e exóticas: Louro-preto**. 2013. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/201/madeiras-brasileiras-e-exoticas/louro-preto>>. Acesso em: 25 jul. 2018

REMAGE, M. H.; BURRIDGE, H.; BUSSE-WICHER, M.; FEREDAY, G.; REYNOLDS, T.; SHAH, U. D.; WU, G.; YU, L.; FLEMING, P.; DENSLEY-TINGLEY, D.; ALLWOOD, J.; DURPREE, P.; LINDEN, P.F.; SCHERMAN, O. The wood from the trees: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy**, v. 68, p. 333-359, 2017.

ROSA, R. A.; FRANÇA, L. C. A.; SEGUNDINHO, P. G. A.; LUBE, V. M.; PAES, J. B. Caracterização da madeira de Maçaranduba (*Manilkara* sp.) por métodos destrutivos e não destrutivos. **Ciência da Madeira**, Pelotas -RS, v. 05, n. 01, p. 68-78, 2014.

SILVA, C. E. G.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; CHAHUD, E.; BRANCO, L. A. M. N.; CAMPOS, C. I. LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Influence of the procurement site on physical and mechanical properties of Cupiúba wood species. **BioResources**. v. 13, p. 4118-4131, 2018.

SISTEMA FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF 2016**, v. 7, n. 2, p.7, 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/2231-boletim-snif-recursos-florestais-2016/file>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de Canafístula aos 10 anos de idade. *Ciência Rural*, Santa Maria -RS, v. 40, n. 5, p. 1097-1102, 2010.

WANG, L.; TOPPINEN, A.; JUSLIN, H. Use of wood in green building: A study of expert perspectives from the UK. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 350–361, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.023>>.