

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA DOMBROWSKI KAMINSKI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA AÇOITÁ CAVALO - *LUEHEA*
DIVARICATA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS EM MADEIRA.**

GUARAPUAVA

2022

EDUARDA DOMBROWSKI KAMINSKI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA AÇOITÁ CAVALO - *LUEHEA*
DIVARICATA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS EM MADEIRA.**

**Analysis of Wood Properties Açoitá Cavalo - *Luehea Divaricata* for wooden
structure projects**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dyorgge Alves Silva

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

EDUARDA DOMBROWSKI KAMINSKI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA AÇOITÁ CAVALO - LUEHEA
DIVARICATA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS EM MADEIRA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05/julho/2022

Dyorgge Alves Silva

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Álamo Alexandre da Silva Batista (Membro da Banca)

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gessica Katalyne Bilcati

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à minha família, por sempre me apoiarem e darem todo o suporte necessário para toda a minha formação, pelo apoio de todas as formas possíveis, mas principalmente por sempre saber que estariam comigo para me auxiliar em tudo que fosse necessário. De forma especial agradeço ao meu pai, Emerson Kaminski, a quem além de me dar todo o amparo como família e de ter sido sempre meu porto seguro, auxiliou ativamente no acesso aos corpos de prova da madeira estudada. Agradeço a todas as minhas tias, minha avó, meus tios, sem vocês nada seria possível.

Minha profunda gratidão a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por todo o conhecimento e evolução que pude viver ao longo destes anos. Muito mais que conhecimento de cálculo, a Universidade me possibilitou o desenvolvimento como pessoa, como profissional, como membro da sociedade. O movimento estudantil e todos os demais projetos que tive a oportunidade de participar durante a graduação transformaram a minha visão de mundo.

Agradeço ao meu orientador, o professor Dyorgge Alves Silva, por toda a assistência com o pesquisa e pela oportunidade de poder estudar o material a qual dedico os meus estudos desde o princípio das minhas pesquisas acadêmicas. Agradeço aos professores de laboratório Lucas e Rafaela pelo suporte na realização dos testes laboratoriais, que foram essenciais na execução desta pesquisa.

Agradeço a cada professor e servidor da UTFPR-GP por de alguma estar auxiliando na minha formação acadêmica. Agradeço aos meus colegas de graduação pela companhia diária, pelas amizades construídas e pelos conhecimentos construídos juntos.

Sozinha não seria capaz de chegar aonde cheguei, minha sincera gratidão a todos que me auxiliaram nesta caminhada.

Para lidar com o grande número de informações, não basta disponibilizar diversas tecnologias da informação, é preciso criar um ambiente propício a trabalhar com foco no conhecimento, com estratégias e procedimentos suportados por sistemas adequados aos problemas enfrentados.

(SANTOS;SOUSA, 2010)

RESUMO

Devido à preocupações com a utilização de recursos renováveis a madeira vem sendo repensada quanto à sua aplicação na construção civil. Para se utilizar deste material é necessário conhecer suas particularidades e propriedades para cada espécie, de forma a permitir que a madeira possa ser empregada em estruturas. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade da madeira Açoitá Cavalo estruturalmente na construção civil. A partir dos ensaios laboratoriais seguindo a ABNT NBR 7190: 1997, a madeira se caracterizou com densidade aparente de 649,1 kg/m³, menor que grande parte das madeiras catalogadas, podendo ser considerada leve. Com relação à compressão paralela às fibras, seus resultados forneceram valores satisfatórios, com valor final de 57,6 MPa, exibindo resistência superior a madeira mais pesadas e mais de 50% das madeiras catalogadas. Quanto à resistência à tração, seu valor de análise resultou em 31,95 MPa, que comparado aos valores de referência é inferior às especificações catalogadas. Foi possível aplicar a madeira num modelo construtivo previamente desenvolvido mediante adaptações de extensão de dimensões iniciais. Mesmo com as adaptações para o dimensionamento o uso da madeira em projeto de cobertura treliçada, forneceu um índice de consumo 0,034 m³/m², valor muito próximo a projetos similares, o que indica uma boa aplicabilidade para finalidade estrutural. No quesito financeiro a madeira exibiu um índice de redução de 14,06% em comparação com a proposta inicial do dimensionamento, se mostrando viável financeiramente.

Palavras-chave: Madeira; Estrutura; Cobertura; Ensaio Experimental; Propriedade Mecânicas.

ABSTRACT

Due to the concern with the use of renewable resources in wood, it has been compensated for its application in civil construction. To use this material, it is necessary to know its characteristics and properties for each one of them, in order to allow a wood to be used in structures. Thus, the present work has the feasibility of analyzing the Açoitá Cavalo wood structurally in civil construction. From the laboratory tests following ABNT NBR 7190: 1997, the wood became with an apparent density of 649.1 kg/m^3 , lower than most of the cataloged woods, and can be considered light. Regarding the compression parallel to the fibers, their results provided satisfactory values, with a final value of 57.6 MPa , exhibiting superior strength to heavier woods and over 50% of cataloged woods. As for the tensile strength, its analysis value resulted in 31.95 MPa , which compared to the reference values is lower than the cataloged specifications. It was possible to apply the wood in a construction model previously developed through adaptations of extension of initial dimensions. Even with the adaptations for the sizing, the use of wood in a lattice roof project, provided a consumption index of $0.034 \text{ m}^3/\text{m}^2$, a value very close to similar projects, which indicates a good applicability for structural purposes. In the financial aspect, the wood exhibited a reduction rate of 14.06% compared to the initial dimensioning proposal, if of financial value.

Keywords: Wood; Structure; Roof; Experimental Assay; Mechanical Property.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Análise das datas das publicações	17
Figura 02 - Árvore Açoitá Cavalo	21
Figura 03 - Locais identificados de ocorrência natural de açoita-cavalos no Brasil	21
Figura 04 - Dimensões dos corpos de prova de umidade e densidade	25
Figura 05 - Corpos de prova ensaio de umidade antes da estufa	25
Figura 06 - Pesagem corpo de prova para determinação de massa seca	27
Figura 07 - Modelo de Corpo de Prova para ensaio de compressão paralela às fibras	28
Figura 08 - Corpos de Prova para ensaio de compressão paralela às fibras	28
Figura 09 - Ensaio de compressão paralela às fibras - diagrama tensão × deformação	30
Figura 10 - Modelo de Corpo de Prova para ensaio de tração paralela às fibras.	31
Figura 11 - Corpos de Prova para ensaio de tração paralela às fibras	31
Figura 12 - Esquema da planta baixa, elevação e perspectiva da edificação	34
Figura 13 - Estrutura da cobertura	35
Figura 14 - Treliça tipo Howe - numeração dos elementos de barra e dimensões da treliça	36
Figura 15 - Seção transversal das barras da treliça da cobertura	37
Figura 16 - Comportamento de deformação e tensão dos corpos de prova sujeitos a compressão paralela às fibras	45
Figura 17 - Comportamento de deformação e tensão dos corpos de prova sujeitos à tração paralela às fibras	47
Figura 18 - Seção transversal das barras da treliça da cobertura resultantes	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores críticos de Dixon	32
Tabela 02 - Coeficiente de ponderação das ações e fator de combinação para ELU	38
Tabela 03- Combinações para cálculo dos esforços internos	39
Tabela 04 - Peso e porcentagem de redução dos corpos de prova nas primeiras 3 medidas	40
Tabela 05 - Peso e porcentagem de redução dos corpos de prova nas últimas 3 medidas	41
Tabela 06 - Resultados de umidade aparente dos corpos de prova	41
Tabela 07 - Resultados de densidade básica dos corpos de prova	42
Tabela 08 - Resultados de densidade aparente dos corpos de prova	43
Tabela 09 - Resultados de Força e Tensão Máxima nos corpos de prova sujeitos a compressão paralela às fibras	44
Tabela 10 - Resultados de Força e Tensão Máxima nos corpos de prova sujeitos à tração paralela às fibras	46
Tabela 11 - Resultados Finais de Propriedades da madeira Açoita Cavalo	48
Tabela 12 - Dimensionamento inicial do modelo construtivo	50
Tabela 13 - Orçamentos construtivos da Açoita Cavalo e do Angelim	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
NBR	Normas Brasileiras
PR	Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

$U\%$	Umidade
m_i	Massa inicial da madeira
m_s	Massa da madeira seca
ρ_{bas}	Densidade Básica
V_{sat}	Volume saturado
ρ_{ap}	Densidade Aparente
m_{12}	Massa da madeira a 12% de umidade
V_{12}	Volume da madeira a 12% de umidade
$f_{c,0}$	Resistência à compressão paralela às fibras
$F_{c0,máx}$	Máxima Força de compressão aplicada ao corpo de prova
A	Área Inicial da seção transversal
f_{to}	Resistência à tração paralela às fibras
$F_{t0,máx}$	Máxima Força de tração aplicada ao corpo de prova
E_{to}	Módulo de Elasticidade a tração
$\sigma_{50\%}$	Tensão de tração de 50% de resistência f_{to}
$\sigma_{10\%}$	Tensão de tração de 10% de resistência f_{to}
$\varepsilon_{50\%}$	Deformação Específica de tração no trecho central com $\sigma_{50\%}$
$\varepsilon_{10\%}$	Deformação Específica de tração no trecho central com $\sigma_{10\%}$
Qi	Valor do teste de Dixon (Q) inferior da amostra suspeito de ser <i>outlier</i>
Qs	Valor do teste de Dixon (Q) superior da amostra suspeito de ser <i>outlier</i>
$Qtab$	Valor do teste de Dixon (Q) tabelado
n	Número de corpos de Prova Analisados

E_{com}	Módulo de Elasticidade à compressão
$F_{Q1,k}$	Ação permanente
$F_{Qj,k}$	Ação variável principal
γ_G	Coefficiente parcial de segurança das ações permanentes
γ_q	Coefficiente de segurança da ação variável
ψ_{0j}	Coefficiente de combinação da ação variável

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	16
2.1. Histórico da madeira como material construtivo	18
2.1.1. Viabilidade Técnica da madeira	19
2.1.2. Viabilidade Econômica da madeira	19
2.2. Madeira Açoitá Cavallo	20
2.3. Propriedades mecânicas da madeira	22
2.3.1. Umidade	22
2.3.2. Densidade	22
2.3.3. Comportamento da madeira submetida a carregamentos	23
3. METODOLOGIA	24
3.1. Ensaio Experimentais	24
3.1.1. Ensaio para determinação de Umidade	24
3.1.2. Ensaio para determinação de Densidade	26
3.1.3. Ensaio para determinação de Compressão Paralela às fibras	27
3.1.4. Ensaio para determinação de Tração Paralela às fibras	29
3.1.5. Teste de Dixon (Q)	31
3.1.6. Valores Característicos	33
3.2. Aplicação em Modelo Construtivo Estrutural	33
3.2.1. Análise estrutural da cobertura	37
3.2.2. Combinações para Estados Limites	37
4.1. Resultados dos Ensaio Experimentais	40
4.1.1. Resultados para determinação de Umidade	40
4.1.2. Resultados para determinação de Densidade	42
4.1.3. Resultados para compressão paralela às fibras	44
4.1.4. Resultados para tração paralela às fibras	46
4.2. Propriedades encontradas e comparação madeiras da norma	48
4.3. Aplicação no modelo construtivo da madeira estudada	49
4.4 Comparação com a tração calculada e cálculo da indicado pela norma	51
4.5 Análise de viabilidade financeira	51
5. CONCLUSÕES	53
ANEXO A	57
ANEXO B	59

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil é um setor que vem apresentando significativo crescimento e conseqüentemente grande competitividade. Com 131,8 mil empresas ativas e 2 milhões de pessoas empregadas, o setor da construção pagou R\$ 58,7 bilhões em salários, retiradas e outras remunerações. (IBGE, 2020). Assim sendo um setor em grande expansão, vê-se como necessário estudar as diferentes possibilidades de técnicas e materiais construtivos.

Analisando também questões ambientais como a falta de recursos renováveis, a praticidade e a questão da durabilidade mostra-se como necessário explorar as diferentes perspectivas oferecidas por cada material construtivo. (SALOMÃO, P.E. A., et. al., 2019).

Ramage, et.al. (2017) indicam o uso da madeira como um material com ilimitadas possibilidades de uso em projetos, inclusive em edifícios grandes com seis ou mais andares. No caso destes grandes edifícios é necessário o uso de química de modificação da madeira, a fim de oferecer qualidade nas propriedades mecânicas e durabilidade suficientes para atender ao solicitado pelo edifício. Os mesmos autores apontam que a madeira exibe alta relação resistência/peso e é usada de forma mais eficiente em estruturas nas quais suporta muito de seu próprio peso. O material conta com particularidades que demandam estudo específico para oferecer vida útil satisfatória, mas também benefícios, como por exemplo, para as economias que dependem da silvicultura.

Moraes e Valle (2020) apontam que no cenário brasileiro a utilização da madeira na construção é reduzida pela tradição cultural, falta de informações de suas propriedades técnicas, além das normas existentes serem insuficientes, assim como a formação acadêmica dos profissionais da construção civil.

Asdrubali, et. al. (2017) aponta que esse material vem sendo repensado quanto à sua utilização devido às suas características de fabricação e leveza, como: a possibilidade de condições amigas do ambiente, desde que corretamente monitorada, disponibilidade e opções de fabricação sem alta energia proveniente do emprego de combustíveis fósseis, relação valiosa entre peso e resistência, amplo espectro de valores de densidade e resistência, alta resistividade térmica combinada com boas propriedades de isolamento térmico, além de diferentes características

externas. Além disso, as propriedades estruturais da madeira estão ligadas às suas características anisotrópicas, enquanto a sua leveza garante baixas forças de inércia durante a exposição sísmica.

Gonçalves, et.al. (2009) levanta que o uso da madeira como material construtivo apenas deve ser aplicado quando se houver conhecimento adequado de suas propriedades físicas e mecânicas. Indica ainda, que estas propriedades são influenciadas por diversos fatores, como posição na árvore, umidade, tempo de duração da carga e estrutura da madeira.

Considerando assim a crescente busca por tal material e a necessidade de conhecimento de suas propriedades, este trabalho visa abordar de forma experimental propriedades construtivas de uma madeira encontradas localmente na região de Guarapuava - PR.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar as propriedades da madeira Açoitá Cavalo, de nome científico *Luehea divaricata* (Tiliaceae) para projetos de estruturas em madeira.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar experimentalmente as propriedades físicas e mecânicas;
- Aplicar os resultados encontrados para a madeira em uma simulação de cálculo estrutural de uma cobertura.

1.2 Justificativa

Ao se projetar qualquer construção em madeira com aplicação estrutural é necessário se ter conhecimento das propriedades da mesma, pois as propriedades interferem diretamente no cálculo, e conseqüentemente na viabilidade econômica e estrutural. Considerando madeiras encontradas regionalmente com propriedades desconhecidas pela norma e pelos principais institutos de pesquisa o cálculo e

estudo da aplicação da mesma se torna complexo e é muitas vezes desconsiderado ou aplicado sem conhecimento da efetividade do material, contribuindo para a problemática de preconceito da aplicação do material devido à falta de conhecimento. A madeira escolhida não conta com valores de referência na norma, mas apresenta incidência significativa na região Sul e Sudeste do Brasil. Além de ser indicada pelo Instituto Brasileiro de Florestas como uma madeira de boa resistência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

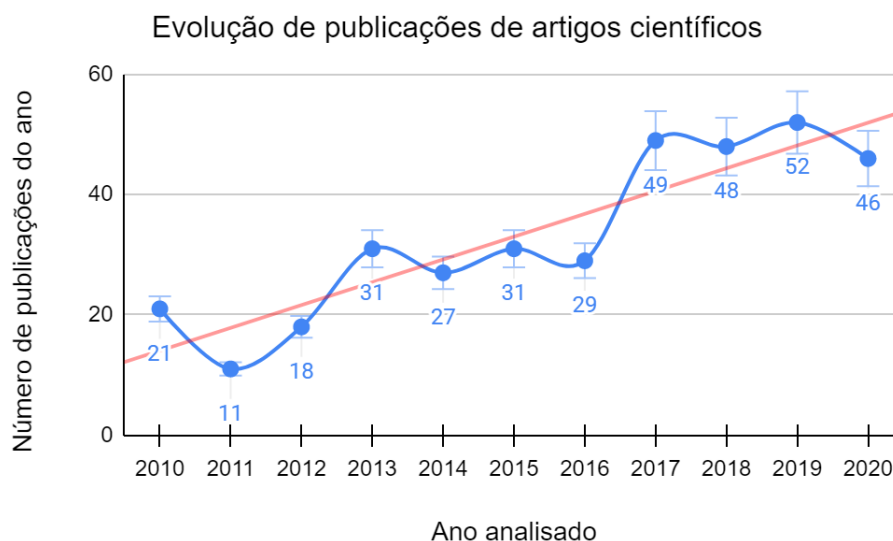
A fim de encontrar alternativas que minimizem o impacto ambiental desencadeado pela sociedade e devido ao grande impacto representativo da construção, a partir da conferência mundial Rio-92 países europeus consideram a aplicação da madeira na construção uma alternativa significativa para o desenvolvimento sustentável (MEIRELLES, 2008).

A madeira demonstra potencial para poder ser tratada como um dos principais materiais de construção, devido a preocupações ambientais e de escassez de energia devido a sua capacidade de renovação. Com este material podem ser fabricados elementos de madeira fortes, versáteis e duráveis. Em contrapartida, seu desempenho de longo prazo reconhece alguns problemas, acarretando na confiança reduzida em relação à sua segurança (LAU; *et.al.*,2016).

Analisando o histórico de utilização da madeira Asdrubali, et. al. (2017) caracterizam três principais fases. Na primeira, antes de 1850 como um material insubstituível para edifícios, com carência de demais opções de materiais. Posteriormente, a partir da segunda metade do século XIX, na segunda fase, ocorreu a diminuição do uso da madeira devido aos novos materiais estruturais que passaram a ganhar espaço na construção. E mais recentemente, a partir de 1970 as propriedades renováveis e as propriedades versáteis da madeira vem fazendo com que ela ganhe importância crescente.

Realizando-se um levantamento de dados com a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), proposta por Mariano e Rocha (2017), analisando a literatura científica utilizando as palavras chaves: “wood”; “structure”; “comparison” e utilizando filtros das principais áreas de interesse e para as publicações mais recentes de 01 de janeiro de 2010 à 08 de agosto de 2021 na base de dados Web of Science é possível observar que na pesquisas sobre o tema, há uma tendência de crescente gradativa através dos anos sobre o assunto, conforme mostra no gráfico 01. É possível observar que o ano com maior interesse sobre o tema foi em 2019, com 52 publicações sobre o assunto.

Figura 01 - Análise das datas das publicações



Fonte: Autoria própria com dados obtidos na Web Of Science, 2021.

Brischke e Thelandersson (2014) levantam que a vida útil e a classificação do desempenho são questões fundamentais no setor de construção. Assim sendo, modelos de desempenho com bom funcionamento são essenciais para prever a vida útil e a funcionalidade de edifícios e de seus materiais. Diversos modelos de desempenho foram desenvolvidos para diferentes materiais construtivos, porém tais modelos têm dificuldade em serem aplicados para a madeira, devido ao seu caráter orgânico.

Para permitir o uso da madeira num patamar mais amplo e confiável é necessário entender os fatores que afetam a vida útil da madeira. Para caracterizar a durabilidade de materiais à base de madeira, estudos de Humar *et.al.* (2019) analisam a degradação e o teor de umidade dos elementos num estudo de através de monitoramento regular, nos resultados obteve-se benefícios eficientes para prolongar a vida útil.

Zenild (2011) pauta o quanto o desconhecimento a respeito das propriedades da madeira e a utilização métodos de construção antiquados desencadeiam desempenho insatisfatório em comparação com outros materiais.

Apesar destas dificuldades devido em grande parte à falta de estudo a respeito do material. Zenild (2011) indica para o elemento “alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas”. Observa-se a possibilidade de alterar a qualidade da matéria-prima através das técnicas

silviculturais, a fim de atender a qualidade matéria-prima desejada de acordo com o uso final desejado.

Assim, observa-se que para se fazer uso da madeira é necessário ter conhecimento prévio das propriedades da mesma, de forma a atender aos padrões mínimos de conforto, segurança e durabilidade. Além de dever ser viável economicamente e ser aceita na sociedade como eficiente.

2.1. Histórico da madeira como material construtivo

Historicamente a madeira data utilização como material construtivo há milênios, desde os primeiros assentamentos até as cidades contemporâneas. Documentalmente se encontram registros de diversas técnicas construtivas, em parte utilizadas até a atualidade com a madeira evidenciada como elemento estrutural chave (SOUTO; *et.al.*,2016).

A partir da implementação de outros materiais construtivos como o concreto e o aço a madeira passou a ceder seu espaço como material construtivo para os mesmos.

O concreto armado passou a ser introduzido no Brasil no início do século XX, porém neste cenário inicial o produto era patenteado e costumava ser aplicado apenas em significativas construções como pontes e viadutos. Com o apoio político e o processo de industrialização e urbanização a partir de 1930 a aplicação passou a se popularizar. Na metade do século XX, o concreto se consolidou como predominante na atividade construtiva (DOS SANTOS, 2008).

A implantação destes materiais pauta a redução do uso da madeira como material estrutural num primeiro cenário. Khorsandnia *et.al.* (2013) aborda que a madeira voltou a ter grande popularidade após a Primeira Guerra Mundial, devido à escassez de aço e concreto.

Em comparação com o que Asdrubal (2017) fala que a madeira passou a ser mais utilizada apenas por volta de 1970, devido a justificativas semelhantes que consideram questões ecológicas de renovação de recursos. Entra-se numa pequena divergência de quando o material passou a ser repensado. Como nos artigos citados, estudos apontam de fato o repensar nesse material devido aos seus benefícios.

Analisando quanto ao parecer da sociedade sobre a utilização de madeira em construções, Meirelles, *et.al.* (2008) em sua análise de viabilidade concluem que ao longo do tempo moradias de tal material passaram a ser associadas a edificações de baixa custo e de pequena durabilidade. O mesmo autor ainda indica que recentemente arquitetos e engenheiros vêm demonstrando quando feita com conhecimento adequado o resultado oferta durabilidade, praticidade construtiva, leveza do material e grande beleza.

2.1.1. Viabilidade Técnica da madeira

De acordo com a pesquisa de Meirelles (2008) através da utilização de sistemas construtivos pré-fabricados a madeira demonstrou grande vantagem, com um menor tempo de execução de obra. Tais construções pré fabricadas limitam o potencial arquitetônico da edificação. Outras alternativas como o sistema plataforma permitem produção em grande escala de habitações, este sistema em contrapartida é pouco conhecido pelos profissionais executores no Brasil. E aponta que para que a viabilidade seja mais efetiva é necessário garantia de boa durabilidade e a elaboração de bons projetos.

GAVA (2005) em sua tese analisa habitações sociais utilizando ensaios exploratórios e considerando todas as etapas da cadeia produtiva da habitação em madeira, tais resultados indicam a possibilidade de que a proposta seja tecnicamente viável.

2.1.2. Viabilidade Econômica da madeira

TALVITIE(2021) em seu estudo da madeira como material com emissão reduzida de gases de efeito estufa analisa o material na vertente da viabilidade econômica na área metropolitana de Helsinque. Considerando os dados dos imóveis do local entre 1999 e 2018 conclui-se que o uso da madeira causou redução de cerca de 9% dos valores encontrados tradicionalmente.

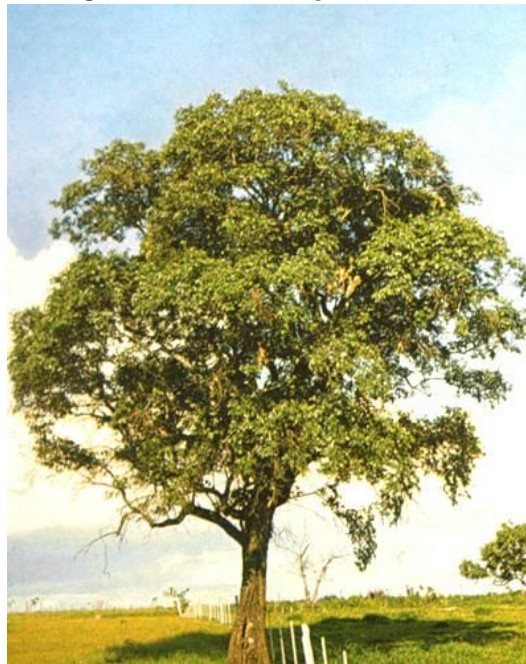
A realidade tratada por Talvitie parte de um cenário diferente do Brasil, onde o material não é comumente utilizado. Isso pode refletir negativamente nestes resultados no cenário nacional.

DUTRA e SIQUEIRA (2017) analisam a viabilidade financeira no cenário brasileiro através de planilhas orçamentárias numa comparação de madeira eucalipto com alvenaria bloco de concreto, onde a madeira resultou num percentual de 25,38% mais econômico. Numa comparação de quanto se pode produzir com o mesmo recurso financeiro obteve-se que com o dinheiro que é gasto para construir 100 casas para moradia popular de alvenaria de bloco de concreto é possível construir 125 casas em madeira de eucalipto.

2.2. Madeira Açoitá Cavallo

Conforme informações do Instituto Brasileiro de Florestas - IBF a árvore popularmente conhecida como Açoitá Cavallo, de nome científico *Luehea Divaricata* é uma caducifólia (perde as folhas na estação seca ou no inverno) e pode ter de 3,5 a 15 metros de altura e 20 a 50 centímetros de diâmetro, podendo atingir até 30 metros de altura e 100 centímetros de diâmetro, na idade adulta. O tronco desta árvore se caracteriza por ser tortuoso, nodoso, com reentrâncias e a casca externa com coloração parda-acinzentada-escura. Esta madeira se caracteriza por ser moderadamente pesada, resistente, extremamente flexível e de baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos. A mesma costuma ser empregada na construção civil, na confecção de móveis vergados e peças torneadas.

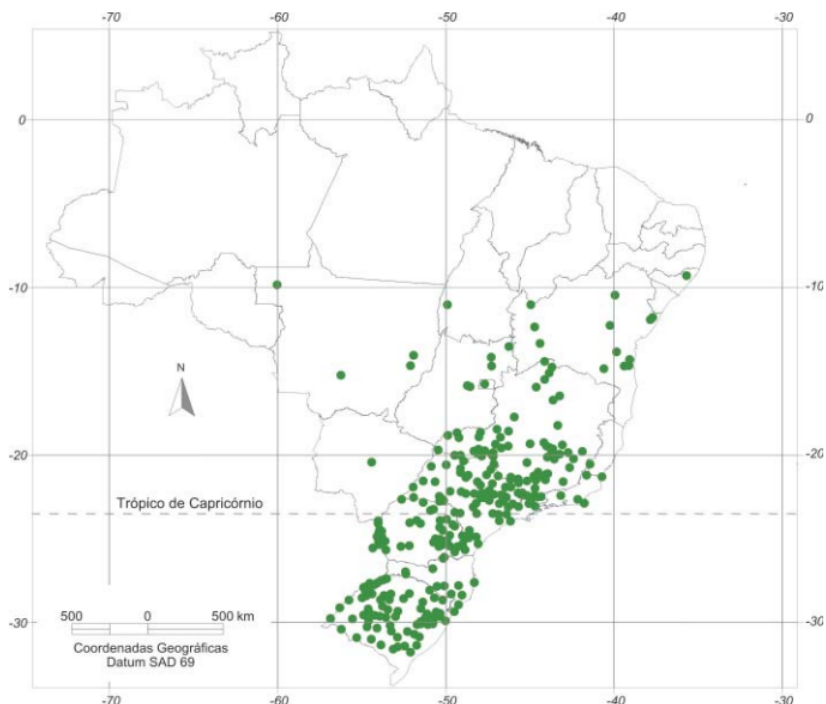
Figura 02 - Árvore Açoitá Cavalo



Fonte: Instituto Brasileiro de Florestas, 2022

Segundo Carvalho (2008) a incidência da árvore no país abrange os estados de: Alagoas, Bahia, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, com distribuição nacional da espécie representada na figura 02. O autor aborda também sobre o desenvolvimento da espécie que apresenta crescimento lento, variando de acordo com função do sítio inserido e de seus tratos culturais. Além disso, a espécie exibe altas taxas de sobrevivência nos plantios, variando de 72% a 100%.

Figura 03 - Locais identificados de ocorrência natural de açoita-cavalos no Brasil



Fonte: Paulo Ernani Ramalho Carvalho, Embrapa Florestas, 2008

2.3. Propriedades mecânicas da madeira

Para a aplicação de qualquer material em estruturas de forma eficaz é necessário a compreensão do seu comportamento mecânico. Quando tratamos da madeira, devido a ser uma material heterogêneo, a determinação das propriedades mecânicas precisa ser feita de forma criteriosa, a fim de atender satisfatoriamente às suas características reais que podem ser alteradas em análises pontuais devido à suas diferenças na estrutura (ABRUZZI; *et.al*, 2013).

2.3.1. Umidade

O teor de umidade em uso se relaciona à umidade relativa do meio e a temperatura do meio inserido. Este índice de umidade pode refletir em instabilidade dimensional, característica que busca ser evitada para a madeira. Segundo Galvão (1975),

"Abaixo da umidade de saturação ao ar, cerca de 30%, a madeira varia de dimensões proporcionalmente à quantidade de água cedida para o ambiente. Essa variação dimensional é maior na direção tangencial da madeira podendo atingir até mais de 15% do valor original, quando a umidade varia de 30% a 0%".

A resistência da madeira oscila juntamente ao teor de umidade da madeira. Observa-se que com o aumento do teor de umidade ocorre redução em sua resistência mecânica. Tal oscilação de resistência é mais delicada para baixos teores de umidade, enquanto que para altos índices de umidade é mínima. Conseqüentemente ao relacionar a resistência de duas espécies, ou peças, a determinação da umidade é essencial, pois a omissão destas informações pode resultar em uma espécie de menor resistência, com baixo teor de umidade, apresentar maior resistência que uma espécie com maior resistência, porém com elevado teor de umidade. (LOGSDON,1998)

2.3.2. Densidade

Ao se avaliar a qualidade da madeira um parâmetro importante é a densidade básica, sendo uma variável multifacetada por ser influenciada por diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alburno e arranjo dos elementos anatômicos. A densidade pode ser mensurada através da razão entre a massa seca e o volume saturado ou pelo método de máximo teor de umidade. Relações de comparações feitas entre os dois métodos demonstram não haver diferença significativa entre eles, não influenciando também as dimensões do corpo de prova. (SILVEIRA, *et.al.*, 2013).

2.3.3. Comportamento da madeira submetida a carregamentos

Quanto à análise da madeira quando submetida a carregamento, como um material anisotrópico expõe comportamento com fratura plástica ou frágil, com sua deformação se alterando conforme o tipo de solicitação da peça. Peças submetidas a anos de carregamento constante costumam ter um acréscimo de deformação com o passar do tempo. Observa-se que valores superiores de resistência são observados em madeira carregadas rapidamente. Segundo Scaliante (2012),

“A carga necessária para ocasionar a ruptura de uma peça de madeira no tempo de um segundo é aproximadamente 10% maior que a necessária para rompê-la numa situação de carregamento mais lento. Uma viga solicitada à uma carga constante durante 10 anos irá romper com uma carga 40% em relação a uma com carregamento com menor tempo de duração”.

A compressão paralela às fibras da madeira é referenciada pela ABNT NBR 7190: 1997. A partir da compressão podem ser estimadas outras mecânicas como a compressão normal às fibras e a tração paralela às fibras. Para a realização da caracterização da espécie desejada à compressão ABNT NBR 7190: 1997 - Projeto de estruturas de madeira, direciona ensaios laboratoriais normalizados e apresenta também valores médios de resistência para espécies coníferas e dicotiledôneas.

3. METODOLOGIA

Para se realizar esta análise das características da madeira Açoitá Cavalo a metodologia para as análises experimentais de determinação de propriedades se baseou na ABNT NBR 7190: 1997, que regulamenta a determinação das propriedades da madeira para projetos de estruturas com os métodos de ensaios a serem utilizados.

Quanto à determinação da amostragem, seguindo as recomendações da norma, o lote tinha volume inferior a 12 metros cúbicos e foi coletado na cidade de Guarapuava-PR. Do lote foram extraídos corpos de prova distribuídos aleatoriamente ao longo do lote, de forma a representar a totalidade deste. Além disso, os corpos de prova se mostraram isentos de defeitos e foram retirados de regiões afastadas das extremidades.

Considerando a caracterização mínima recomendada para caracterização da resistência de espécies pouco conhecidas foram adotados 12 corpos de prova para cada ensaio realizado.

3.1. Ensaio Experimentais

3.1.1. Ensaio para determinação de Umidade

O teor de umidade da madeira é calculado pela relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, dado equação 01.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (01)$$

Onde:

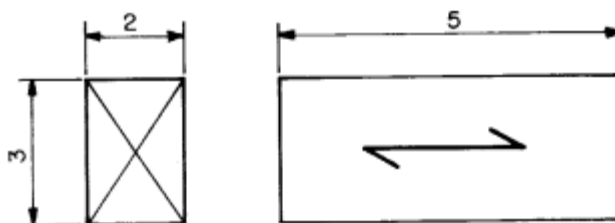
m_i é a massa inicial da madeira, em gramas;

m_s é a massa da madeira seca, em gramas.

Sobre a amostragem os 12 corpos de prova foram fabricados com seção transversal retangular, com dimensões de 2,0 x 3,0 centímetros e 5,0 centímetros ao

longo da fibra, conforme ilustrado na figura 04. Para a fabricação dos mesmos foi adotado a utilização de serra de marcenaria a fim de se evitar a queima de suas faces e de causar conseqüente perda de água imediata, tais corpos de prova estão ilustrados na figura 05.

Figura 04 - Dimensões dos corpos de prova de umidade e densidade



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997

Figura 05 - Corpos de prova ensaio de umidade antes da estufa



Fonte: Autoria própria, 2022

Para a execução do ensaio foram numerados cada um dos corpos de prova e determinadas as massas iniciais para cada um dos corpos de prova com balança digital de precisão de 0,0001 gramas. Após esta determinação inicial os corpos de prova foram colocados na câmara de secagem com temperatura aproximada de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Para se acompanhar a secagem foram realizadas medições a cada seis horas e analisadas as porcentagens de variação de de massa até atingir medidas consecutivas com variação igual ou inferior a 0,5% da massa. A equação utilizada

para determinação da porcentagem de variação de massa está elucidada na equação 02. A partir desta determinação de variação mínima será considerada a massa seca do corpo de prova.

$$\% \text{ de redução} = \frac{m_{\text{atual}} - m_{\text{anterior}}}{m_{\text{anterior}}} \times 100\% \quad (02)$$

Considerando que os 12 corpos de prova foram cortados uma semana antes da realização do experimento, após a determinação da massa inicial de cada um dos corpos de prova foram realizadas 6 pesagens para acompanhamento da redução de umidade dos mesmos. Sempre utilizando a mesma balança em todas as medições e manipulando os corpos de prova com luvas, a fim de evitar alterações de umidade.

3.1.2. Ensaio para determinação de Densidade

Para determinar a densidade básica e aparente do lote foram utilizados os mesmos corpos de prova da determinação de umidade. A densidade básica é definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, dada pela equação 03.

$$\rho_{\text{bas}} = \frac{m_s}{V_{\text{sat}}} \quad (03)$$

A partir do ensaio de umidade, onde foram definidas as massas secas dos corpos de prova e seus volumes com precisão de 0,01 centímetros utilizando paquímetro, tomando 4 medidas em cada dimensão dos corpos de prova a fim de levar em consideração imperfeições existentes na madeira.

Figura 06 - Pesagem corpo de prova para determinação de massa seca



Fonte: Aatoria própria, 2022

A partir de então todos os corpos de prova foram inseridos em recipientes com água até atingirem a sua saturação, com massa constante. Após a saturação, todos os corpos de prova foram novamente pesados e medidos para determinadas massa e volumes saturados.

Para a determinação da densidade aparente, que é considerada a massa específica convencional é determinada pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com teor de umidade de 12%, a densidade aparente é caracterizada pela equação 04.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

(04)

Onde:

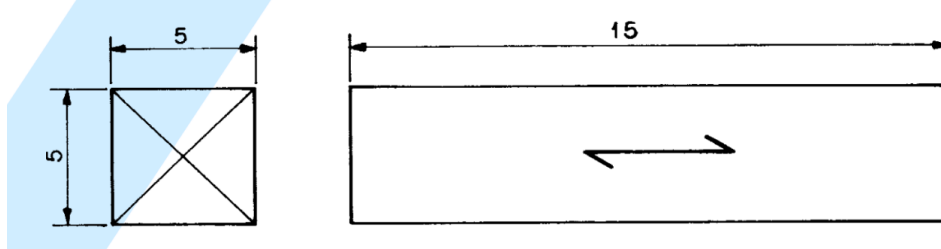
m_{12} é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilogramas;

V_{12} é o volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos.

3.1.3. Ensaio para determinação de Compressão Paralela às fibras

A resistência à compressão paralela às fibras da madeira ($f_{c,0}$) é determinada pela máxima tensão que num corpo de prova de seção transversal quadrada de 5,0 centímetros e 15,0 centímetros de comprimento, conforme ilustrado na figura 07.

Figura 07 - Modelo de Corpo de Prova para ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997

Figura 08 - Corpos de Prova para ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: Aatoria Própria, 2022

A máquina utilizada para o ensaio foi a Emic DL30000N onde cada um dos corpos de prova foi ajustado na máquina de ensaio e posteriormente submetidos a carregamento monotônico crescente, com taxa em torno de 10 MPA por minuto. O ensaio destrutivo foi aplicado em doze corpos de prova com umidade ambiente. Para a determinação das dimensões da peça utilizou-se das informações geradas no próprio relatório do ensaio com precisão de 0,01 centímetros.

Para expressar a resistência à compressão paralela às fibras faz-se uso da equação 05, onde a resistência é encontrada da razão entre a máxima tensão de

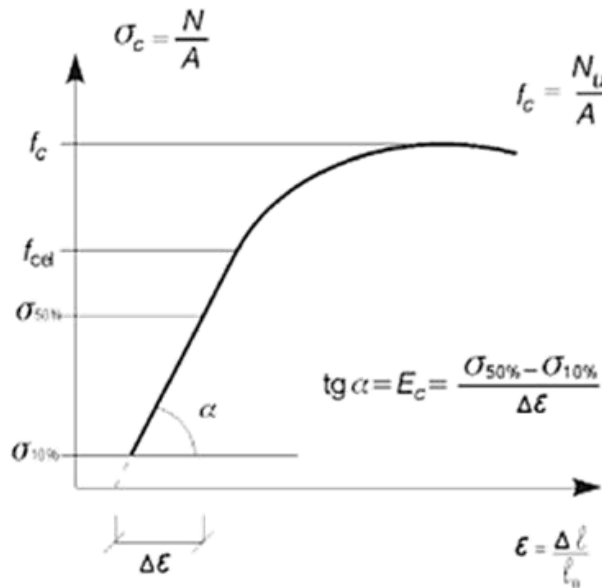
compressão que pode atuar no corpo de prova pela área inicial da seção transversal.

$$f_{co} = \frac{F_{c0,máx}}{A} \quad (05)$$

A partir do teste de compressão também é possível determinar o módulo de elasticidade, que é definido pela inclinação da reta secante à curva tensão X deformação (Figura 9), através da razão entre tensões de compressão de 10% e 50% e das deformações específicas de compressão, expressa na equação 06.

$$E_{com} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (06)$$

Figura 09 - Ensaio de compressão paralela às fibras - diagrama tensão × deformação.

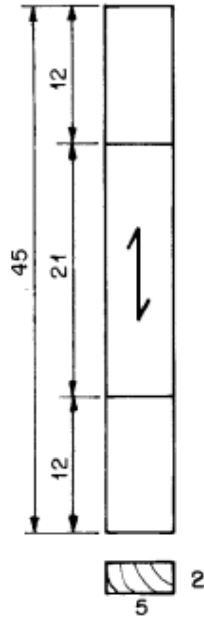


Fonte: Pfeil, 2003

3.1.4. Ensaio para determinação de Tração Paralela às fibras

Utilizando o mesmo maquinário que para o ensaio de compressão paralela às fibras foram produzidos 12 corpos de prova para o ensaio destrutivo de tração paralela às fibras. Os corpos de prova adotados forma de seção transversal retangular de 5,0 x 2,0 centímetros e 45,0 centímetros de comprimento, conforme ilustrado na figura 10.

Figura 10 - Modelo de Corpo de Prova para ensaio de tração paralela às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190: 1997

Figura 11 - Corpos de Prova para ensaio de tração paralela às fibras



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para a determinação da tração para paralela às fibras (f_{t0}) utiliza-se da equação 07, dada pela razão entre a máxima tensão de tração suportada pelo corpo de prova pela área de seção transversal inicial.

$$f_{t0} = \frac{F_{t0,máx}}{A}$$

De forma similar ao ensaio de compressão o carregamento de tração nos corpos de prova se deu com carregamento crescente monotônico com taxa aproximada de 10 MPa por minuto. Similar também na obtenção dos dados de dimensões da peça com informações geradas no próprio relatório do ensaio com precisão de 0,01 centímetros.

3.1.5. Teste de Dixon (Q)

A identificação de valores pertencentes a um conjunto de dados que possam ser caracterizados como *outliers* e o tratamento que se deve dar a eles é importante para a validação de dados. *Outliers* são valores discrepantes comparados aos demais valores do estudo, aqueles suspeitos de serem resultados de alguma falha, anormalidade ou avaria na aplicação do teste aplicado.

A presença de *outliers* afeta as conclusões tiradas a partir do exame estatístico, são afetados os valores médios, as medidas de dispersão e as correlações com outras variáveis de interesse.

Dos inúmeros métodos de teste de *outliers* existentes, será empregado no presente trabalho o Teste de Dixon para valores extremos, este teste atenta para a diferença entre os valores máximo e mínimo e seus valores vizinhos. Este teste é usado comumente na detecção de pequenas quantidades de outliers, indicado quando o número de amostras está entre 3 e 25.

Basicamente, para realizar o teste, os dados são ordenados de modo crescente. Depois de estabelecido um nível de confiança e obtido o valor de tabela do número de amostras é feita uma comparação com os valores obtidos da razão entre as vizinhanças dos dados da amostra e sua faixa de variação, se for menor que certo valor crítico, aceita-se a hipótese de não existência de *outliers*. Do contrário, ou seja, se o valor calculado é maior que o valor crítico, se conclui que o valor testado é um *outlier* e pode ser descartado das análises estatísticas.

A fim de detectar a presença de *outlier* nos dados, utiliza-se para validação destes dados o Teste de Dixon para valores extremos. Devido à natureza dos dados,

abaixo estão descritas algumas especificações utilizadas no teste, utilizando um nível de confiança de 95%.

Havendo entre 8 e 12 observações, os valores de Q_i e Q_s são calculados como a equação 08 e 09.

$$Q_i = \frac{Z(2) - Z(1)}{Z(N) - Z(1)} \quad (08)$$

$$Q_s = \frac{Z(N) - Z(N-1)}{Z(N) - Z(1)} \quad (09)$$

Tabela 01 - Valores críticos de Dixon

n	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
3	0,886	0,941	0,988
4	0,679	0,765	0,889
5	0,557	0,642	0,780
6	0,482	0,560	0,698
7	0,434	0,507	0,637
8	0,479	0,554	0,683
9	0,441	0,512	0,635
10	0,409	0,477	0,597
11	0,517	0,576	0,679
12	0,490	0,546	0,642
13	0,467	0,521	0,615
14	0,492	0,546	0,641
15	0,472	0,525	0,616
16	0,454	0,507	0,595
17	0,438	0,490	0,577
18	0,424	0,475	0,561
19	0,412	0,462	0,547

20	0,401	0,450	0,535
21	0,391	0,440	0,524
22	0,382	0,430	0,514
23	0,374	0,421	0,505
24	0,367	0,413	0,497
25	0,360	0,406	0,489

Fonte: Andriotii, 2005.

3.1.6. Valores Característicos

Para definição dos valores característicos das propriedades das madeiras para projeto de estruturas, segundo a ABNT NBR 7190: 1997, tendo em vista a caracterização, a caracterização mínima, definidas na seção 6, os valores característicos das devem ser estimados pela expressão 10:

$$X_{wk} = \left(2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\left(\frac{n}{2} - 1\right)}}{\frac{n}{2} - 1} - X_{\left(\frac{n}{2} - 1\right)} \right) 1,1$$

(10)

Onde os resultados devem ser colocados em ordem crescente $\leq \leq \dots \leq$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos-de-prova for ímpar, não se tomando para X_{wk} valor inferior a X_1 , nem a 0,7 do valor médio (X_m).

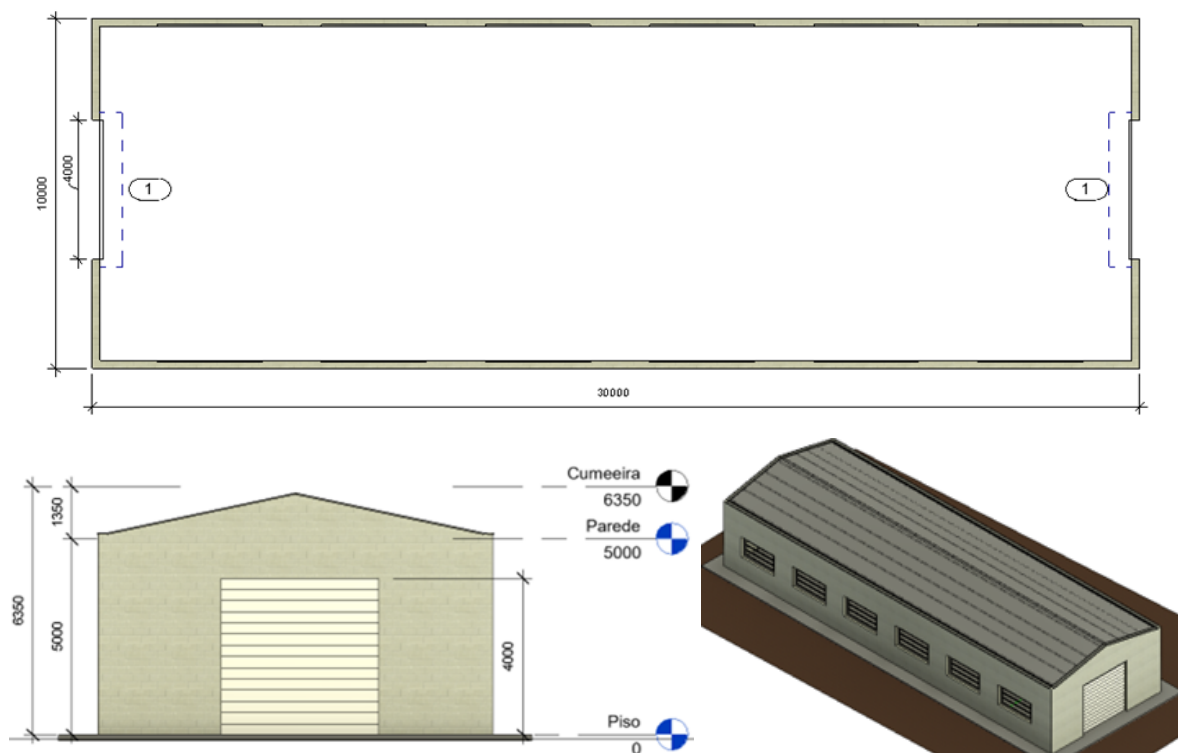
3.2. Aplicação em Modelo Construtivo Estrutural

Os resultados encontrados nos testes experimentais da madeira em estudo, foram aplicados num modelo construtivo de uma estrutura de cobertura em madeira seguindo a regulamentação da ABNT NBR 7190: 1997, 6123:1988, 8681:2003 e 6120:2019..

Para este projeto se propõe a construção de um galpão de formato de base retangular, com estrutura treliçadas de madeira para cobertura, dimensionada à luz

do texto normativo da ABNT NBR 7190:1997-Projeto de Estruturas de Madeira, o qual se baseia no Método dos Estados Limites. O projeto aqui abordado apresentado na Figura 12 é composto de telhas, ripas, caibros, terças, treliças e elementos de contraventamento e representa uma estrutura tipicamente utilizadas em coberturas de construções rurais, industriais, comerciais entre outras.

Figura 12 - Esquema da planta baixa, elevação e perspectiva da edificação



Fonte: Aurtoria Própria, 2022

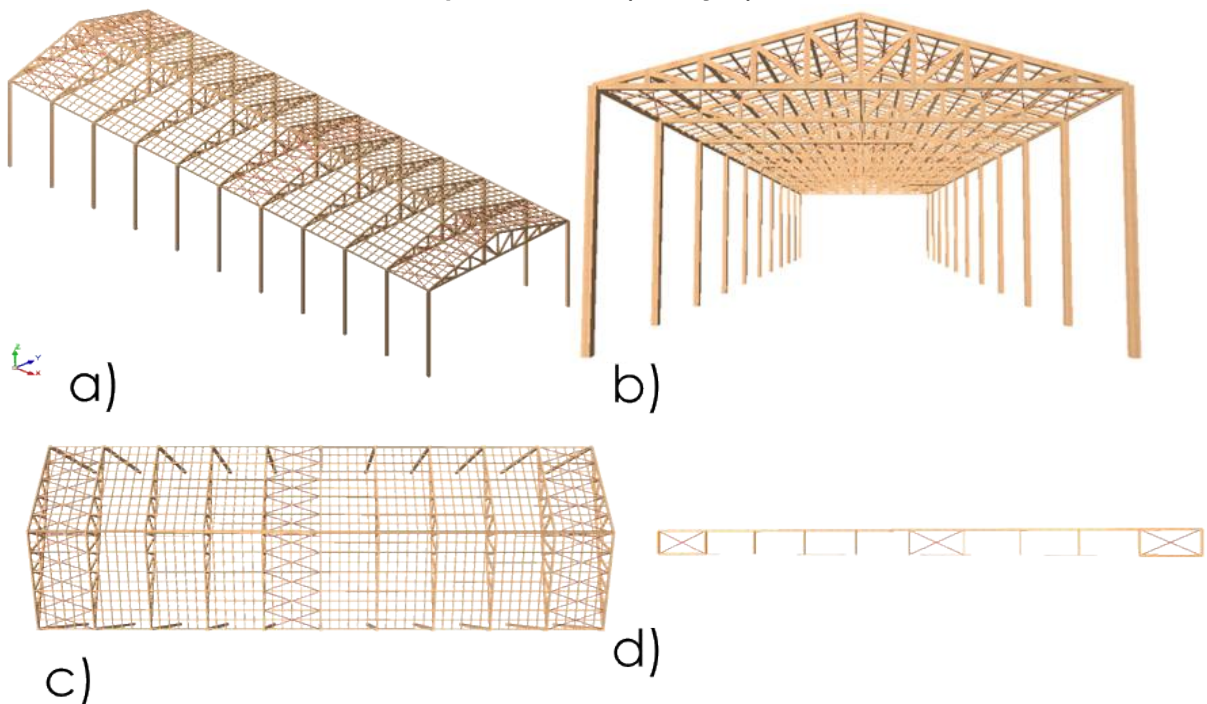
Para o dimensionamento da estrutura treliçada de madeira da cobertura do projeto proposto, foram admitidas as seguintes considerações:

- Estrutura de apoio do telhado: treliça tipo Howe;
- Espaço máximo entre terças: 1,00m;
- Madeira: Açoitá Cavallo (Umidade 12%);
- Telhado: duas águas;
- Dimensões da seção transversal das terças: 6cm x 12 cm;
- Telhas: fibrocimento tipo colonial (Fabricante – Brasilit);
- Contraventamento: barras de aço diâmetro 10 mm;
- Dispositivo de ligação: pinos metálicos (parafusos com diâmetro de 10 mm);
- Planta da edificação: 10 metros de largura por 30 metros de comprimento;

- Altura da edificação: 5 metros;
- Abertura laterais: seis janelas por face, medindo 3 metros de comprimento por 1,60 metros de altura cada uma;
- Abertura (frente/fundo): um portão por face medindo 4,0 metros de largura por 4,0 metros de altura;
- Distância longitudinal entre pórticos: 3,00 m
- Categoria de uso: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens
- Fechamentos laterais e frontais conforme Figura 11
- Local da construção: terreno plano localizado na cidade de Guarapuava-Pr

De maneira geral, o procedimento inicial a ser efetuado no dimensionamento de uma treliça de madeira é a determinação de sua geometria. O passo seguinte consiste a distância “entre treliças”, na direção do comprimento da edificação, que pode ser feito a partir do dimensionamento da terça à flexão oblíqua, ou a partir, da imposição de distância por meio de pré-dimensionamento, predefinido, para o qual devem ser verificado as condições de segurança e deformação da terça. Um esquema desse lançamento e do sistema estrutural pode ser visto na Figura 14.

Figura 13 - Estrutura da cobertura - a) Sistema estrutural considerado para o modelo construtivo; b) vista frontal; c) contraventamento no plano do telhado; d) contraventamento no plano vertical (elevação)

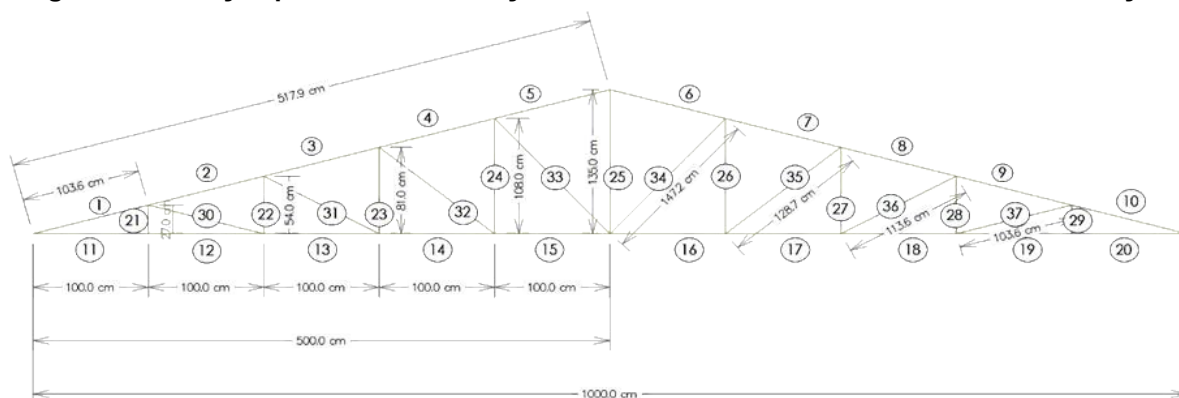


Fonte: Autoria própria,2022

A estrutura treliçada de apoio do telhamento é do tipo “Howe”, Figura 14, bastante usual e destinada à cobertura, e tem como função principal, dar sustentação às telhas, às ripas, caibros, terças, e aos sistemas de contravento. Neste tipo de treliça, devido às ações permanentes da cobertura, as diagonais e os banzos superiores são comprimidos, enquanto os montantes e os banzos inferiores são tracionados. As hipóteses básicas de cálculo para o dimensionamento da treliça são as seguintes:

- as extremidades dos elementos estruturais (banzos, montantes e diagonais) que compõem a treliça são admitidas rotuladas e simplesmente apoiado;
- os elementos estruturais são solicitados apenas por esforços axiais (tração e compressão).

Figura 14 - Treliça tipo Howe - numeração dos elementos de barra e dimensões da treliça



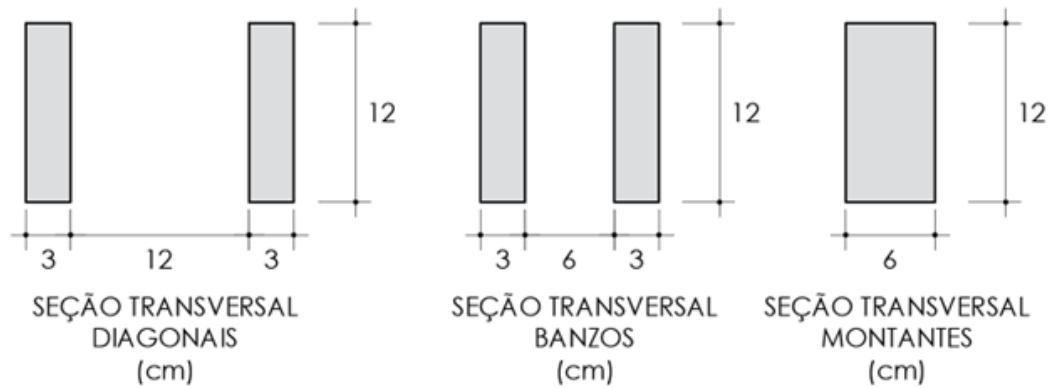
Fonte: Autoria própria, 2022

Os dados gerais da treliça adotados são:

- Inclinação do banzo superior da treliça em relação à horizontal: 15 graus;
- Vão teórico: 10 m
- Dimensões da seção transversal dos banzos superior e inferior: 2 peças de 3 cm x 12 cm;
- Dimensões das diagonais: 2 peças de 3 cm x 12 cm;
- Dimensões da seção transversal dos montantes: 1 peça de 6 cm x 12 cm;

As dimensões iniciais das seções transversais das peças que compõem as treliças são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Seção transversal das barras da treliça da cobertura



Fonte: Autoria própria, 2022

3.2.1. Análise estrutural da cobertura

Para análise estrutural foi usado um programa computacional para modelar a estrutura, fornecendo como dados a sua geometria, carregamentos, seções pré-dimensionadas e condições de apoio, com o intuito de obter esforços e deslocamentos para verificar a conformidade das seções propostas dos elementos.

A ABNT NBR 7190:1997 requer que a estrutura seja avaliada quanto à sua deslocabilidade e esforços solicitantes, usando métodos analíticos adequados, ou com auxílio de programas que realizam estas análises. Para facilitar a reprodução dos resultados será utilizado um programa de uso livre, o programa Ftool, que é capaz de resolver análises lineares, além de permitir modelagens em duas dimensões.

3.2.2. Combinações para Estados Limites

A obtenção dos esforços solicitantes em uma estrutura de madeira, decorrem do uso previsto para a edificação, assim como suas combinações últimas normais. Segundo a NBR 7190, para isto, usa-se a seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_G F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right]$$

Onde:

$F_{Q1,k}$ Ação permanente

$F_{Qj,k}$ Ação variável principal

γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

γ_q Coeficiente de segurança da ação variável

ψ_{0j} Coeficiente de combinação da ação variável

Ainda, segundo a NBR 7190, para as construções correntes, as verificações da segurança em relação aos estados limites de utilização são feitas admitindo-se apenas os carregamentos usuais, correspondentes às combinações de longa duração, expressas em seu item 5.8.1 e dado por:

$$F_{dutil} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

(12)

Onde:

$F_{Gi,k}$ Ação permanente

$F_{Qj,k}$ Ação variável

ψ_{2j} Coeficiente de combinação da ação variável

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes para os estados limites últimos (ELU) para madeira, segundo a NBR 7190, serão os apresentados na Tabela 02:

Tabela 02 - Coeficiente de ponderação das ações e fator de combinação para ELU

	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_{p0j})	Secundária (ψ_{2j})
Permanente (G)	1	1,3	-	-
Sobrecarga (Q)	0	1,4	1	0,8
Vento (W)	0	1,4	0,75	0,5

Fonte: Autoria própria, 2022

Para o cálculo dos esforços internos de projeto nos elementos da treliça foram calculados de acordo com os coeficientes da Tabela 02 e segundo a equação 11, ou seja, conforme as combinações normais últimas e utilização. De acordo com os carregamentos, têm-se as seguintes condições apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03 - Combinações para cálculo dos esforços internos

Combinações Últimas adotadas Treliza						
Abreviação	Ação					
G	Permanente	C1	1,4 G	C4	1,4 G + 1,4 (0,75 W3)] + 1,4 (0,4 W3)	
Q	Sobrecarga	C2	1,4 G + 1,4 Q	C5	1,4 G + 1,4 Q + 1,4 [0,5 (0,75 W2)]	(sotavento)
W1	Sucção	C3	1,4 G + 1,4 (0,75 W3)		0,9 G + 1,4 (0,75 W2)	(barlavento)
W2	Sucção e sobrepressão	C4	1,4 G + 1,4 Q + 1,4 [0,5 (0,75 W3)]	C6	0,9 G + 1,4 (0,75 W1)	
W3	Sobrepressão					
Combinações Últimas adotadas Treliza						
Abreviação	Ação					
G	Permanente			C1	1,4 G	
Q	Sobrecarga			C2	1,4 G + 1,4 Q	
W1	Sucção			C3	1,4 G + 1,4 Q + 1,4 [0,5 (0,75 W1)]	

Fonte: Autoria própria, 2022

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultados dos Ensaio Experimentais

4.1.1. Resultados para determinação de Umidade

Após mais 3 medições seguintes com todas atendendo a variação inferior a 0,5%, atendendo assim a condição estabelecida pela norma para determinação de massa seca. Os resultados de tais medições e seus percentuais de redução foram calculados considerando sempre a medida anterior e a atual, utilizando a equação 02.

Tabela 04 - Peso e porcentagem de redução dos corpos de prova nas primeiras 3 medidas

Corpo de Prova	mi	Medida 01	% de redução	Medida 02	% de redução	Medida 03	% de redução
01	22,1401	15,1280	-31,67%	14,9947	-0,88%	15,0723	0,52%
02	25,2365	16,9481	-32,84%	16,4629	-2,86%	16,5414	0,48%
03	19,5639	12,0655	-38,33%	11,9853	-0,66%	12,0336	0,40%
04	20,0259	12,3752	-38,20%	12,2959	-0,64%	12,3427	0,38%
05	25,0848	16,2245	-35,32%	15,9288	-1,82%	15,9909	0,39%
06	24,5470	16,0048	-34,80%	15,6899	-1,97%	15,7512	0,39%
07	18,5374	11,6898	-36,94%	11,6148	-0,64%	11,6738	0,51%
08	23,8928	15,3698	-35,67%	15,0361	-2,17%	15,1088	0,48%
09	22,9405	14,7072	-35,89%	14,4902	-1,48%	14,5570	0,46%
10	18,6316	11,4177	-38,72%	11,3444	-0,64%	11,3950	0,45%
11	21,7187	14,0831	-35,16%	13,8327	-1,78%	13,8915	0,43%
12	23,5893	15,1078	-35,95%	14,8416	-1,76%	14,8976	0,38%

Fonte: Autoria própria, 2022

Tabela 05 - Peso e porcentagem de redução dos corpos de prova nas últimas 3 medidas

Corpo de Prova	Medida 04	% de redução	Medida 05	% de redução	Medida 06	% de redução
01	15,0490	-0,15%	14,9908	-0,39%	14,9824	-0,06%

02	16,5112	-0,18%	16,4551	-0,34%	16,4407	-0,09%
03	12,0149	-0,16%	11,9743	-0,34%	11,9615	-0,11%
04	12,3184	-0,20%	12,2809	-0,30%	12,2663	-0,12%
05	15,9700	-0,13%	15,926	-0,28%	15,9080	-0,11%
06	15,7322	-0,12%	15,6868	-0,29%	15,6722	-0,09%
07	11,6515	-0,19%	11,612	-0,34%	11,5976	-0,12%
08	15,0825	-0,17%	15,0345	-0,32%	15,0157	-0,13%
09	14,5294	-0,19%	14,4859	-0,30%	14,4678	-0,12%
10	11,3717	-0,20%	11,337	-0,31%	11,3203	-0,15%
11	13,8668	-0,18%	13,8241	-0,31%	13,8022	-0,16%
12	14,8757	-0,15%	14,8274	-0,32%	14,8070	-0,14%

Fonte: Autoria própria, 2022

A partir dos valores encontrados na última aferição de massa são determinadas as porcentagens de umidade para cada corpo de prova, conforme representado na tabela 05. A partir destes é feita uma média para se obter a umidade média do lote, também expressa na tabela 06. O valor encontrado para umidade do lote foi de 58,43%.

A partir deste resultado de todo o acompanhamento da secagem da madeira foi possível determinar o ponto em que a madeira exibe umidade 12%, sendo é recomendada para utilização nos demais ensaios de tração e compressão, devido a determinação da densidade aparente em corpos de prova se dar teor de umidade de 12%.

Comparando com os resultados encontrados por Oliveira *et.a.* (2005) para algumas espécies de eucalipto, onde a *E. citriodora* resultou em 62,6%, a *E. Tereticornis* em 76,5%, a *E. paniculata* em 62,0%, a *E. pilularis* em 86,3%, a *E. cloeziana* em 63,9%. Podendo assim observar um teor de umidade mais baixa que as comparadas da Açoitá Cavallo.

Tabela 06 - Resultados de umidade aparente dos corpos de prova

Corpo de Prova	mi(g)	ms(g)	U%(g/g)
01	22,140	14,9824	47,77%

02	25,237	16,4407	53,50%
03	19,564	11,9615	63,56%
04	20,0259	12,2663	63,26%
05	25,085	15,9080	57,69%
06	24,547	15,6722	56,63%
07	18,537	11,5976	59,84%
08	23,893	15,0157	59,12%
09	22,941	14,4678	58,56%
10	18,632	11,3203	64,59%
11	21,719	13,8022	57,36%
12	23,590	14,8070	59,31%
U% média do lote			58,43%
Desv. Pad,			4,6%
Coef. Var. (%)			7,9%

Fonte: Autoria própria, 2022

4.1.2. Resultados para determinação de Densidade

A densidade básica média do lote, que é uma massa específica convencional, foi definida a partir das médias dos resultados de densidade básica de cada um dos corpos de prova, esta por sua vez calculada a partir da equação 03. Como valor médio de densidade básica do lote obteve-se 0,579 g/cm³.

Tabela 07 - Resultados de densidade básica dos corpos de prova

Corpo de Prova	Espessura média (cm)	Largura média (cm)	Comprimento médio (cm)	Volume saturado (cm ³)	ms (g)	ρ _{bas} (g/cm ³)
1	1,71	2,77	4,93	23,35	14,982	0,642
2	1,72	2,85	4,93	24,05	16,441	0,684
3	1,77	2,80	4,97	24,56	11,962	0,487
4	1,78	2,81	4,97	24,89	12,266	0,493
5	1,76	2,82	4,91	24,27	15,908	0,656

6	1,68	2,80	4,93	23,14	15,672	0,677
7	1,74	2,78	4,94	23,91	11,598	0,485
8	1,68	2,82	4,94	23,39	15,016	0,642
9	1,73	2,79	4,91	23,62	14,468	0,612
10	1,75	2,85	4,92	24,49	11,320	0,462
11	1,82	2,82	4,91	25,16	13,802	0,549
12	1,87	2,85	4,95	26,39	14,807	0,561
pbas média do lote						0,579
Desv. Padrão						0,083
Cief. Var. (%)						14%

Fonte: Autoria própria, 2022

A partir do volume e massa mensurados com os corpos de prova com teor de umidade de 12%, conforme indicado para esta determinação pela NBR 7190:1997, através da equação 04 foram calculadas as densidades específicas para cada corpo de prova e através da média obteve-se 0,649 g/cm³ .

Tabela 08 - Resultados de densidade aparente dos corpos de prova

Corpo de Prova	Espessura média (cm)	Largura média (cm)	Comprimento médio (cm)	V12 (cm ³)	m12 (g)	ρ ap (g/cm ³)
1	1,63	2,66	4,89	21,194	14,995	0,708
2	1,64	2,69	4,90	21,62	16,463	0,762
3	1,64	2,744	4,92	22,08	11,985	0,543
4	1,68	2,68	4,93	22,24	12,296	0,553
5	1,63	2,68	4,89	21,45	15,929	0,743
6	1,60	2,68	4,92	21,09	15,690	0,744
7	1,63	2,70	4,92	21,62	11,615	0,537
8	1,58	2,68	4,92	20,82	15,036	0,722
9	1,60	2,65	4,89	20,76	14,490	0,698
10	1,63	2,73	4,87	21,68	11,344	0,523
11	1,66	2,72	4,89	22,14	13,833	0,625
12	1,71	2,78	4,93	23,46	14,842	0,633

	pap média do lote	0,649
	Desv. Pad.	0,091
	Coef. Var. (%)	14%

Fonte: Aatoria própria, 2022

4.1.3. Resultados para compressão paralela às fibras

Os resultados encontrados de área de seção transversal inicial e força máxima para cada corpo de prova no ensaio estão elucidados na tabela 09, com os quais foram calculadas as tensões máximas. O gráfico demonstrando o comportamento dos materiais à força de compressão está representado no figura 16.

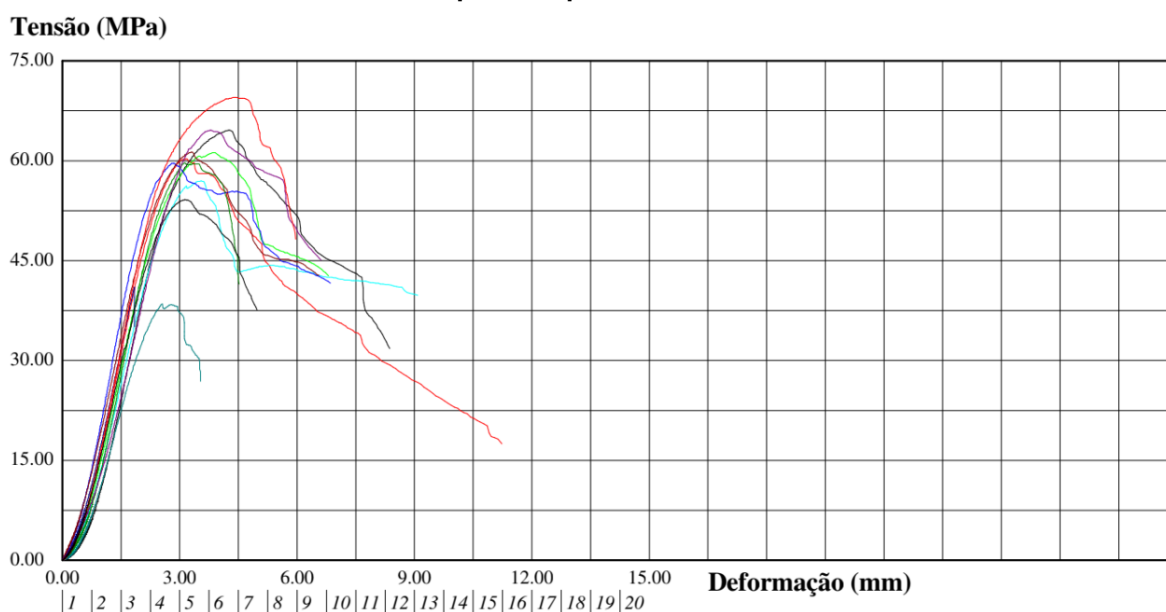
Tabela 09 - Resultados de Força e Tensão Máxima nos corpos de prova sujeitos a compressão paralela às fibras

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm ²)	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação com Força Máxima (mm)	Ec (MPa)
1	47	46,5	2.185,50	131.989,00	60,4	3	2.981,46
2	46,5	45	2.092,50	135.212,00	64,6	4	2.579,96
3	46,3	46,9	2.171,50	133.070,00	61,3	4	2.355,08
4	46	46,2	2.125,20	121.185,00	57	4	2.555,74
5	47,2	47	2.218,40	132.436,00	59,7	3	3.199,26
6	47,3	47	2.223,10	136.387,00	61,4	3	2.730,75
7	47	47	2.209,00	132.093,00	59,8	3	2.910,07
8	47	46,2	2.171,40	140.391,00	64,7	4	2.252,46
9	47	46	2.162,00	83.334,00	38,5	3	1.972,56
10	47	46,7	2.194,90	90.072,00	41	2	2.196,59
11	47	45,5	2.138,50	148.637,00	69,5	4	2.340,29

12	46,5	46,3	2.153,00	116.724,0 0	54,2	3	2.565,74
fcmo (MPa)					57,7	Ecmo	2.553,30
Desv. Pad					9,2	Desv. Pad.	356,7
Coef. Var. (%)					16%	Coef. Var. (%)	14%
fcko					44,4		
fcko/fcmo					0,77		

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 16 - Comportamento de deformação e tensão dos corpos de prova sujeitos a compressão paralela às fibras



Fonte: Autoria própria, 2022

Utilizando-se para validação destes dados o Teste de Dixon obtém-se o $Q_{tab}_{95\%} = 0,546$ para $n=12$. E da equação 07 e equação 08, obtém-se para as amostras, $Q_i = 0,096$ e $Q_s = 0,171$, respectivamente. Dessa forma, através do comparativo do Teste Dixon, pode-se concluir que tanto o menor, quanto o maior valor da amostra pertencem à mesma distribuição normal, não podendo ser rejeitados, já que $Q_i < Q_{tab}$ e $Q_s < Q_{tab}$.

Seguindo o processo de análise realizado, pode-se adotar como valor de compressão paralela às fibras a média anteriormente calculada, que resulta num valor de f_{co} de 57,68 MPa. Com os dados dos ensaios de compressão simples, também é possível caracterizar a rigidez da madeira, com o valor médio do módulo

de elasticidade na compressão paralela às fibras igual a $E_{com} = 2.553,3$ MPa. Para este valor de resistência e rigidez da madeira, o coeficiente de variação encontrado foi de 16% e 14%, respectivamente, ambos dentro do admitido pela NBR 7190:1997 que é de 18%. Para a espécie de madeira do estudo, com os resultados dos ensaios experimentais na compressão, determinou-se uma relação das resistências à compressão característico e médio de $f_{cko}/f_{cmo}=0,77$.

4.1.4. Resultados para tração paralela às fibras

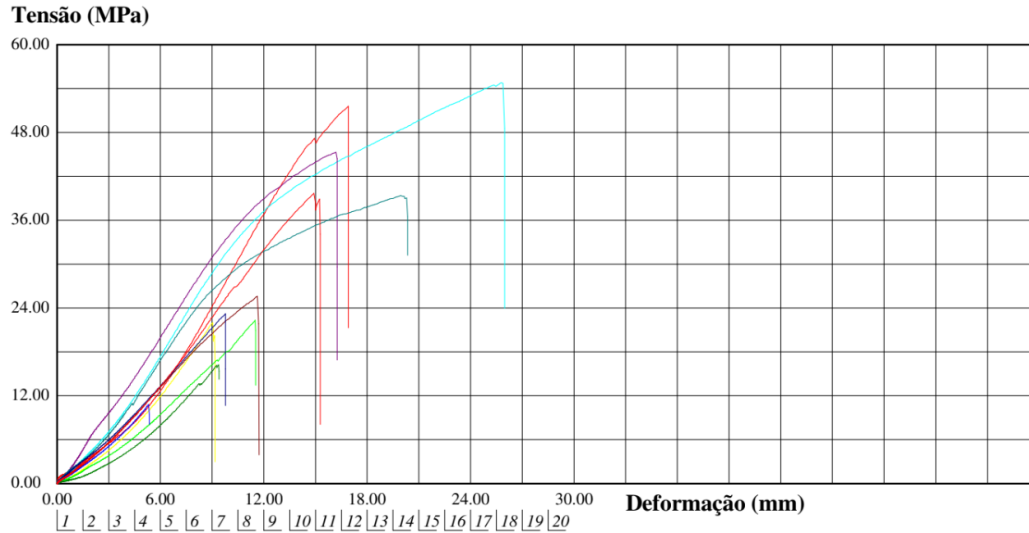
Para a realização do ensaio de tração paralela às fibras foram preparados 12 corpos de prova, mas na realização do teste um dos corpos de prova devido a ter empenado muito na secagem não pode ser fixado a máquina de testes. Assim sendo, apenas foram realizados ensaios em 11 dos corpos de prova, que tem seus resultados expressos na tabela 10 e no figura 17.

Tabela 10 - Resultados de Força e Tensão Máxima nos corpos de prova sujeitos à tração paralela às fibras

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Comprimento da base (mm)	Área (mm ²)	Força Máxima (KN)	Tração Máxima (MPa)	Tração de Ruptura (MPa)	Deformação com Força Máxima (mm)
1	46	18	447	828	42,8	51,7	51,4	16,8
2	46,3	18,4	447	851,92	18,8	22,1	20,1	9,1
3	47,1	18,4	447	866,64	19,4	22,4	22,2	11,5
4	44,5	18,3	447	814,35	44,6	54,8	54,8	25,8
5	45,3	16,6	447	751,98	8,1	10,8	10,7	5,3
6	45,6	17,7	447	807,12	20,7	25,7	25,5	11,6
7	45,4	18,5	447	839,9	13,7	16,3	16,1	9,4
8	43,6	18	447	784,8	35,6	45,4	45,3	16,2
9	44	19	447	836	33	39,5	39	20,2
10	44	19	447	836	19,5	23,3	23,3	9,8
11	46,5	18	447	837	33,2	39,7	38,6	15,2
ftmo (MPa)						32		
Desv. Pad						14,8		
Coef. Var. (%)						46%		
ftko						22,4		
ftko/ftmo						0,7		

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 17 - Comportamento de deformação e tensão dos corpos de prova sujeitos à tração paralela às fibras



Fonte: Autoria própria, 2022

A fim de detectar a presença de *outlier* nos dados, utiliza-se para validação destes dados o Teste de Dixon para valores extremos, assim como aplicado para os dados de compressão.

De forma similar ao processo de verificação aplicado nos dados de resistência à compressão, através da figura 12, obtém-se o $Q_{tab}_{95\%} = 0,576$ para $n=11$. Com a equação 07 e equação 08, obtém-se para as amostras, $Q_i = 0,135$ e $Q_s = 0,080$, respectivamente. Com o comparativo do Teste Dixon, pode-se concluir que tanto o menor, quanto o maior valor da amostra pertencem à mesma distribuição normal, não podendo ser rejeitados, já que $Q_i < Q_{tab}$ e $Q_s < Q_{tab}$.

Por fim, pode-se adotar como valor de tração paralela às fibras a média anteriormente calculada, resultando em f_{to} de 32,0 MPa. Na comparação dos resultados pelo coeficiente de variação, o valor encontrado foi de 46 %, esse valor indica que a eficiência das operações do ensaio não atingiu o melhor nível de homogeneidade dos resultados na tração, apresentando uma maior dispersão dos dados, ficando fora do admitido pela NBR 7190:1997 que é de 18%. Para a espécie de madeira do estudo, com os resultados dos ensaios experimentais a tração, determinou-se uma relação das resistências à tração característico e médio de $f_{tko}/f_{tmo}=0,7$.

4.2. Propriedades encontradas e comparação madeiras da norma

A partir dos resultados finais obtidos nos testes da espécie de madeira Açoitá Cavalo representados na tabela 11 é possível comparar seus resultados com as madeiras referenciadas na norma.

Tabela 11 - Resultados Finais de Propriedades da madeira Açoitá Cavalo

Nome Comum	Nome científico	ρ_{ap} (12%) (kg/m ³)	fc0 (MPa)	ft0 (MPa)	Ec0 (MPa)	n
Açoitá Cavalo	<i>Luehea Divaricata</i>	649,1	57,6	31,95	2299,4	12

Fonte: Autoria própria, 2022

Inicialmente quanto a densidade aparente os resultados se aproximam dos valores médios apresentados conforme podem ser observados no ANEXO A. Tendo uma densidade aparente maior que todas as espécies de coníferas nativas e de florestamento representadas na tabela E.3 da ABNT NBR 7190: 1997 e superior a apenas uma das espécies da tabela E.2 de dicotiledôneas e a 3 de 26 espécies dicotiledôneas da tabela E.1. Podendo assim ser considerada uma madeira leve.

Analisando agora a resistência à compressão em comparação com as demais espécies. A resistência encontrada é superior a todas as 7 espécies de madeiras coníferas representadas na tabela E.3 da norma, já comparando com as espécies de dicotiledôneas com resistência superior que 6 das 17 espécies da tabela E.2 e 16 das 26 espécies da tabela E.1 da norma. Exibindo resistência à compressão paralela às fibras atendendo aos parâmetros de comparação, tendo inclusive resistência superior que espécies mais pesadas e se enquadrando na classe C40 de resistência das dicotiledôneas para uso em projetos estruturas conforme definido pela ABNT NBR 7190: 1997.

Por fim, ao se analisar a resistência à tração foram baixos, sendo inferior a todas as espécies catalogadas na norma. Devido ao elemento solicitado na compressão seguiu-se para a etapa de simular a fim de verificar a sua possível aplicação.

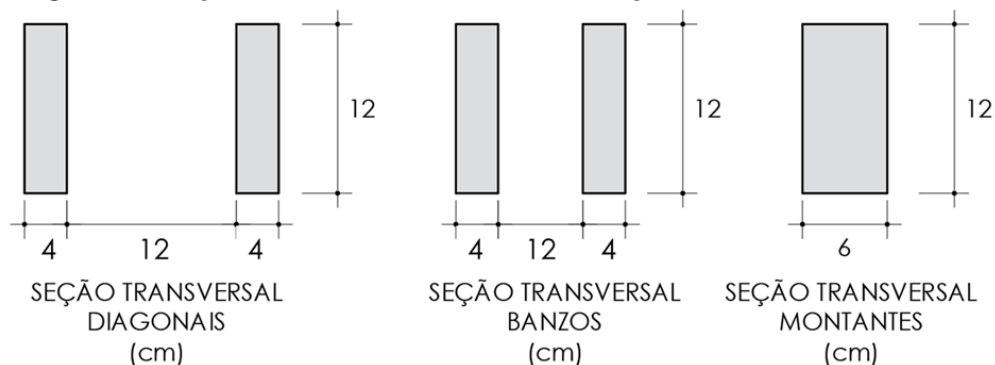
4.3. Aplicação no modelo construtivo da madeira estudada

A partir do modelo desenvolvido anteriormente para a madeira Itaúba, com os valores encontrados das propriedades da madeira Açoitá Cavalão o modelo construtivo passou a ser estudado, de forma a verificar se seria possível utilizar tal madeira para esta mesma construção.

Os passos para o dimensionamento da estrutura é ser carregamento com as ações permanentes e variáveis, e os esforços gerados nos elementos estruturais (banzos, diagonais e montantes); em função dessas ações, devem ser combinados de modo o dimensionamento de cada elemento estrutural, inclusive o que compõem os sistemas de contraventamento, seja feito para a condição de esforço combinado atuante em cada caso. Determina-se então o número de parafusos em cada um dos nós da treliça, faz-se o detalhamento dos elementos estruturais e ligações, a quantificação do peso final da estrutura e, finalmente, a apresentação da lista de materiais. Todos esses passos podem ser encontrados no ANEXO B.

De forma geral, analisando o resultado do dimensionamento estrutural, para a resistência à compressão, a seção transversal não precisou ser alterada, atendendo a todas as verificações de solicitações. Porém ao se aplicar as solicitações de tração, devido à baixa resistência apresentada à tração, o modelo inicial não foi capaz de atender às solicitações exigidas pelo banzo inferior e pelo montante. Além disso, os esforços nas ligações para o parafuso adotado, foram uns dos fatores determinantes do dimensionamento, havendo necessidade de ajuste nas dimensões de algumas seções transversais da treliça da cobertura. De uma reanálise da treliça, a largura dos banzos inferior e superior resultou em uma dimensão de 4 cm, que foi possível atender a todas as tensões solicitantes na tração e nas ligações. Logo, após verificações, as seções transversais resultantes são apresentadas na figura .

Figura 18 - Seção transversal das barras da treliça da cobertura resultantes



Fonte: Autoria própria, 2022

Com as seções transversais resultantes do dimensionamento, a quantificação do peso final da estrutura e a apresentação da lista de materiais é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensionamento inicial do modelo construtivo

Material		Série	Perfil	Perfil			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil	Série	Material	Perfil	Série	Material	Perfil	Série	Material
				(m)	(m)	(m)	(m)	(m³)	(m³)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Aço laminado	A-36 250Mpa (Tirantes)	R	φ 0,1	234,16	234,16	234,17	0,019	0,019	0,019	130,98	130,98	130,98
Madeira	Serra da Açoiã Cavalão (Luehea Divariata), categoria II	h160 (Pilar)	S-16 x16	110	110	2.163,34	2,816	2,816	10,186	1.827,87	1.827,87	6.611,98
		h120 (Treliça, Terça)	S-12 x8	332,42	772,67		3,19	10,186		2.071,44	3.273,70	
			S-12 x6	74,25			0,535			347,01		
			S-12 x3	366			1,318			855,2		
		Ripa	S-12 x6	699,79	699,79		0,875	0,875		567,79	567,79	
		Caibros	S-12 x3	580,87	580,87		1,452	1,452		942,61	942,61	

Fonte: Autoria própria, 2022

Com os dados da Tabela 11, é conveniente fazer a relação entre consumo de madeira (m^3) em relação à área coberta pela estrutura (m^2) para se ter um índice. Assim sendo:

Consumo de madeira (C) – 10,186 m^3

Área da cobertura (A) – 300 m^2

Resolvendo esta relação:

$$\frac{C}{A} = \frac{10,186}{300} = 0,034m^3/m^2$$

Segundo Calil Jr; Molina, (2010), para as estruturas executadas sem projeto estrutural, esta relação é em torno de 0,021 m^3/m^2 . Com base nestes valores, pode se verificar um aumento no volume da madeira de aproximadamente 61,7%.

Moliterno (2010) também apresenta para um telhado similar ao adotado com projeto, índice de 0,035 m^3/m^2 . Logo é possível avaliar e comparar que a quantidade e o volume de madeira têm uma redução de 2,99%, ou seja, muito próximo a projetos executados e apropriado.

Este índice torna-se uma boa ferramenta para nos fornece orçamentos e quantidade de volume de madeira do telhado.

4.4 Comparação com a tração calculada e cálculo da indicado pela norma

A ABNT NBR 7190: 1997 estabelece que na falta da determinação experimental é permitido adotar a relação exibida na equação 08 para valores característicos das resistências.

$$0,77 = \frac{f_{co}}{f_{to}}$$

(06)

Aplicando tal relação no resultado encontrado para f_{to} seria de 74,81 MPa, valor equivalente a 234,13% do valor encontrado experimentalmente de 31,95 MPa. O que exhibe significativa discrepância da estimativa estabelecida pela norma para dimensionamentos de estruturas em madeira brasileira.

4.5 Análise de viabilidade financeira

A partir do consumo de madeira de 10,186 m³ realizou-se a estimativa de custos deste galpão para a Açoitá Cavalo. Considerando o valor de custo encontrado no mercado da região de Guarapuava no período de julho de 2022 o valor médio do metro cúbico é R\$5300,00.

Realizando a aplicação no modelo estrutural conforme dimensionado inicial com a madeira Angelim, o valor total de construção R\$64.278,33. Ao se aplicar o dimensionamento proposto para a Açoitá o orçamento financeiro resultou num valor de R\$55.239,17. Assim representando uma redução de 14,06% em comparação com o modelo inicial. Na tabela 13 os valores finais orçados são descritos e no ANEXO C o detalhamento orçamentário está pontuado.

Tabela 13 - Orçamentos construtivos da Açoitá Cavalo e do Angelim

Estrutura em Angelim - bruta							
	Quantidade	Unidade	Custo Unit.	Mat.	M.O.	Unitário Adotado	Custo Final
Fabricação e Instalação de tesoura inteira em madeira não aparelhada, vão de 10 metros, para telha cerâmica ou concreto, incluso içamento	11,00	Unid	R\$3.033,03	R\$2.265,95	767,08	SINAPI - 99059	R\$33.363,33
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha cerâmica capa-calas, incluso transporte vertical	300	m ²	R\$103,05	R\$85,76	17,29	SINAPI - 99059	R\$30.915,00
Total geral sem Impostos e BDI do Angelim						R\$ 64.278,33	
Estrutura em Angelim - Açoitá Cavalo							
Fabricação e Instalação de tesoura inteira em madeira não aparelhada, vão de 10 metros, para telha cerâmica ou concreto, incluso içamento	11,00	Unid	R\$2.391,32	R\$1.786,54	604,79	SINAPI - 99059	R\$26.304,57
Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha cerâmica capa-calas, incluso transporte vertical	300	m ²	R\$96,45	R\$80,27	16,18	SINAPI - 99059	R\$28.934,60
Total geral sem Impostos e BDI do Angelim						R\$ 55.239,17	
Redução						14,06%	

Fonte: Autoria própria, 2022

5. CONCLUSÕES

A madeira estudada demonstra ser relativamente leve e conta com alta resistência à compressão. Seus resultados para tração foram inferiores aos parâmetros mínimos apresentados na norma. Porém ainda é possível aplicá-la em modelos construtivos mediante adaptações como a alteração das dimensões da peça. A utilização da da Açoitá Cavalo pode se mostrar mais viável em comparação com outras espécies devido a sua ocorrência em diversos pontos do Brasil.

O modelo construtivo previamente desenvolvido pode ser aplicado à espécie, mas para isso foi necessário aumentar a largura e alturas das seções submetidas à tração. Como boa parte das madeiras seguem modelos padrão para fabricação de peças, a execução desta construção pode ser impossibilitada ou tornar-se dificultada em decorrência das adaptações construtivas solicitadas caracteristicamente pela espécie.

Com o uso da madeira Açoitá Cavalo em projeto de cobertura treliçada, foi possível obter um índice de consumo $0,034 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Um valor muito próximo a projetos similares, o que indica uma boa aplicabilidade para finalidade estrutural.

No quesito financeiro a madeira exibiu um índice de redução de 14,06% em comparação com a proposta inicial do dimensionamento, se mostrando viável financeiramente.

REFERÊNCIAS

- ABRUZZI, R. C.; et al. **Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração**. Revista Árvore [online]. 2012, v. 36, n. 6, pp. 1173-1182, 2013.
- ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Técnicas estatísticas aplicáveis a tratamento de informações oriundas de procedimentos laboratoriais**. Porto Alegre: CPRM, 2005.
- ASDRUBALI, F.; et. al. **A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications**. Building and Environment, Volume 114, 2017.
- BRISCHKE, C.; THELANDERSSON. **Modelling the Outdoor Performance of Wood Products – A Review on Existing Approaches**. Construction & Building Materials, Volume 66, 2014.
- CARVALHO, P. E. R. **Açoita-Cavalo (*Luehea divaricata*)**. Embrapa Florestas, 2008.
- CALIL JUNIOR.; C.; MOLINA, J.C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010
- DOS SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- DUTRA, D. D. S.; SIQUEIRA, L. O. **Análise da viabilidade econômica entre habitações de alvenaria estrutural e madeira tratada na região vale do aço**. Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdades Integradas de Caratinga, 2017.
- GALVÃO, A. P. M. **Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil**. IPEF, v. 11, p. 53-65, 1975.
- GAVA, M. **Viabilidade técnica e econômica da produção de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira serrada de pinus de terceira classe de qualidade**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2005.
- GONÇALVES, F. G.; et al. **Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis***. Revista Árvore, v. 33, n. 3, pp. 501-509. 2009.
- HUMAR, M.; et.al. **The Performance of Wood Decking after Five Years of Exposure: Verification of the Combined Effect of Wetting Ability and Durability**. Forests, Volume 10, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2020**. PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBF - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Açoitá Cavallo**. 2022.

LAU, D.; *et.al.* **Long term performance and fire safety aspect of FRP composites used in building structures**. Construction and Building Materials, Volume 126, 2016.

LOGSDON, N. B.; *et al.* **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Carlos, 1998.

MARIANO, A. M.; ROCHA, M. **Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora**. Congreso Internacional de la Academia Europea de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM), v. 26, 2017.

MEIRELLES, C. R. M. **The viability of the wood light constructions in Brazil**. Seminário Internacional de LARES, VIII edição, 2008.

MORAES, C., A.; VALLE, M. R. **Análise sobre o ensino de estruturas em madeira nas escolas de Arquitetura e Urbanismo do Brasil**. Cadernos De Arquitetura E Urbanismo, (26), 82–95, 2020.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Revisão de Reyolando M. L. R. da Fonseca Brasil. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; *et. al.* **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. Revista Árvore [online], v. 29, n. 1, 2005.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

RAMAGE, M. H.; *et. al.* **The wood from the trees: The use of timber in construction**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 68, Part 1, 2017.

SALOMÃO, P. E. A.; *et.al.* **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e light steel framing: um estudo de caso em residência uniifamiliar em Teófilo Otoni, MG**. Research, Society and Development, Vol.8 (9), p.e14891268-e14891268, 2019.

SCALIANTE, R. M.; *et al.* **Ensaio de fluência e de compressão paralela às fibras para situações da madeira à umidade de equilíbrio e saturada**. Madeira: arquitetura e engenharia, v. 12, n. 30, p. 19-30, 2012.

SILVEIRA, L. H. C.; *et.al.* **Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas**. Acta Amazonica, v. 43, p. 179-184, 2013.

SANTOS, F. M. R.; SOUSA, R. P. L. **O conhecimento no campo de Engenharia e Gestão do Conhecimento**. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 15, p. 259-281, 2010.

SOUTO, Luciano Gustavo et al. **Técnicas construtivas utilizando madeira e sua evolução histórica**. *IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação*, p. 62-76, 2016.

SUBEKTI, N.; *et.al.* **Potential for Subterranean Termite Attack against Five Bamboo Species in Correlation with Chemical Components**. *Procedia Environmental Sciences*, Volume 28, 2015.

TALVITIE, I.; *et.al.* **Economic feasibility of wood-based structures—Improving urban carbon neutrality strategies**. *IOP Science*, 2021.

ZENID, José Geraldo. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

ANEXO A

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap}^{(12\%)}^{1)}$ kg/m ³	$f_{co}^{(2)}$ MPa	$f_{10}^{(3)}$ MPa	$f_{190}^{(4)}$ MPa	$f_v^{(5)}$ MPa	$E_{co}^{(6)}$ MPa	⁷⁾ n
Angelim araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12 876	15
Angelim ferro	<i>Hymenolobium spp</i>	1 170	79,5	117,8	3,7	11,8	20 827	20
Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12 912	39
Angelim pedra verdadeiro	<i>Dinizia excelsa</i>	1 170	76,7	104,9	4,8	11,3	16 694	12
Branquilha	<i>Terminalia spp</i>	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13 481	10
Cafearana	<i>Andira spp</i>	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14 098	11
Canafistula	<i>Cassia ferruginea</i>	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14 613	12
Casca grossa	<i>Vochysia spp</i>	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16 224	31
Castelo	<i>Gossypiospermum praecox</i>	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11 105	12
Cedro amargo	<i>Cedrella odorata</i>	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9 839	21
Cedro doce	<i>Cedrella spp</i>	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8 058	10
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	1 090	93,2	133,5	2,9	10,7	23 002	12
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13 627	33
Catiúba	<i>Qualea paraensis</i>	1 221	83,8	86,2	3,3	11,1	19 426	13
<i>E. Alba</i>	<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13 409	24
<i>E. Camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13 286	18
<i>E. Citriodora</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18 421	68
<i>E. Cloeziana</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13 963	21
<i>E. Dunnii</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18 029	15
<i>E. Grandis</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12 813	103
<i>E. Maculata</i>	<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18 099	53
<i>E. Maidene</i>	<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14 431	10
<i>E. Microcorys</i>	<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16 782	31
<i>E. Paniculata</i>	<i>Eucalyptus paniculata</i>	1 087	72,7	147,4	4,7	12,4	19 881	29
<i>E. Propinqua</i>	<i>Eucalyptus propinqua</i>	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15 561	63
<i>E. Punctata</i>	<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19 360	70

ABNT NBR 7190: 1997 - Tabela E.1

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap}^{(12\%)}^{1)}$ kg/m ³	$f_{co}^{(2)}$ MPa	$f_{10}^{(3)}$ MPa	$f_{190}^{(4)}$ MPa	$f_v^{(5)}$ MPa	$E_{co}^{(6)}$ MPa	⁷⁾ n
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea var. caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea var. bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea var. hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliotii</i>	<i>Pinus elliotii var. elliotii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

ABNT NBR 7190: 1997 - Tabela E.3

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap}^{1)}$ kg/m ³	$f_{c0}^{2)}$ MPa	$f_{t0}^{3)}$ MPa	$f_{190}^{4)}$ MPa	$f_v^{5)}$ MPa	$E_{c0}^{6)}$ MPa	$n^{7)}$ n
<i>E. Saligna</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14 933	67
<i>E. Tereticornis</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17 198	29
<i>E. Triantha</i>	<i>Eucalyptus triantha</i>	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14 617	08
<i>E. Umbra</i>	<i>Eucalyptus umbra</i>	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14 577	08
<i>E. Urophylla</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13 166	86
Garapa Roraima	<i>Apuleia leiocarpa</i>	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18 359	12
Guaíçara	<i>Luetzelburgia spp</i>	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14 624	11
Guarucaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17 212	13
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1 068	76,0	96,8	3,1	13,1	18 011	22
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	1 074	93,3	157,5	3,2	15,7	23 607	20
Louro preto	<i>Ocotea spp</i>	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14 185	24
Maçaranduba	<i>Manilkara spp</i>	1 143	82,9	138,5	5,4	14,9	22 733	12
Mandioqueira	<i>Qualea spp</i>	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18 971	16
Oiticica amarela	<i>Clarisia racemosa</i>	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14 719	12
Quarubarana	<i>Erismia uncinatum</i>	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9 067	11
Sucupira	<i>Diplotropis spp</i>	1 106	95,2	123,4	3,4	11,8	21 724	12
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19 583	10

ABNT NBR 7190: 1997 - Tabela E.2

ANEXO B

O memorial de cálculo é apresentado a seguir:

PROJETO DE UMA COBERTURA EM MADEIRA COM ESTRUTURA EM TRELIÇA DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIA

Valores de ponderação k_{mod} (Tab. 5 - NBR 7190)

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Valores de ponderação k_{mod} (Tab. 5 - NBR 7190)

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$> 25\%$

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9



Valores de ponderação k_{mod} (Tab. 5 - NBR 7190)

kmod1 = 0,7

Madeira de 1ª categoria	1,0
Madeira de 2ª categoria	0,8

kmod3 = 0,8

Def: $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$

kmod = 0,45

Coefficientes de ponderação da resistência

Para Estados Limites Últimos (ELU):

a) compressão paralela às fibras: $\gamma_m = 1,8$ **1,4**

b) tração paralela às fibras: $\gamma_m = 1,8$ **1,8**

c) o salhamento paralelo às fibras: $\gamma_m = 1,8$ **1,8**

Para Estados Limites de Utilização (ELU):

a) valor básico: **1,0**

(Valores na condição padrão de referência $U = 12\%$)

Valores médios	f_{com} (MPa)	f_{com} (MPa)	f_{com} (MPa)	E_{com} (MPa)	ρ_{ap} (kg/m ³)
	57,7	32	16,1	2553,3	649,1

Valores característicos	f_{ck} (MPa)	f_{ck} (MPa)	f_{ck} (MPa)
	44,429	22,4	8,7

Valores de projeto	$f_{d,0,8} = k_{mod} \cdot \frac{f_{ck,0,8}}{\gamma_m}$	$f_{d,0,8} = k_{mod} \cdot \frac{f_{ck,0,8}}{\gamma_m}$	$E_{d,0,8} = k_{mod} \cdot E_{com}$	$f_{d,0,8} = k_{mod} \cdot \frac{f_{ck,0,8}}{\gamma_m}$
	1,43	0,56	114,4	0,36

COMBINAÇÕES DAS AÇÕES

Combinações de ações em estados limites últimos

Combinações últimas norma: $F_{d,ult} = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right]$

Tab 2 NBR - Fatores de combinação e de utilização

Ações em estruturas correntes	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0

Tab 4 NBR - Ações permanentes de grande variabilidade

Tab 5 NBR - Ações variáveis

TABELA 3.6 - Coeficientes de ponderação γ das ações no estado limite de projeto

Combinações	Para efeitos		Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos da temperatura
	Desfavoráveis	Favoráveis			
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$	Normais	$\gamma_m = 1,4$	$\gamma_m = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$	Especiais ou de construção	$\gamma_m = 1,2$	$\gamma_m = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$	Excepcionais	$\gamma_m = 1,0$	$\gamma_m = 0$

Os valores entre parênteses correspondem a ações permanentes favoráveis à segurança.
 (*) Para projetos de madeira classificada estruturalmente, este valor específico pode ser superior a 10%.

Destacar os valores de combinação e utilização:

$\gamma_g = 1,4$ (Desfavoráveis) / $\gamma_g = 0,9$ (Favoráveis)

$\psi_{0,1} = 0,5$ (W)

$\psi_{0,2} = 0,4$ (Q)

Vento Principal: $\psi_{w,v} = 0,75$ (item 5.5.8 NBR)

Combinações de ações em estados limites de utilização

Combinações de longa duração

$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

$\gamma_f = 1,0$ (item 5.6.3)

$\psi_{1,1} = 0,2$ (W) / $\psi_{1,2} = 0,3$ (Q)

$\psi_{2,1} = 0$ / $\psi_{2,2} = 0,2$ (Q)

VALORES DAS AÇÕES

ÁREAS DE CÁLCULO DA COBERTURA								
Comprimentos		Área inclinada total (PANOS)				Área em projeção horizontal		
L _{beiral-beiral}	A	B	C	Nº de águas	A _{inclinada}	A	C	A _{projeção}
L _{beiral-cumeeira}	B	(m)	(m)		(m ²)	(m)	(m)	(m ²)
L _{cobertura}	C	5,179	30,000	2	310,740	10,000	30,000	300,000

QUANTIDADE DE TELHAS	Peças/m ²	A _{inclinada,total} (m ²)	Peças
Quantidade (valor nominal - valor usado para levantamento de cargas)	2,5	310,740	776,85
Quantidade - acréscimo de 5% (para quantitativo de material)	--	--	855

AÇÃO PERMANENTE - VALOR CARACTERÍSTICO - PESO PRÓPRIO DAS TELHAS			
Peso por peça - informação catálogo do fabricante		6,00	kg
Peso total		4661,10	kg
PP das telhas/m ² (em projeção horizontal)		0,16	kN/m ²

Madeira:	Açoitá Cavalo (<i>Luehea Divaricata</i>) - LAB MATERIAIS - UTFPR-Gp					P _{ap} (12%) =	649,1	kg/m ³
PEÇA	Seção		L (m)	espaçamento (m)	n	Volume (m ³)	Peso total (+ 10%) (kg)	Peso (em proj. horiz.) (kN/m ²)
	b (cm)	h (cm)						
RIPAS	2,5	5,0	30,000	0,53	22	0,825	589,06	0,0196
CAIBROS	5,0	5,0	5,179	0,5	122	1,580	1127,85	0,0376
PP de madeiramento secundário/m ² (em projeção horizontal)						2,405	1716,90	0,06

AÇÃO PERMANENTE - VALOR CARACTERÍSTICO - PESO PRÓPRIO DO MADEIRAMENTO SECUNDÁRIO - TRAMA								
RIPAS	2,5	5,0	30,000	0,53	22	0,825	589,06	0,0196
CAIBROS	5,0	5,0	5,179	0,5	122	1,580	1127,85	0,0376
PP de madeiramento secundário/m ² (em projeção horizontal)						2,405	1716,90	0,06

AÇÃO PERMANENTE - VALOR CARACTERÍSTICO - PESO PRÓPRIO DO MADEIRAMENTO PRINCIPAL								
TERÇAS	6,0	16,0	30,000	1,0	12	3,456	2467,62	0,08

TRELIÇA (Unidade)								
BANZO SUP	4,0	12,0	5,179	--	2	0,050	35,50	--
BANZO INF	4,0	12,0	10,000	--	1	0,048	34,27	--
MONTANTE	6,0	12,0	0,270	--	2	0,004	2,78	--
	6,0	12,0	0,540	--	2	0,008	5,55	--
	6,0	12,0	0,810	--	2	0,012	8,33	--
	6,0	12,0	1,080	--	2	0,016	11,10	--
	6,0	12,0	1,350	--	1	0,010	6,94	--
DIAGONAL	4,0	12,0	1,036	--	2	0,010	7,10	--
	4,0	12,0	1,136	--	2	0,011	7,79	--
	4,0	12,0	1,287	--	2	0,012	8,82	--
	4,0	12,0	1,472	--	2	0,014	10,09	--
Número de treliças						11		--
						0,194	138,272	--
PP de madeiramento principal/m ² (em projeção horizontal)						2,130	1521,00	0,05

AÇÃO PERMANENTE - VALOR CARACTERÍSTICO - PESO PRÓPRIO DA COBERTURA			
PP de madeiramento/m ² + 3% (elementos de ligação) (em projeção horizontal)		0,19	kN/m ²
PP das telhas/m ² (em projeção horizontal)		0,16	kN/m ²
PESO PRÓPRIO DA COBERTURA/m ² (em projeção horizontal)		0,35	kN/m ²

AÇÃO VARIÁVEL - SOBRECARGA EM COBERTURAS			
Coberturas comuns - Sobrecarga característica mínima em projeção horizontal (*)		0,25	kN/m ²

(*) Atende aos valores mínimos de cargas verticais estabelecidos pela NBR 6120:1980 (Tabela 2)

AÇÃO ACIDENTAL - VENTO NA COBERTURA					
Hipóteses		Água Barlavento		Água Sotavento	
Vento 90° - Sucção assimétrica W ₁		-1,17	kN/m ²	-0,74	kN/m ²
Vento 90° - Sucção e Sobrepressão W ₂		-0,18	kN/m ²	0,18	kN/m ²
Vento 0° - Sobrepressão simétrica W ₃		0,42	kN/m ²	0,42	kN/m ²

CP2
CP3

0,01
CP1

7,991

v1
c2
v3

Combinções Últimas adotadas Terça				
Abreviação	Aço			
G	PERMANETE	C1	1,4 G	
Q	SOBRECARGA	C2	1,4 G + 1,4 Q	
W1	SUCÇÃO	C3	1,4 G + 1,4 Q + 1,4 [0,5 (0,75 W1)]	
W2	SOBREPRESSÃO	C4	1,4 G + 1,4 [0,75 W1]] + 1,4 (0,4 Q)	
		C5	0,9 G + 1,4 [0,75 W2]	

Momento Fleto

Direção	Barra	G (kN.c.m)	Q (kN.c.m)	W1 (kN.c.m)	W2 (kN.c.m)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Máx. Neg.	Máx. Pos.	Md (kN.c.m)
x	Terça	41,63	72,75	47,25	-131,62	58,282	160,1	184,94	148,63	-100,73	-	-	184,94	-100,73	184,94
y	Terça	11,25	19,5	-	-	15,75	43,05	-	-	-	-	-	43,05	-	43,05

Força Cortante

Direção	Barra	G (kN)	Q (kN)	W1 (kN)	W2 (kN)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Q Máx.	Qd (kN)
x	Terça	0,6	0,5	0,6	1,8	0,84	1,54	1,855	1,75	2,43	-	-	2,43	2,43
y	Terça	0,2	0,1	-	-	0,28	0,42	-	-	-	-	-	0,42	0,42

Combinções de Serviço Adotadas Treliça

Abreviação	Aço			
G	PERMANETE	C1	G	
Q	SOBRECARGA	C2	G + 0,2 Q	
W1	SUCÇÃO			
W2	SUCÇÃO E SOBREPRESSÃO			
W3	SOBREPRESSÃO			

Posição	Barra	G (mm)	Q (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	C1 (mm)	C2 (mm)	-	Deslocamento útil (mm)	Deslocamento limite [L/200] (mm)
B. Infer.	15-16	-11,32	-5,55	-	-	-	-11,3	-12,43	-	-12,43	-50

Combinções de Serviço Adotadas Terça

G	PERMANETE	C1	G
Q	SOBRECARGA	C2	G + 0,2 Q

Posição	Barra	Gx (mm)	Gy (mm)	Qx (mm)	Qy (mm)	C1x (mm)	C1y (mm)	C2x (mm)	C2y (mm)	Deslocamento útil (mm)	Deslocamento limite [L/200] (mm)
-	Terça	-1,88	-3,61	-5,55	-2,63	-1,88	-3,61	-2,99	-4,136	-2,34 -2,67	-15

CARACTERÍSTICAS DAS PEÇAS ISOLADAS :					MONTANTE	
SEÇÃO 1			45%	L (cm)	135,00	
h (cm)	12	I _x (cm ⁴)	864	W _{1x} (cm ³)	144	
b (cm)	6	I _y (cm ⁴)	216	W _{2y} (cm ³)	72	
A (cm ²)	72	i _x (cm)	3,5	i _y (cm)	2,45	
Eslêz X	CURTA	VERIFICA	Eslêz Y	MEDIANA	VERIFICA	

CARACTERÍSTICAS DAS PEÇAS COMPOSTA :					DIAGONAIS						
DADOS DA SEÇÃO 2			#REF	PEÇA ISOLADA			PEÇA COMPOSTA				
h ₁ (cm)	12	a (cm)	12	I _{1x} (cm ⁴)	576	W _{1x} (cm ³)	96	A (cm ²)	96	I _y (cm ⁴)	6272
b ₁ (cm)	4	L (cm)	147,2	I _{2y} (cm ⁴)	64	W _{2y} (cm ³)	32	I _x (cm ⁴)	1152	a ₁ (esp/onapa)	1,25
n (peças/seção)	2	Solidarização	Espaç.	A ₁ (cm ²)	48			i _x (cm ⁴)	3,46	β ₁	0,032
L ₁ (cm)	73,6	m (n° espaços)	2					a ₁ (cm)	8	I _{y,ef} (cm ⁴)	198,32
L _{1min}	36	L _{1max}	72	m _{min}	1,0	m _{máx}	3,1	W _x (cm ³)	192	i _y (cm)	1,44
Eslêz X	MEDIANA	VERIFICA						ESPAÇADOR		W _y (cm ³)	19,83
Eslêz Y	ESBELTA	VERIFICA						Estabilidade local L ₁		a (cm)	12
								DISPENSAR		h ₁ (cm)	12
										L ₂ (cm)	14
										Total Calços	14

CARACTERÍSTICAS DAS PEÇAS COMPOSTA :					BANZOS						
DADOS DA SEÇÃO 2			70%	PEÇA ISOLADA			PEÇA COMPOSTA				
h ₁ (cm)	12	a (cm)	6	I _{1x} (cm ⁴)	576	W _{1x} (cm ³)	96	A (cm ²)	96	I _y (cm ⁴)	2528
b ₁ (cm)	4	L (cm)	103,6	I _{2y} (cm ⁴)	64	W _{2y} (cm ³)	32	I _x (cm ⁴)	1152	a ₁ (esp/onapa)	1,25
n (peças/seção)	2	Solidarização	Espaç.	A ₁ (cm ²)	48			i _x (cm ⁴)	3,46	β ₁	0,154
L ₁ (cm)	34,5	m (n° espaços)	3					a ₁ (cm)	5	I _{y,ef} (cm ⁴)	389,76
L _{1min}	36	L _{1max}	72	m _{min}	0,4	m _{máx}	1,9	W _x (cm ³)	192	i _y (cm)	2,01
Eslêz X	CURTA	VERIFICA						ESPAÇADOR		W _y (cm ³)	55,68
Eslêz Y	MEDIANA	VERIFICA!						Estabilidade local L ₁		a (cm)	6
								DISPENSAR		h ₁ (cm)	12
										L ₂ (cm)	12
										Total Calços	60

1) verificação da resistência a compressão simples

Barra: MONTANTE

Tensões atuantes :

σ_{Nd}	0,64	kN/cm ²	≤	1,42	kN/cm ²	VERIFICA
---------------	------	--------------------	---	------	--------------------	-----------------

Nó intermediários			Nó intermediários			Nó central Banzo superior		
Referente ao montante (Barra 24 - Nó 8)			Referente ao montante (Barra 24 - Nó 9)			Referente ao banzo superior (Barra 5 e 6 - Nó 4)		
Admitindo-se que o montante será unido ao banzo inferior, tem-se			Admitindo-se que o montante será unido ao banzo superior, tem-se			Admitindo-se que os elementos do banzo superior (Combinação 4)		
$\alpha(^\circ)$	90	°	$\alpha(^\circ)$	75	°	$\alpha(^\circ)$	15	°
α_E	1,95		α_E	1,95		α_E	1,95	
N_d	4,98	kN	N_d	4,98	kN	N_d	32,23	kN
t	2	cm	t	3	cm	t	2	cm
d	0,95	cm	d	0,95	cm	d	0,95	cm
n (nº de seções de corte)	3		n (nº de seções de corte)	2		n (nº de seções de corte)	2	
f_{yk}	24	kN/cm ²	f_{yk}	24	kN/cm ²	f_{yk}	24	kN/cm ²
f_{yd}	21,82	kN/cm ²	f_{yd}	21,82	kN/cm ²	f_{yd}	21,82	kN/cm ²
f_{ed}	1,42	kN/cm ²	f_{ed}	1,42	kN/cm ²	f_{ed}	1,42	kN/cm ²
f_{eod}	0,69	kN/cm ²	f_{eod}	0,69	kN/cm ²	f_{eod}	0,69	kN/cm ²
f_{cad}	0,77	kN/cm ²	f_{cad}	1,23	kN/cm ²	f_{cad}	0,98	kN/cm ²
$\beta = t/d$	2,11	Ø OK!	$\beta = t/d$	3,16	Ø OK!	$\beta = t/d$	2,11	Ø OK!
$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	6,64		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	5,27		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	5,89	
flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM		flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM		flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM	
$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	0,59		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	1,40		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	0,75	
flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$			flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$			flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$		
$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0	
$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	1,76		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	2,80		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	1,50	
$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	2,83	3 Ø	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	1,78	2 Ø	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	21,54	22
disposição dos parafusos :			disposição dos parafusos :			disposição dos parafusos :		
direção paralela à carga :			direção paralela à carga :			direção paralela à carga :		
BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm	BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm	BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm
EP = entre parafusos consec	5,7	cm	EP = entre parafusos consec	5,7	cm	EP = entre parafusos consec	5,7	cm
BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm	BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm	BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm
direção normal à carga :			direção normal à carga :			direção normal à carga :		
BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm	BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm	BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm
EP = entre linhas de parafus	2,9	cm	EP = entre linhas de parafus	2,9	cm	EP = entre linhas de parafus	2,9	cm
Referente ao montante (Barra 32 - Nó 8)			Referente ao montante (Barra 33 - Nó 9)			Referente ao montante (Barra 25 - Nó 11)		
Admitindo-se que a diagonal será unido ao banzo inferior, tem-se			Admitindo-se que a diagonal será unido ao banzo superior, tem-se			Admitindo-se que o montante será unido ao		
$\alpha(^\circ)$	39	°	$\alpha(^\circ)$	54	°	$\alpha(^\circ)$	90	°
α_E	1,95		α_E	1,95		α_E	1,95	
N_d	7,90	kN	N_d	8,68	kN	N_d	13,50	kN
t	2	cm	t	2	cm	t	3	cm
d	0,95	cm	d	0,95	cm	d	0,95	cm
n (nº de seções de corte)	2		n (nº de seções de corte)	2		n (nº de seções de corte)	2	
f_{yk}	24	kN/cm ²	f_{yk}	24	kN/cm ²	f_{yk}	24	kN/cm ²
f_{yd}	21,82	kN/cm ²	f_{yd}	21,82	kN/cm ²	f_{yd}	21,82	kN/cm ²
f_{ed}	1,42	kN/cm ²	f_{ed}	1,42	kN/cm ²	f_{ed}	1,42	kN/cm ²
f_{eod}	0,69	kN/cm ²	f_{eod}	0,69	kN/cm ²	f_{eod}	0,69	kN/cm ²
f_{cad}	0,72	kN/cm ²	f_{cad}	1,07	kN/cm ²	f_{cad}	0,77	kN/cm ²
$\beta = t/d$	2,11	Ø OK!	$\beta = t/d$	2,11	Ø OK!	$\beta = t/d$	3,16	Ø OK!
$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	6,88		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	5,64		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$	7,01	
flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM		flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM		flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM	
$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	0,55		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	0,81		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$	0,79	
flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$			flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$			flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$		
$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	0	
$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	1,09		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	1,63		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$	1,58	
$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	7,22	8 Ø	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	5,34	6 Ø	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$	8,54	9
disposição dos parafusos :			disposição dos parafusos :			disposição dos parafusos :		
direção paralela à carga :			direção paralela à carga :			direção paralela à carga :		
BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm	BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm	BC = bordo carregado(4.d) =	3,8	cm
EP = entre parafusos consec	5,7	cm	EP = entre parafusos consec	5,7	cm	EP = entre parafusos consec	5,7	cm
BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm	BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm	BD = bordo descarregado (1,	1,4	cm
direção normal à carga :			direção normal à carga :			direção normal à carga :		
BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm	BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm	BE = bordo externo (1,5.d) =	1,4	cm
EP = entre linhas de parafus	2,9	cm	EP = entre linhas de parafus	2,9	cm	EP = entre linhas de parafus	2,9	cm

Nó central Banzo Inferior				Emenda Banzo Inferior			
Referente as diagonais (Barra 33 - Nó 10)				Referente as linhas (Barra 13 e 18)			
Admitindo-se que as diagonais serão unidas ao banzo inferior, tem-se				A escolha das barras para efetuar as emendas dos banzos deu-se com base na ordem de grandeza dos esforços.			
47	°	$\alpha(°)$		0	°		
1,95		α_E		1,95			
8,68	kN	Barra 33 - Esforço crítico - compressão	Carregamento (Combinação 4)	48,64	kN	Barra 13 e 18 - Esforço crítico - Tração	Carregamento (Combinação 4)
2	cm	t		2	cm		
0,95	cm	d		0,95	cm		
2		n (nº de seções de corte)		4			
24	kN/cm²	f_{yk}		24	kN/cm²		
21,82	kN/cm²	f_{yd}		21,82	kN/cm²		
1,42	kN/cm²	f_{ed}		1,42	kN/cm²		
0,69	kN/cm²	f_{ed2}		0,69	kN/cm²		
1,42	kN/cm²	f_{ed1}		1,42	kN/cm²		
2,11		$\beta = t/d$		2,11			
6		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$		6			
SEÇÃO TRANSVERSAL BANZOS (cm)			flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SEÇÃO TRANSVERSAL BANZOS (cm)			SIM
1,06		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$		1,08			
0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$	0			
2,13		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$		4,32			
4,08	5	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$		11,25	12		
disposição dos parafusos :				disposição dos parafusos :			
direção paralela à carga				direção paralela à carga			
BC = bordo carregado (4d) =	3,8	cm		BC = bordo carregado (4d) =	3,8	cm	
EP = entre parafusos consecutivos (6d) =	5,7	cm		EP = entre parafusos consecutivos (6d) =	5,7	cm	
BD = bordo descarregado (1,5d) =	1,4	cm		BD = bordo descarregado (1,5d) =	1,4	cm	
direção normal à carga :				direção normal à carga :			
BE = bordo externo (1,5d) =	1,4	cm		BE = bordo externo (1,5d) =	1,4	cm	
EP = entre linhas de parafusos (3d) =	2,9	cm		EP = entre linhas de parafusos (3d) =	2,9	cm	
Referente ao montante (Barra 25 - Nó 11)				Referente ao montante (Barra 25 - Nó 11)			
Admitindo-se que o montante será unido ao banzo superior, tem-se				Admitindo-se que o montante será unido ao banzo superior, tem-se			
90	°	$\alpha(°)$		0	°		
1,95		α_E		1,95			
13,50	kN	Barra 25 - Esforço crítico - tração	Carregamento (Combinação 4)	0,00	kN	Barra 25 - Esforço crítico - tração	Carregamento (Combinação 4)
3	cm	t		3	cm		
0,95	cm	d		0,95	cm		
2		n (nº de seções de corte)		2			
24	kN/cm²	f_{yk}		24	kN/cm²		
21,82	kN/cm²	f_{yd}		21,82	kN/cm²		
1,42	kN/cm²	f_{ed}		1,42	kN/cm²		
0,69	kN/cm²	f_{ed2}		0,69	kN/cm²		
0,77	kN/cm²	f_{ed1}		1,42	kN/cm²		
3,16		$\beta = t/d$		3,16			
7,01		$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$		7,01			
SIM			flexão do pino, $\beta < \beta_{lim}$	SIM			
0,79		$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} f_{ed}$		0,79			
0		$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$	flexão do pino, $\beta > \beta_{lim}$	0			
1,58		$R_{Vd2} = n \cdot R_{Vd1}$		1,58			
8,54	9	$n_{parafusos} = N_d / R_{Vd2}$		0,00	0		
disposição dos parafusos :				disposição dos parafusos :			
direção paralela à carga				direção paralela à carga			
BC = bordo carregado (4d) =	3,8	cm		BC = bordo carregado (4d) =	3,8	cm	
EP = entre parafusos consecutivos (6d) =	5,7	cm		EP = entre parafusos consecutivos (6d) =	5,7	cm	
BD = bordo descarregado (1,5d) =	1,4	cm		BD = bordo descarregado (1,5d) =	1,4	cm	
direção normal à carga :				direção normal à carga :			
BE = bordo externo (1,5d) =	1,4	cm		BE = bordo externo (1,5d) =	1,4	cm	
EP = entre linhas de parafusos (3d) =	2,9	cm		EP = entre linhas de parafusos (3d) =	2,9	cm	

1) verificação da resistência a compressão simples

Barra DIAGONAL

Tensões atuantes :

σ_{Nd}	0,10	kN/cm ²	≤	1,42	kN/cm ²	VERIFICA
---------------	------	--------------------	---	------	--------------------	----------

2) Verificação da fleccocompressão (Peça Esbelta)

(*como trata-se de compressão simples com flambagem

(sem flexão), basta verificar o eixo mais desfavorável (eixo x) :

2.1 Momento Md

N_d	9,38	kN		
N_{Gk}	-3,1	kN		
N_{Qk}	-2,2	kN		
N_{Wk}	-3,5	kN		
$M_{1d} = (M_{1gd} + M_{1qd})$	0,00	kN.cm		
$e_i \geq \left[\frac{M_{1d}}{N_d} \right] \left[\frac{h_{total}}{30} \right]$	0,67	cm		
$e_a \geq \left[\frac{L_0}{300} \right] \left[\frac{h_{total}}{30} \right]$	0,93	cm		
$F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{cef} \cdot I_{xef}}{L_0^2}$	-60,02	kN		
	0	w		
ψ_1	0,2	0,2		
ψ_2	0,3	0		
ϕ	2			
$e^c = \frac{\phi \cdot [N_{Gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{Qk}]}{F_E - [N_{Gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{Qk}]}$	0,22	0,14		
$e_{1d} = M_{1d} / N_{Gd}$	0,00	cm		
$e_c = (e_{1d} + e_a) \cdot (e^c - 1)$	0,43	0,39		
$e_{1ef} = e_i + e_a + e_c$	2,03	cm		
$M_d = N_d \cdot e_{1ef} \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right)$	16,45	kN.cm		
$\sigma_{Md} = M_d / W_x$	0,09	kN/cm ²		
$\left(\frac{\sigma_{Ncd}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0d}} \leq 1$	0,06	≤	1,00	VERIFICA
$\left(\frac{\sigma_{Ncd}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0d}} \leq 1$	0,03	≤	1,00	VERIFICA
$\frac{\sigma_{Ncd}}{f_{c0d}} + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0d}} \leq 1$	0,03	≤	1,00	VERIFICA

Compressão de peças esbeltas

3) Verificação da estabilidade

Seção composta descontinuada

$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_d \cdot I_2}{I_{y,ef} \cdot W_2} + \frac{M_d}{2 \cdot a_1 \cdot A_1} \left(1 - n \cdot \frac{I_2}{I_{y,ef}} \right)$$

0,27	<	1,42	kN/cm ²
------	---	------	--------------------

VERIFICA!

4) Esforço Vd

NBR7190/1987		NBR7190-PROJETO	
$V_d := A_1 \cdot f_{Vdb} \cdot \frac{I_1}{a_1}$		λ_{ef}	102,41
		Vd (kN)	0,90
		Fsd (kN)	4,14
Vd (kN)	95,6		

* Serão admissíveis excentricidades somente a o eixo de menor inércia (eixo x). Assim sendo na direção y os respectivos valores serão 0.

*tabela 18 (norma) Classe carr. Perm. Longa duração X Classe Umid.: 3

ANEXO C

O memorial orçamentário para a madeira Angelim é apresentado a seguir:

Número do Item	Tipo do Item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total	
1	INSUMO	4344	PARAFUSO FRANCES METRICO ZINCADO, DIAMETRO 12 MM, COMPRIMENTO 150 MM, COM PORCA SEXTAVADA E ARROELA DE PRESSAO MEDIA	UN	4,0000000	19,62	R\$ 78,48	
2	INSUMO	4400	CAIBRO NAO APARELHADO, *6 X 8* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	8,0000000	27,85	R\$ 222,80	
3	INSUMO	4415	SARRAFO NAO APARELHADO 2,5 X 5 CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	5,0000000	6,61	R\$ 33,05	
4	INSUMO	4425	VIGA NAO APARELHADA *6 X 12* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	12,5000000	37,01	R\$ 462,63	
5	INSUMO	4472	VIGA NAO APARELHADA *6 X 16* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	11,0000000	46,24	R\$ 508,64	
6	INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	3,0000000	24,73	R\$ 74,19	
7	INSUMO	21142	ESTRIBO COM PARAFUSO EM CHAPA DE FERRO FUNDIDO DE 2" X 3/16" X 35 CM, SECAO "U", PARA MADEIRAMENTO DE TELHADO	UN	1,0000000	25,45	R\$ 25,45	
8	INSUMO	39027	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	3,0000000	20,83	R\$ 62,49	
9	INSUMO	40623	CHAPA PARA EMENDA DE VIGA, EM ACO GROSSO, QUALIDADE ESTRUTURAL, BITOLA 3/16 ", E= 4,75 MM, 4 FUROS, LARGURA 45 MM, COMPRIMENTO 500 MM	PAR	1,0000000	150,38	R\$ 150,38	
10	COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	4,3230000	23,07	R\$ 99,73	
11	COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	18,7350000	28,10	R\$ 526,45	
12	COMPOSICAO	92262	INSTALÇÃO DE TESOURA (INTEIRA OU MEIA), BIAPOIADA, EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PARA VÃOS MAIORES OU IGUAIS A 10,0 M E MENORES QUE 12,0 M, INCLUSIVE ICAMENTO. AF_07/2019	UN	1,0000000	788,75	R\$ 788,75	
						Total Equipamentos	1,57%	R\$ 47,68
						Total Material	73,10%	R\$ 2.217,04
						Total Mão de Obra	25,29%	R\$ 767,08
						Total Outros	0,04%	R\$ 1,23
						Total da Composição	26,86%	R\$ 3.033,03

Número do Item	Tipo do Item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total
1	INSUMO	4408	RIPA NAO APARELHADA, *1,5 X 5* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	2,5730000	3,33	R\$ 8,57
2	INSUMO	4425	VIGA NAO APARELHADA *6 X 12* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	0,7350000	37,01	R\$ 27,20
3	INSUMO	4430	CAIBRO NAO APARELHADO *5 X 6* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	2,3360000	17,5	R\$ 40,88
4	INSUMO	20247	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 15 X 15 (1 1/4 X 13)	KG	0,0700000	23,09	R\$ 1,62
5	INSUMO	39027	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	0,0500000	20,83	R\$ 1,04
6	INSUMO	40568	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 22 X 48 (4 1/4 X 5)	KG	0,0300000	21,01	R\$ 0,63
7	COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4020000	23,07	R\$ 9,27
8	COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4000000	28,1	R\$ 11,24
9	COMPOSICAO	93281	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,0412000	27,29	R\$ 1,12
10	COMPOSICAO	93282	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,0571000	26,35	R\$ 1,50
						Total Equipamentos	R\$ 0,03
						Total Material	R\$ 85,71
						Total Mão de Obra	R\$ 17,29
						Total Outros	R\$ 0,02
						Total da Composição	R\$ 103,05

O memorial orçamentário para a madeira Açoiça Cavalo é apresentado a seguir:

Número do Item	Tipo do Item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total
1	INSUMO	4344	PARAFUSO FRANCES METRICO ZINCADO, DIAMETRO 12 MM, COMPRIMENTO 150 MM, COM PORCA SEXTAVADA E ARRUELA DE PRESSAO MEDIA	UN	4,0000000	19,62	R\$ 78,48
2	INSUMO	4415	SARRAFO NAO APARELHADO 2,5 X 5 CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	5,00	6,04	R\$ 30,19
3	INSUMO	4425	VIGA NAO APARELHADA *6 X 12* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	4,05	33,81	R\$ 136,92
4	INSUMO	4472	VIGA NAO APARELHADA * 4 X 12* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	20,11	21,12	R\$ 424,71
5	INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	3,0000000	22,59	R\$ 67,77
6	INSUMO	21142	ESTRIBO COM PARAFUSO EM CHAPA DE FERRO FUNDIDO DE 2" X 3/16" X 35 CM, SECAO "U", PARA MADEIRAMENTO DE TELHADO	UN	1,0000000	25,45	R\$ 25,45
7	INSUMO	39027	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	3,0000000	20,83	R\$ 62,49

8	INSUMO	40623	CHAPA PARA EMENDA DE VIGA, EM ACO GROSSO, QUALIDADE ESTRUTURAL, BITOLA 3/16 ", E= 4,75 MM, 4 FUROS, LARGURA 45 MM, COMPRIMENTO 500 MM	PAR	1,0000000	150,38	R\$ 150,38
9	COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	4,3230000	23,07	R\$ 99,73
10	COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	18,7350000	28,10	R\$ 526,45
11	COMPOSICAO	92262	INSTALAÇÃO DE TESOURA (INTEIRA OU MEIA), BIAPOIADA, EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PARA VÃOS MAIORES OU IGUAIS A 10,0 M E MENORES QUE 12,0 M, INCLUSO ICAMENTO. AF_07/2019	UN	1,0000000	788,75	R\$ 788,75

Total Equipamentos	1,57%	R\$ 37,59
Total Material	73,10%	R\$ 1.747,98
Total Mão de Obra	25,29%	R\$ 604,79
Total Outros	0,04%	R\$ 0,97
Total da Composição	26,86%	R\$ 2.391,32

Número do Item	Tipo do Item	Código	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total	
1	INSUMO	4408	RIPA NAO APARELHADA, *1,5 X 5* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	2,5730000	3,04183842	R\$ 7,83	
2	INSUMO	4425	VIGA NAO APARELHADA *6 X 12* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	0,7350000	33,81	R\$ 24,85	
3	INSUMO	4430	CAIBRO NAO APARELHADO *5 X 6* CM, EM AÇOITÁ CAVALO	M	2,3360000	15,98563734	R\$ 37,34	
4	INSUMO	20247	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 15 X 15 (1 1/4 X 13)	KG	0,0700000	23,09	R\$ 1,62	
5	INSUMO	39027	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 19 X 36 (3 1/4 X 9)	KG	0,0500000	20,83	R\$ 1,04	
6	INSUMO	40568	FREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 22 X 48 (4 1/4 X 5)	KG	0,0300000	21,01	R\$ 0,63	
7	COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4020000	23,07	R\$ 9,27	
8	COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4000000	28,1	R\$ 11,24	
9	COMPOSICAO	93281	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,0412000	27,29	R\$ 1,12	
10	COMPOSICAO	93282	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,0571000	26,35	R\$ 1,50	
						Total Equipamentos	0,03%	R\$ 0,03
						Total Material	83,17%	R\$ 80,22
						Total Mão de Obra	16,78%	R\$ 16,18
						Total Outros	0,02%	R\$ 0,02
						Total da Composição	16,81%	R\$ 96,45