

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE DALL'AGNOL

**ESTUDO COMPARATIVO DE ESTRUTURAS DE
COBERTURA EM MADEIRA VARIANDO-SE O VÃO E O TIPO DE
TESOURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

FELIPE DALL'AGNOL

**ESTUDO COMPARATIVO DE ESTRUTURAS DE
COBERTURA EM MADEIRA VARIANDO-SE O VÃO E O TIPO DE
TESOURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus
Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias

Pato Branco

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DE ESTRUTURAS DE COBERTURA EM MADEIRA VARIANDO-SE O VÃO E O TIPO DE TESOURA

FELIPE DALL AGNOL

No dia 19 de junho de 2017, às 14h45min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº03-TCC/2017.

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Esp. ANA CLÁUDIA DAL PRÁ VASATA (DACOC/UTFPR-PB)

Observação: O TERMO DE APROVAÇÃO devidamente assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Adriano, Bernadete e meu irmão Daniel, por sempre estarem ao meu lado, apoiando minhas escolhas e dando suporte.

Aos meus amigos Marcel, Rafael, Gustavo, Caio, João e Roberto, que durante a graduação me ajudaram a levantar a cabeça em momentos difíceis, por todo o conhecimento compartilhado e as boas histórias vividas.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da UTFPR – Campus Pato Branco, por todo o conhecimento compartilhado e o enorme crescimento que me foi proporcionado. Em especial ao Prof. Dr. Volmir Sabbi e a Prof. Esp. Ana Cláudia Dal Prá Vasata, por fazerem parte da banca de defesa, disponibilizando seu tempo para avaliação do trabalho e todas as sugestões propostas, que enriqueceram o trabalho. Ao Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias, por despertar interesse no tema, orientar o trabalho, sempre se demonstrar ágil e disposto na resolução de dúvidas e pelas inúmeras lições de caráter, compartilhadas no dia-a-dia na universidade.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

DALL'AGNOL, Felipe. **Estudo comparativo de estruturas de cobertura em madeira variando-se o vão e o tipo de tesoura.** Trabalho de conclusão de Curso- Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paro Branco, 2017.

Tratando-se de estruturas de cobertura em madeira no cenário da construção civil brasileira, são adotadas, em geral, soluções empíricas no canteiro de obras sem a elaboração de projetos que busquem segurança estrutural, racionalidade e economia. A precariedade do mercado brasileiro de madeira é um fator agravante a isso. O material é comercializado sem ser selecionado, com umidade fora dos padrões de referência de norma, além do problema da exploração predatória de madeiras nativas. O presente estudo propõe que pode haver uma economia significativa do volume de material usado para execução da estrutura de cobertura, se adotado o correto arranjo de tesouras e usando madeira selecionada e seca. O comparativo se dá entre tesouras do tipo Howe, Fink e Pratt, solicitadas para três vãos distintos, buscando aproveitar o potencial de cada modelo. O estudo é realizado com madeira proveniente de floresta plantada, buscando também, mostrar o potencial de uso de material desta procedência.

Palavras-chave: Estruturas de cobertura em madeira. Tipos de Tesouras. Vãos variáveis. Volume de madeira.

ABSTRACT

DALL'AGNOL, Felipe. **Comparative study on wooden roofing structures by varying the gap and the type of truss.** Final Project in Civil Engineering Bachelor - Academic Department of Civil Construction, Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2017.

Mentioning wooden roofing structures in Brazilian civil construction settings, empirical solutions are generally adopted at the construction site without the elaboration of projects that seek structural safety, rationality and economy. The Brazilian wood market precariousness is an aggravating factor. The material is commercialized without being selected, with out of standard reference moisture, besides the problem of native wood predatory exploration. The present study proposes that there might be a relevant economy on the used material volume to perform the cover structure, if the correct arrangement of trusses and the use of selected and dry wood are adopted. The comparison is among Howe, Fink and Pratt type of trusses, requested for three different gaps, in order to take advantage of each model potential. The study is carried out with wood from planted forest, and pursues to show also, the potential of using material from this source.

Keywords: wooden Roofing structures. Types of trusses. Variable gaps. Wooden Volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ensaio de resistência a compressão paralela as fibras	16
Figura 2 - Ensaio de resistência a tração paralela as fibras	16
Figura 3 - Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras	17
Figura 4 – Ensaio de resistência flexão	17
Figura 5 - Divisão de Regiões Produtoras Florestais.....	20
Figura 6 - Distribuição de Florestas no Núcleo de Pato Branco	21
Figura 7 – Elementos do sistema de cobertura	23
Figura 8 – Arranjo usual de estruturas de cobertura.....	24
Figura 9– Elementos da tesoura.....	25
Figura 10 - Tesoura tipo Pratt	26
Figura 11 – Tesoura tipo Fink	26
Figura 12 - Peça composta com solidarização contínua.....	27
Figura 13 - Peça composta com solidarização descontínua.....	27
Figura 14 – Ligação colada.....	28
Figura 15 – Ligação Entalhada	29
Figura 16 – Ligadores Metálicos.....	29
Figura 17 – Esquema estrutural Tesouras.....	38
Figura 18 - Modelamento de tesoura tipo Howe, para vão de 25 metros e cargas permanentes	39
Figura 19 - Modelamento de tesoura tipo Fink, para vão de 25 metros e cargas variáveis de vento	39
Figura 20 - Modelamento de tesoura tipo Pratt, para vão de 25 metros e cargas variáveis de manutenção	39

LSTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de Florestas na Regional de Pato Branco.....	22
Tabela 2 - Esforços e item da norma.....	33
Tabela 3 - Pressão dinâmica do vento.....	37
Tabela 4 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 15 metros.....	40
Tabela 5 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 20 metros.....	41
Tabela 6 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 25 metros.....	41
Tabela 7 - Áreas teóricas por elemento para vão de 15 metros	42
Tabela 8 - Áreas teóricas por elemento vão de 20 metros	43
Tabela 9 - Áreas teóricas por elemento vão de 25 metros	43
Tabela 10 - Volume das tesouras vão 15 metros	44
Tabela 11 - Volume das tesouras vão 20 metros	44
Tabela 12 - Volume das tesouras vão 25 metros	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	PROPRIEDADES DA MADEIRA	14
2.1.1	Propriedades Físicas	14
2.1.2	Propriedades Mecânicas	15
2.2	FONTES DE MADEIRA	18
2.2.1	Madeira de Floresta Nativa Legalizada	18
2.2.2	Florestas Plantadas no Paraná	19
2.3	ESTRUTURAS DE COBERTURA	22
2.3.1	Tesouras	25
2.3.2	Ligações	28
2.4	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	30
2.4.1	Método dos Estados Limites	30
2.4.2	Combinações de esforços	32
2.5	SITUAÇÕES DE PROJETO	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	DEFINIÇÕES INICIAIS	34
3.1.1	Materiais utilizados	35
3.1.2	Carga do vento	36
3.1.3	Carga de manutenção	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5	CONCLUSÃO	45
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A construção civil possibilita o uso de vários materiais para execução de obras, um deles é a madeira, provavelmente o material de construção mais antigo existente (PFEIL, 2003), que possui bons índices mecânicos, mostrando-se eficiente para usos estruturais, além de ser um recurso renovável.

Apesar disso, o uso da madeira na construção civil no Brasil é cercado de preconceitos (MEIRELLES et al, 2007), em geral se dá preferência para executar obras usando alvenaria, concreto armado e estruturas metálicas, e o uso da madeira se restringe a fôrmas, escoramentos e para estruturas de cobertura.

Contudo, esse uso não é feito de forma satisfatória, pois, raramente é feito um projeto estrutural para a estrutura de cobertura em madeira, sendo adotadas soluções empíricas dentro do canteiro de obras (HILGENBERG NETO, 2009), as quais não são as ideais devido à ausência de verificações.

Além disso, a madeira usada tem sua fonte questionável. Apesar da legislação sobre a extração de madeira estar a cada dia mais rigorosa, estudos mostram que 43 a 80% da produção da Amazônia, principal fonte de madeira, seja ilegal (IPT, 2009), evidenciando um processo insustentável.

Uma alternativa a este processo é o uso de madeira proveniente de florestas plantadas. Embora vista com pouca confiabilidade, pela comunidade em geral, para usos estruturais na construção civil, estudos mostram que algumas espécies de madeira reflorestadas, se feito o correto manejo, desbaste, secagem e tratamentos, atingem níveis de desempenho até maiores que de madeiras nativas de referência (REMADE, 2005), ou seja, se faz necessário tornar o processo desde o plantio até a oferta para comercialização da madeira mais estruturada.

Dado o panorama geral, esse trabalho tem por finalidade o estudo de soluções para estruturas de cobertura, comparando os custos e desempenho estrutural, variando vãos e os tipos de tesoura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar soluções para estruturas de cobertura em madeira, variando-se o tipo de tesoura e os vãos a serem vencidos.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do trabalho, propõe-se:

- Realizar revisão bibliográfica sobre estruturas de cobertura em madeiras e os tipos de tesoura mais comumente empregados;
- Realizar levantamento de dados sobre a oferta de madeira nativa e de floresta plantada no Brasil, para usos estruturais;
- Fazer estudo comparativo, em termos de esforços atuantes entre soluções com diferentes tipos de tesouras, variando-se os vãos a serem vencidos;
- Avaliar como a consideração de madeira seca e com classificação visual e mecânica pode influenciar nos resultados do dimensionamento;
- Elaborar quantitativos de materiais, para cada solução adotada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Freqüentemente o projeto estrutural de coberturas em madeira, é negligenciado na construção civil. Em geral são adotadas soluções empíricas dentro do canteiro, baseadas na experiência dos operários da obra, ao invés de um projeto feito por um engenheiro, que busca segurança estrutural, racionalidade e economia (HILGENBERG NETO, 2009).

Somado a isso, a cadeia produtiva para madeira de uso estrutural na construção civil no Brasil é bastante precária. Dentre os problemas está a exploração predatória de madeira amazônica, a comercialização de madeira verde (umidade acima de 20%) e também a falta de padronização nas nomenclaturas populares para cada espécie, fazendo com que o consumidor tenha dificuldades em saber qual espécie está recebendo.

A escolha da espécie de madeira é um fator decisivo na elaboração do projeto, pois ela é quem ditará os valores de resistência a serem usados. Para

usos estruturais, geralmente os usuários preferem madeiras de florestas nativas, por acreditarem que madeiras provenientes de florestas plantadas não forneçam a devida segurança estrutural. Porém artigos publicados na Remade (2005), nos mostram que algumas espécies provenientes de floresta plantada conseguem alcançar desempenhos superiores a madeiras nativas de referência.

No sul do Brasil existem empresas que fornecem madeiras de floresta plantada com a qualidade necessária para uso estrutural, porém devido a cultura e a falta de informação, o material é visto com preconceito e não tem uma boa absorção no mercado interno. Daí a importância de produções científicas neste tema, para desmitificação do material.

O emprego deste material também se justifica pela sua abundância na região. Dados de 2009 da ABRAF (2010), classificaram o Paraná como detentor da terceira maior floresta plantada do Brasil.

O enfoque principal no estudo dos elementos da cobertura se dará na tesoura, por se tratar do elemento que recebe todas as cargas da estrutura de cobertura e distribui para a superestrutura. Dentre os diversos formatos, serão selecionados para estudo as tesouras tipo Howe, Pratt e Fink. A tesoura Howe por ser o tipo mais utilizado no Brasil, a tesoura tipo Pratt, por apresentar as diagonais na direção oposta a Howe e a tesoura Fink, solução frequentemente adotada por projetistas americanos (MOLITERNO, 2010).

Além disso, será feito o comparativo das estruturas de cobertura de acordo com a procedência do material. Pois, de acordo com o processo que a madeira passa, do seu plantio até a comercialização, é possível adotar diferentes coeficientes nas verificações estruturais, conforme tabelas da NBR 7190 (ABNT, 1997), o que pode influenciar nos resultados obtidos.

Para se mostrar viável, um estudo precisa ter determinada disponibilidade de informações e recursos (CASTRO 1977, apud SILIPRANDI, 2006). A viabilidade deste estudo depende de conhecimentos de resistência dos materiais, teoria das estruturas e do comportamento da madeira para que possam ser realizadas as análises e dimensionamentos estruturais. Sendo estes conteúdos abordados na graduação de engenharia civil, este ponto é satisfeito, mostrando que o estudo é viável.

Um tema original é aquele que tem potencial para surpreender (CASTRO 1977, apud SILIPRANDI, 2006). Desta forma o estudo em questão mostra

originalidade justamente pelo fato do projeto de cobertura não receber a devida visibilidade, os dados levantados podem servir de subsídio para a concepção de estruturas de cobertura em madeira mais eficientes e racionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROPRIEDADES DA MADEIRA

A madeira é um material proveniente de um ser vivo, desta forma, sendo constituída por células, que quando agregadas, formam os elementos que desempenham as funções vitais deste ser (MELO, 2013).

Sua formação química é de basicamente três elementos: Carbono, Oxigênio e Hidrogênio (CLARO, 2013).

2.1.1 Propriedades Físicas

O conhecimento das propriedades físicas da madeira é importante pois, elas podem influenciar significativamente no seu desempenho no uso estrutural. Dentre as propriedades físicas que tem sua importância destacada estão o teor de umidade, a densidade e a durabilidade natural.

2.1.1.1 Teor de Umidade

Por se tratar de um material higroscópico, ou seja, entra em equilíbrio com a umidade do ambiente, perdendo ou absorvendo água, se faz importante o estudo desta propriedade no material.

A água na madeira pode se apresentar como: água livre - contida na cavidade das células-, água impregnada – contida na parede das células – e a água de constituição, que forma a célula.

A água livre é facilmente perdida ou absorvida pelo material, variando de acordo com o ambiente em que está exposta. Já a água impregnada é um pouco mais complicada de ser retirada. Quando se deseja obter teores de umidades reduzidos, a madeira deve passar por processos sofisticados de secagem, geralmente realizados em estufas.

O teor de umidade é dado pela seguinte expressão:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Onde m_1 é a massa úmida, m_2 é a massa seca e w é a umidade (%). Como valor padrão a NBR 7190 adota o teor de umidade de 12% para referenciar as propriedades da madeira (SZÜCS et al, 2015).

2.1.1.2 Densidade da madeira

Em virtude de variar com a umidade, a densidade da madeira pode ser calculada de duas formas: densidade básica – a qual considera a massa seca da madeira por um volume saturado – e a densidade aparente – neste caso a massa e o volume são referentes a um determinado teor de umidade, em geral, como já citado, seguem o valor de 12% (AZAMBUJA; MATTOS, 2009).

Segundo Dias e Lahr (2004), a densidade e a tração paralela as fibras tem relação crescente, e em algumas espécies esta relação é linear.

2.1.1.3 Durabilidade Natural

Assim como outras propriedades já citadas, a durabilidade natural da madeira varia com a espécie. As características de cada uma dirá o quanto ela é suscetível e vulnerável a ataques biológicos.

Porém, a baixa durabilidade natural de algumas espécies pode ser compensada por tratamento preservativo, alcançando níveis próximos ao de espécies naturalmente resistentes.

2.1.2 Propriedades Mecânicas

Quando em serviço, os materiais são submetidos a esforços. Em tais situações se faz necessário conhecer as características mecânicas, de acordo com a constituição do elemento usado. As características mecânicas ditarão como o material se deforma, bem como a resposta do mesmo diante dos esforços solicitantes (CALLISTER, 2002).

Um material que apresenta simetria em três direções e suas propriedades mecânicas não variam numa mesma direção, porém variam de uma direção para outra, são chamados ortotrópicos. Melo (2013), cita que, como a madeira apresenta as direções radiais, longitudinais e tangenciais simétricas, permite-se a consideração como material ortotrópico para efeito de suas propriedades mecânicas.

A caracterização mecânica das madeiras para projeto de estruturas, segue os métodos de ensaio especificados no anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para o dimensionamento estrutural em madeira tem-se como principais propriedades mecânicas:

- Resistência a compressão paralela as fibras:

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência a compressão paralela às fibras é determinada pela máxima tensão de compressão que atua em um corpo de prova, de base quadrada, com dimensões de 5 cm de lado e 15 cm de comprimento. A Figura 1 demonstra o ensaio de resistência a compressão paralela às fibras.

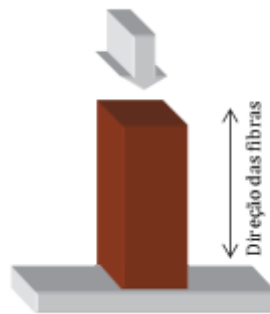


Figura 1 – Ensaio de resistência a compressão paralela as fibras
Fonte: Melo (2013).

- Resistência a tração paralela as fibras:

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência a tração paralela às fibras, caracteriza-se, pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central estreito. A Figura 2 representa o ensaio de tração paralela as fibras, assim como, a forma do corpo de prova usado.

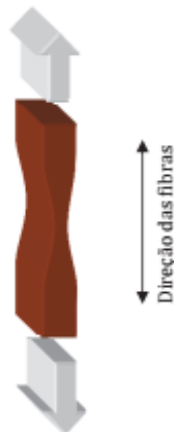


Figura 2 - Ensaio de resistência a tração paralela as fibras

Fonte: Melo (2013).

- Cisalhamento paralelo as fibras:

A NBR 7190 (ABNT, 1997) define a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras como, a máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático. A Figura 3 demonstra o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras da madeira.

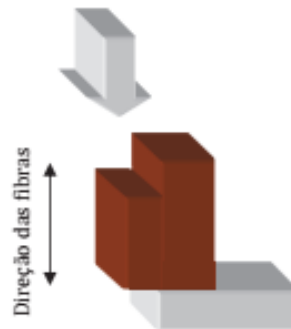


Figura 3 - Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras
Fonte: Melo (2013).

- Flexão:

A resistência da madeira à flexão, é dado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), como o valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova no ensaio de flexão simples, como representado na Figura 4. Vale ressaltar que a flexão é a responsável por gerar os esforços cortantes e momentos fletores.



Figura 4 – Ensaio de resistência flexão
Fonte: Melo (2013).

- Módulo de Elasticidade:

Também chamado por Eidt *et al* (2014), como módulo de rigidez, é a razão entre tensão e deformação na fase elástico linear da madeira. Os principais

módulos de elasticidade da madeira para critérios de dimensionamento são os módulos de elasticidade de compressão paralela às fibras e compressão perpendicular as fibras. A NBR 7190 (ABNT, 1997) permite considerar o módulo de elasticidade a compressão normal as fibras da madeira, como a vigésima parte do módulo de elasticidade a compressão paralelo as fibras da madeira.

Pfeil (2003) ainda cita que as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas principalmente pelo local de onde ela é retirada da árvore, defeitos na textura da madeira, decomposição, umidade e tempo de duração da carga a qual está sujeita.

2.2 FONTES DE MADEIRA

Em geral as madeiras recebem duas classificações de acordo com suas fontes, as de florestas plantadas e as de floresta nativas. Dados do Serviço Florestal Brasileiro (2013) mostram que do total de florestas no Brasil, 463 milhões de hectares, 98,45% são florestas nativas e apenas 1,55% florestas plantadas.

Dados referentes ao estado de São Paulo, mostram uma realidade interessante, cerca de 80% da madeira consumida por construtoras no estado, é originária de florestas plantadas, porém 99% desta madeira é usada para produtos de menor valor agregado, como: pisos, decks, compensados, esquadrias de portas e janelas (WWF-BR, 2011).

Esses dados são reflexo do preconceito que a sociedade tem com a madeira de floresta plantada, adotando-a em geral para subprodutos. Embora exista esta ótica, estudos mostram que algumas espécies, se feito o correto manejo, desbaste, secagem e tratamentos, atingem níveis de desempenho até maiores que de madeiras nativas de referência (REMADE, 2005), evidenciando ser uma alternativa viável.

2.2.1 Madeira de Floresta Nativa Legalizada

Dentro do universo das madeiras oriundas de florestas nativas, estima-se que algo em torno de 43 a 80% do que é extraído, é ilegal (IPT, 2009). Esses

dados são preocupantes, pois, segundo a WWF Brasil (2011), o comércio de madeira ilegal traz uma série de impactos, dentre eles:

- **Ambientais:** financia desmatamentos, ocupação desordenada e queimadas;
- **Sociais:** estimula a corrupção, práticas ilegais e violência; e
- **Econômicos:** impede a existência de empreendimentos sérios, visto que, a concorrência é desleal. O comércio ilegal desrespeita leis trabalhistas, estimula o trabalho semiescravo e vultosas somas de dinheiro em arrecadações para o município, estado e União são perdidos.

Para saber a procedência da madeira é necessário consultar seu Documento de Origem Florestal – DOF. Documento instituído pela Portaria nº253 de 18 de agosto de 2006 pelo Ministério do Meio Ambiente, representa a licença obrigatória para o controle do transporte de produtos e subprodutos de floresta de origem nativa.

Somente a apresentação do DOF, não garante que o produto seja sustentável, apenas, que ele é legalizado. O que mostra se o produto tem indícios de provir de fontes sustentáveis, são os selos verdes. O mais famoso é o selo internacional *Forest Stewardship Council* - FSC, que em português é traduzida como Conselho de Manejo Florestal. O FSC tem como principais requisitos que o produto seja (WWF-BR, 2017):

- ecologicamente correto – adote técnicas que imitam o ciclo natural das florestas, causando o mínimo de impacto;
- socialmente justo – todos os tributos, direitos trabalhistas e segurança do trabalho respeitados; e
- economicamente viável

2.2.2 Florestas Plantadas no Paraná

O estado do Paraná, tradicionalmente intensificou a exploração de madeira no volta do século XX, baseado no corte de Araucária, nome científico *Araucária angustifólia*, e Imbuia, nome científico *Ocotea porosa*.

Com o aumento do rigor das legislações, escassez de madeira nativa e incentivos fiscais deu-se o início dos plantios de florestas, por volta dos anos 1960 (SEAB, 2015).

Os mais de 50 anos de história no plantio florestal, colocaram o estado do Paraná entre os mais importantes produtores de madeira de floresta plantada do Brasil. Segundo dados de 2009 da ABRAF (2010), o Paraná possui a área de florestas de Eucalipto de 157.920 ha e uma área de 695.790 ha de florestas de Pinus, que representa algo em torno de 3,5% e 39% dos totais das respectivas florestas no Brasil.

No total o Paraná tem 853.710 ha de área de florestas plantadas, cerca de 13,5% da área total e também a maior área de floresta de Pinus, do Brasil.

2.2.2.1 Florestas Plantadas na Região de Pato Branco

A Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – Seab (2015) divide o estado do Paraná em cinco grandes regiões, conforme Figura 5, considerando características climáticas e também como a região se enquadra no Plano de Governo para a Agropecuária Paranaense.

Pato Branco está enquadrada na Região Centro-Sul nesta classificação, sendo esta a região que concentra a maior produção florestal do estado, cerca de 83% do total. Sendo compostos por 69% florestas de Pinus e 31% Eucalipto.

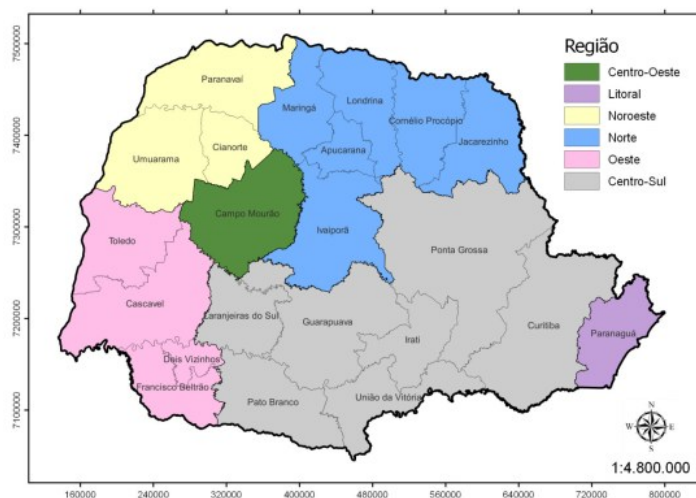


Figura 5 - Divisão de Regiões Produtoras Florestais
Fonte: Seab (2015).

A Seab (2015), também divide estas regiões em núcleos. Pato Branco está inserida no núcleo regional de seu mesmo nome. A distribuição das florestas de Pinus, Eucaliptos e Cortes Rasos¹ no Núcleo Regional de Pato Branco, é descrito conforme Figura 6.

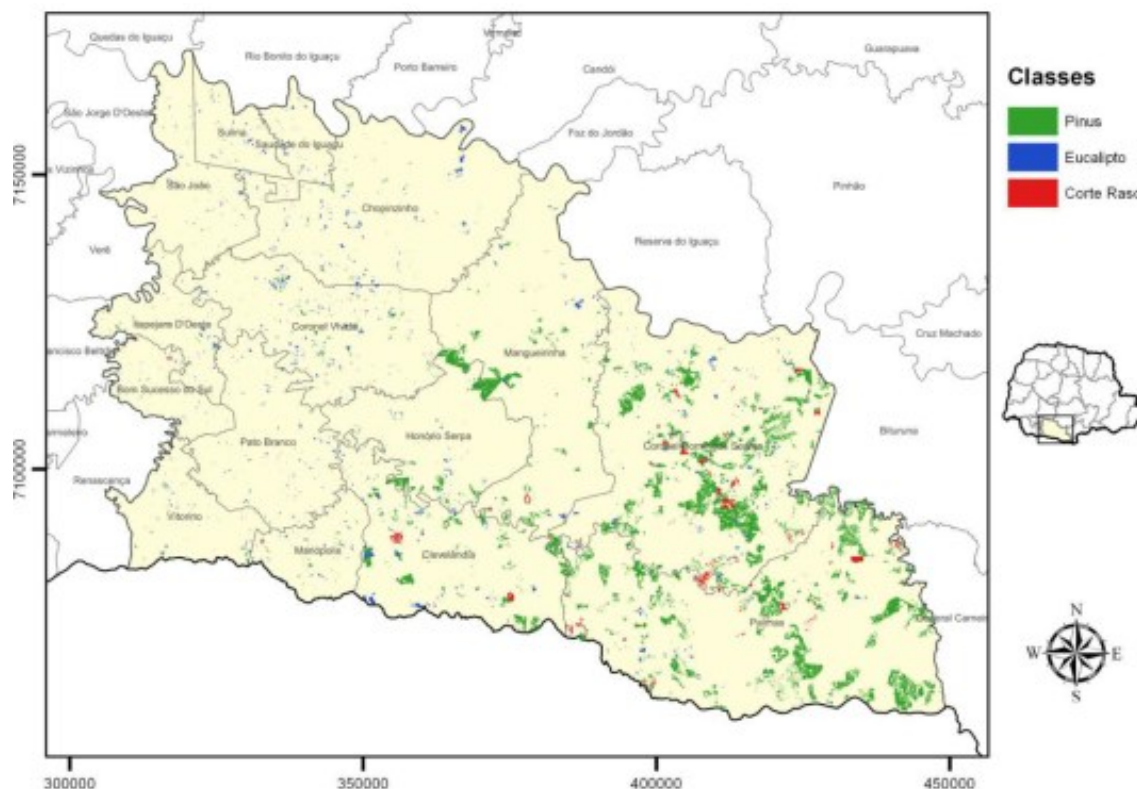


Figura 6 - Distribuição de Florestas no Núcleo de Pato Branco
Fonte: Seab (2015).

A Tabela 1 mostra numericamente esta mesma distribuição por município deste núcleo Regional.

¹ Cortes rasos são representadas pelas regiões de plantio ou corte recente de espécies de Pinus ou Eucalipto.

Município	Área (ha)				%
	Corte	Eucalipto	Pinus	Total	
Bom Sucesso do Sul	28,8	143,5	2,8	175,1	0,35%
Chopininho	0,4	882,2	123,2	1.005,7	2,03%
Clevelândia	371,6	976,5	2.619,0	3.967,1	8,00%
Coronel Domingos Soares	1.510,8	1.185,5	16.198,8	18.895,1	38,10%
Coronel Vivida	2,2	959,0	547,0	1.508,2	3,04%
Honório Serpa		271,3	776,8	1.048,1	2,11%
Itapejara D' Oeste		199,8	101,8	301,6	0,61%
Mangueirinha	114,0	407,5	3.785,0	4.306,5	8,68%
Mariópolis	30,7	201,2	163,5	395,5	0,80%
Palmas	870,9	490,2	15.100,2	16.461,2	33,19%
Pato Branco	0,9	380,6	45,9	427,4	0,86%
São João		196,6	38,7	235,2	0,47%
Saudade do Iguaçú	1,9	204,1	41,4	247,4	0,50%
Sulina	1,3	207,1	26,4	234,8	0,47%
Vitorino	14,9	208,3	161,9	385,1	0,78%
	2.948,3	6.913,4	39.732,5	49.594,2	100,0%
%	5,9%	13,9%	80,1%	100,0%	

Tabela 1 - Distribuição de Florestas na Regional de Pato Branco
Fonte: Seab (2015).

Desta forma fica evidenciado que a região possui uma área bastante expressiva de florestas plantadas. Segundo Schettino (2008), a expectativa para a Região Centro Sul, é que a relação demanda e oferta de madeira seja estável pelo menos até o ano de 2027.

2.3 ESTRUTURAS DE COBERTURA

A definição de sistema de cobertura, citando a NBR 15575-5 (ABNT, 2013):

Conjunto de elementos/componentes, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional.

Fica evidenciado que esse sistema não tem apenas a função de proteger a edificação de intempéries, mas também influencia diretamente no conforto do usuário.

O sistema de cobertura possui uma série de elementos, como evidencia a Figura 7, que podem ou não aparecer dependendo da solução imposta pelo

projetista. Como não se enquadra no escopo do trabalho, não será dado enfoque detalhado a estes elementos.

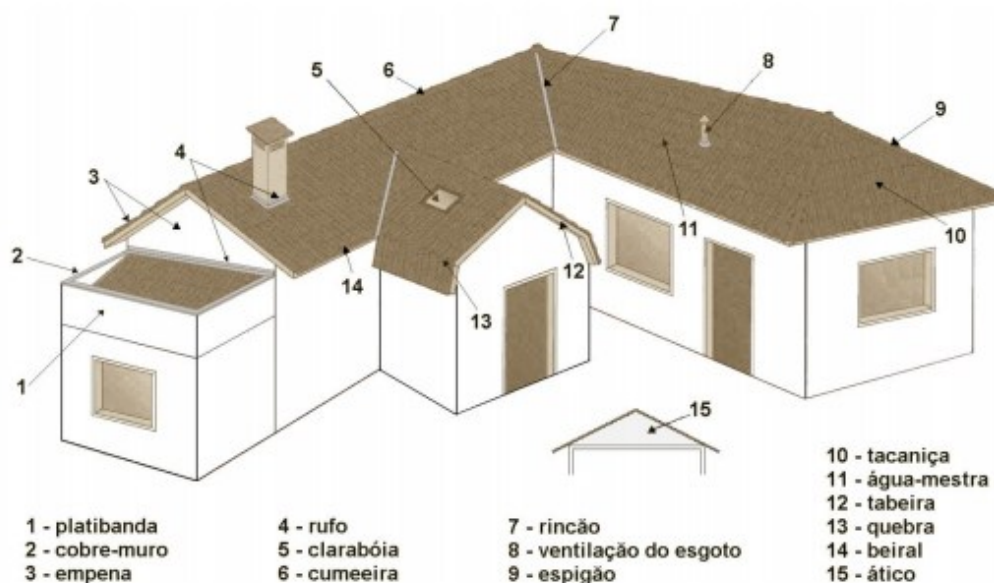


Figura 7 – Elementos do sistema de cobertura
Fonte: NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

Além das partes evidenciadas, ainda existe a estrutura de cobertura. Que segundo Azeredo (1997) é o conjunto de elementos que suporta a cobertura e o sistema de captação de águas pluviais.

As estruturas convencionais de cobertura em madeira, são compostas basicamente por elementos de viga e tesouras treliçadas, como cita Rodrigues (2006). A treliça vem como o elemento mais importante, sob o ponto de vista estrutural, pois ele tem a responsabilidade de vencer o vão livre da edificação. A Figura 8 exemplifica um arranjo de estrutura de cobertura usual, onde podemos ver os elementos de viga e as tesouras treliçadas.

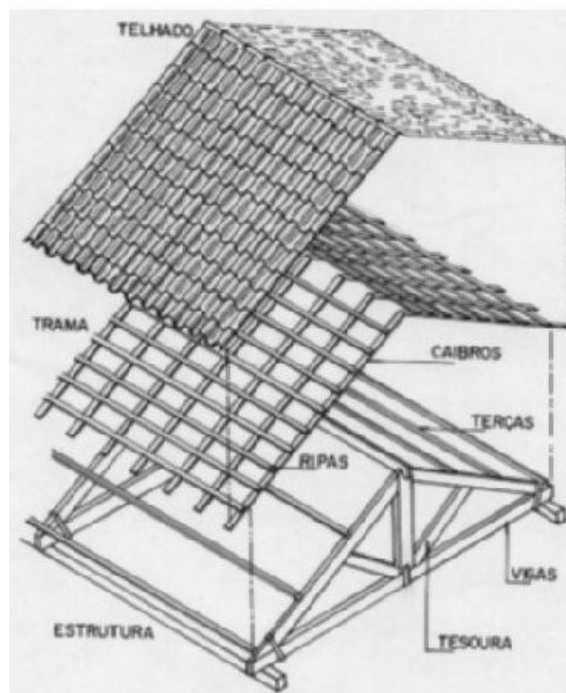


Figura 8 – Arranjo usual de estruturas de cobertura
Fonte: Rodrigues (2006).

Moliterno (2010) descreve os elementos de cobertura das estruturas de cobertura residenciais, convencionais em madeira, da seguinte forma:

- **Ripas:** peças de madeira de pequena dimensão, pregadas sobre os caibros, para sustentação das telhas. É comum adotar nos projetos, distâncias entre ripas de aproximadamente 0,35 m, dependendo da dimensão das telhas utilizadas;
- **Caibros:** peças de madeira de pequena dimensão, apoiadas sobre as terças para sustentação das ripas. É sugerido que a distância entre caibros varie entre 0,40 e 0,60 m, permitindo a passagem de um homem entre ripas e caibros;
- **Terças:** vigas apoiadas sobre as tesouras. É comum adotar distâncias entre terças de 1,50 m, para evitar flechas excessivas;
- **Tesouras:** viga principal em treliça ou viga-mestra, que serve para transferir o carregamento do telhado aos pilares ou paredes da edificação. Recomendado distâncias entre tesouras de até 3 m.

2.3.1 Tesouras

As tesouras podem ter uma infinidade de arranjos, apesar disso, seus elementos são basicamente os mesmos, como exemplificado na Figura 9.

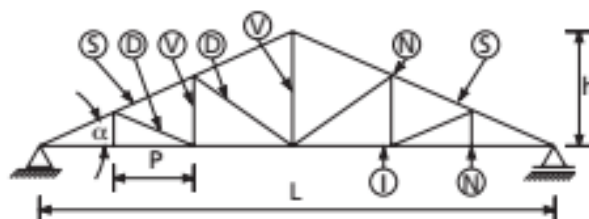


Figura 9– Elementos da tesoura
Fonte: Moliterno (2010).

- S – Banzo Superior;
- I – Banzo Inferior;
- V – Barras verticais;
- D – Barras diagonais;
- N – Nós;
- P – Distância entre nós;
- h – Altura da tesoura;
- L – Vão da tesoura;
- α – Inclinação da tesoura.

A tesoura da figura 9 é uma tesoura do tipo *Howe*. Esse é o tipo de tesoura mais empregado no Brasil para estruturas de madeira em telhados residenciais (MOLITERNO, 2010). Segundo Sedano (2006) este tipo de tesoura é indicado para vencer vãos da ordem de 6 a 20 metros.

Outro tipo de tesoura é a Pratt, Figura 10, segundo Moliterno (2010) esse tipo de tesoura é mais econômico, em relação a Howe, por apresentar as barras diagonais na direção que os carregamentos se decompõe, porém este tipo de tesoura não é tão usada em madeira, pela dificuldade na execução, sendo mais usada para estruturas metálicas. De acordo com Sedano (2006) este tipo de tesoura é indicado para vãos da ordem de 18 a 30 metros.

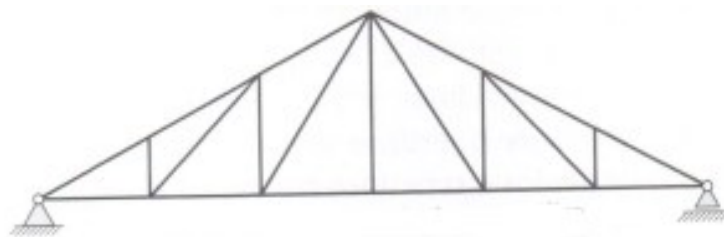


Figura 10 - Tesoura tipo Pratt
Fonte: Moliterno (2010).

Moliterno (2010) também exibe a tesoura tipo Fink, Figura 11, onde se ligam barras tracionadas nos nós do elemento. Este tipo é frequentemente usado na execução de telhados nos Estados Unidos. Este arranjo é indicado para vãos entre 20 e 30 metros (SEDANO, 2006).

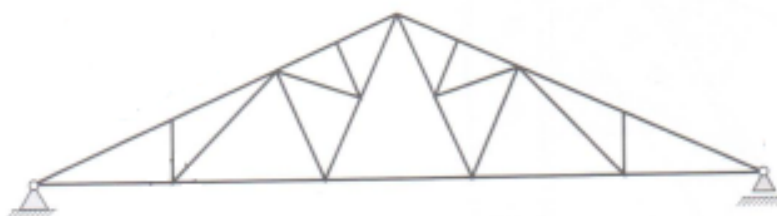


Figura 11 – Tesoura tipo Fink
Fonte: Moliterno (2010).

2.3.1.1 Barras formadas por peças múltiplas

Para contornar o problema da limitação de seções em peças de madeira comerciais, existem as peças compostas. Essas seções são formadas por duas ou mais peças, com união feita por adesivo ou dispositivo de ligação adequado (SZÜCS et al, 2015).

Sedano (2006) afirma que para vãos a partir de 9 metros, torna-se vantajoso o uso de elementos duplos para os banzos superiores das tesouras.

Szücs, *et al* (2015), classifica as peças compostas em solidarizadas continuamente (Figura 12) ou solidarizada descontinuamente (Figura 13). Para as de solidarização contínua os critérios de segurança são os mesmos para as peças maciças, apenas alterando a rigidez da peça de acordo com o tipo de ligação estabelecida da seção transversal.

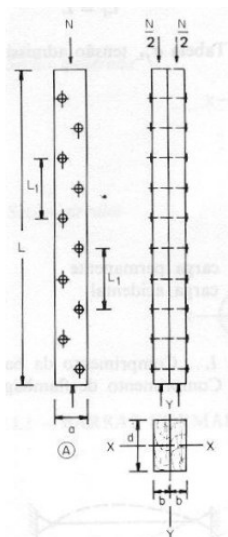


Figura 12 - Peça composta com solidarização contínua
Fonte: Sedano (2006).

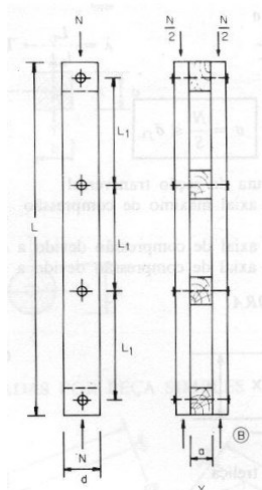


Figura 13 - Peça composta com solidarização descontínua
Fonte: Sedano (2006).

A separação das peças no caso descontínuo pode ser feita usando chapas laterais ou espaçadores interpostos.

Com a separação das peças, há um ganho de momento de inércia na direção que ganha altura, porém duas peças colocadas lado-a-lado podem ter comportamentos completamente independentes. Nestes casos, segundo Gesualdo (2003), é usado um coeficiente de redução deste momento de inércia β , dado por:

$$\beta = \frac{I_2 m^2}{I_2 m^2 + \alpha_y I_y}$$

Onde:

- I_2 é o menor momento de inércia do elemento individual;

- $I_y = n I_2 + 2 A_1 a_1^2$ (n – número de elementos ligados, A_1 – área do elemento individual, a_1 – distância entre os elementos ligados);
- m é o número de intervalos entre pontos de contato ao longo do comprimento total da peça;
- α_y é o coeficiente que depende do tipo de espaçador, tendo o valor de 1,25 para espaçadores interpostos e 2,25 para chapas laterais.

2.3.2 Ligações

Em função da estrutura anatômica da madeira, e suas limitações de comprimento, principalmente no caso da madeira serrada (tipo mais utilizado na construção civil), exige-se o uso de ligações para composição de elementos estruturais. Almeida (2012) divide as ligações em três grupos:

- **Ligações Coladas:** usadas geralmente para estruturas que apresentam vãos pequenos. Podem ser usadas para este processo colas de fabricação de madeira laminada colada. Para auxiliar este processo podem ser usadas como auxiliares, chapas de ligação conforme Figura 14.

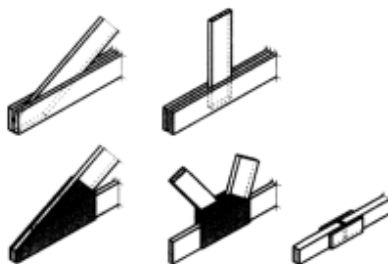


Figura 14 – Ligação colada
Fonte: Almeida (2012).

- **Ligações Entalhadas:** neste processo a transmissão dos esforços se dá pela superfície de contato entre os elementos a serem ligados, de acordo com a Figura 15, tendo a força de atrito um papel essencial. Este tipo de ligação atende muito bem a esforços de compressão, porém apresenta desvantagem para tração, sendo necessário nestes casos o uso de elementos metálicos para complementar a ligação.

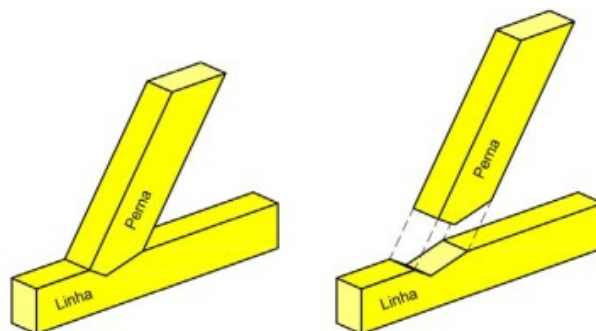


Figura 15 – Ligação Entalhada
Fonte: Almeida (2012).

- **Ligações Metálicas:** ligação mecânica de peças estruturais através da utilização de elementos metálicos. Almeida (2012), divide os ligadores metálicos em tipo cavilha (onde se enquadram pregos, parafusos de porca, agrafos, parafusos autorroscantes e cavilhas) e ligadores planos (placas metálicas dentadas, anéis, placas circulares e placas metálicas), conforme mostrado na Figura 16.

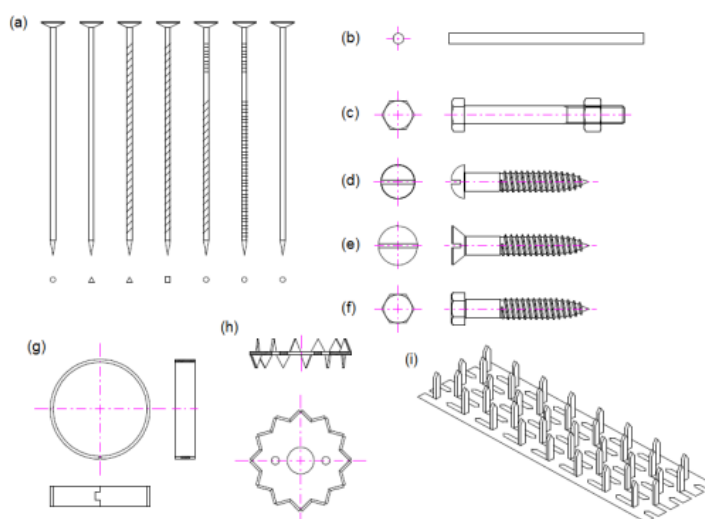


Figura 16 – Ligadores Metálicos
Fonte: Almeida (2012).

Além desta classificação Szücs, *et al* (2015) separa as ligações de acordo com a transmissão dos esforços em outros três grupos, os quais são:

- **Transmissão direta:** não possuem dispositivos intermediários entre as peças de madeira. Essa ligações transmitem entre as peças esforços normais ou cortantes, quando a resultante tende a aproximar as peças entre si;

- **Transmissão por Justaposição:** ligação com superfície de transpasse comum as peças ligadas. Podem transmitir esforços normais, cortantes ou momentos fletores entre si;
- **Transmissão indireta:** as peças não possuem superfície de transpasse, esforços são transmitidos por elementos intermediários. Podem transmitir entre si esforços normais, cortantes e momentos fletores.

2.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da Norma Brasileira 7190 (1997), é quem fixa as condições gerais a serem seguidas em projetos, execuções e controles de estruturas em madeira.

Segundo esta mesma norma, toda estrutura deve satisfazer os seguintes requisitos básicos de segurança:

- com probabilidade aceitável, a estrutura deve permanecer adequada ao uso previsto, tendo-se em vista o custo da construção admitido e o prazo de referência da duração esperada;
- com apropriado grau de confiabilidade, a estrutura deve suportar todas as ações e outras influências que podem agir durante a construção e durante a sua utilização, a um custo razoável de manutenção;
- em situações de ações não previstas no carregamento, como explosões, impactos de veículos ou ações humanas impróprias, os danos causados a estrutura não devem ser desproporcionais às causas que os provocam;
- a madeira usada para a execução deve ter suas propriedades de resistência conforme as especificadas no projeto.

2.4.1 Método dos Estados Limites

As condições de segurança estrutural apresentados no tópico anterior, são todos qualitativos, para a verificação quantitativa destes requisitos são adotados processos analíticos, numéricos, gráficos ou experimentais, que determinam esforços, deformações e deslocamentos das estruturas, para serem

comparados com valores de resistência dos materiais usados (SZÜCS et al, 2015).

O método adotado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) é o método dos estados limites, o qual segundo Gesualdo (2003) caracteriza-se como “*estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenhos inadequados às finalidades da construção*”.

Estes estados limites podem ser:

- **estado limite último**

De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997), estado caracterizado por:

- perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como corpo rígido;
- ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- Instabilidade por deformação;
- Instabilidade dinâmica (ressonância).

- **estado limite de utilização**

De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997), estado caracterizado por:

- deformações excessivas, que afetem a utilização normal da construção, comprometam seu aspecto estético, prejudiquem o funcionamento de equipamentos ou instalações ou causem danos aos materiais de acabamento ou às partes não estruturais da construção;
- vibrações de amplitudes excessiva que causem desconforto aos usuários ou causem danos à construção ou ao seu conteúdo.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) coloca como condição de segurança da estrutura em relação a possíveis estados limites, a condição analítica:

$$S_d \leq R_d$$

Onde S é o esforço solicitante e R a resistência. Ambos os valores tem índice “d”, que representa valor de cálculo. No caso da resistência esse valor de cálculo é a resistência característica – R_k , dividido por um coeficiente – γ_w e multiplicado por um coeficiente k_{mod} .

$$R_d = k_{mod} \frac{R_K}{\gamma_w}$$

Os valores de γ_w são dados no item 6.4.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997), dependendo basicamente do tipo de esforço a qual o elemento estrutural está sendo solicitado.

Já o K_{mod} ou coeficiente de modificação é formado pelo seguinte produto

$$K_{mod} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3}$$

O coeficiente de modificação é tratado no item 6.4.4 da NBR 07190 (ABNT, 1997). O $K_{mod,1}$ leva em conta a classe de duração do carregamento, o $K_{mod,2}$ a classe de umidade do material e o $K_{mod,3}$ a categoria da madeira de acordo com o tipo de classificação que ela recebeu.

Já os esforços solicitantes recebem o índice “d” quando majorados seguindo os critérios de combinações de esforços de norma.

2.4.2 Combinações de esforços

Szücs, *et al* (2015) diz que para a elaboração de um projeto, as ações existentes devem ser combinadas com a aplicação de coeficientes que levem em conta a probabilidade das solicitações ocorrerem simultaneamente.

As ações em estruturas podem ocorrer de forma direta ou indireta e como tempo de atuação, ser permanente, variável ou excepcional. O tipo e a duração da ação influenciam diretamente no coeficiente de majoração que ela sofrerá.

A combinação dos esforços solicitantes é dada pela equação:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \times F_{Gi,k} + \gamma_Q \times \left[F_{Qik} + \sum_{j=1}^n \psi_{0j} \times F_{Qj,k} \right]$$

Onde $F_{Gi,k}$ são os valores de carregamentos característicos das ações permanentes, $F_{Qi,k}$ são os valores característicos das ações variáveis, Ψ são os fatores de combinação e utilização dado pela Tabela 2 da norma e variando de acordo com o tipo de carregamento. Os valores de γ_G , coeficientes de ponderação para carregamentos permanentes são dados pelas Tabelas 3, 4, 5, já os valores de γ_Q , coeficientes de ponderação para carregamentos variáveis,

são dados pela Tabela 6. Todas as tabelas citadas constam na NBR 7190 (ABNT, 1997).

2.5 SITUAÇÕES DE PROJETO

Os elementos da estrutura de cobertura estão sujeitos a uma série de esforços dependendo de suas situações de projeto. A NBR 7190 (ABNT, 1997) trata das verificações necessárias para cada tipo de esforço solicitante.

A Tabela 2 retrata os principais tipos de esforços solicitantes e o item correspondente da norma com as verificações necessárias.

ESFORÇO	ITEM
Tração	7.3.1
Compressão	7.3.2
Flexão simples reta	7.3.3
Flexão simples oblíqua	7.3.4
Fexotração	7.3.5
Flexocompressão	7.3.6
Cizalhamento	7.4.1

Tabela 2 - Esforços e item da norma
Autor: Aatoria própria

As peças sujeitas a compressão simples também devem passar pelos critérios de estabilidade, descritos no item 7.5 da norma.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem por objetivo a comparação de quantidades de usos de matérias para diversas soluções de estrutura de telhado, ou seja tem abordagem quantitativa, pois utiliza-se de informações numéricas para fazer o comparativo.

Além disso, segundo a classificação de Gil (1994), a pesquisa tem como objetivo ser exploratória, pois pode oferecer um quadro de referência para futuras aplicações.

E de acordo com os procedimentos utilizados ela se enquadra em sua parte inicial como pesquisa bibliográfica, por requerer a consulta de materiais existentes para formar a base de conhecimento necessária na elaboração do trabalho.

3.1 DEFINIÇÕES INICIAIS

Da revisão bibliográfica foi possível constatar que a madeira é um material com grande potencial para aplicação estrutural. Mas o uso de forma irracional e a precariedade na cadeia produtiva fazem com que o usuário a evite e adote outras soluções. E na maioria dos casos restrinja o uso estrutural da madeira para sustentação da cobertura, sem a preocupação com projetos e otimização de custos da mesma.

Este preconceito se agrava para com espécies provenientes de floresta plantada. O material necessita de correto manejo e passar por processos de secagem afim de atingir valores de resistência consideráveis, a qual não é a realidade dos materiais comumente comercializados.

Desta forma a hipótese do trabalho foi, que a adoção do correto arranjo de tesoura, de acordo com cada vão, pode influenciar significativamente no custo da estrutura de cobertura. Além de firmar que madeiras provenientes de floresta plantada podem apresentar seções possíveis de serem praticadas, quando compõe elementos de importante função na resistência aos esforços solicitantes.

A distribuição dos esforços atuantes em cada elemento da tesoura, foi obtida por meio do *software* Ftool© e as rotinas de cálculo de dimensionamento palmilhadas no *software* Microsoft Excel®.

Vale ressaltar que como o foco do estudo são as tesouras, os demais elementos da estrutura de cobertura foram considerados de acordo com Bortoli (2016).

Servindo como base para os cálculos, foi adotada uma edificação comercial com telhado de duas águas, no centro de Pato Branco, formato retangular com 30 metros de comprimento e três larguras distintas: 15, 20 e 25 metros, que serão os vãos a serem vencidos pelas tesouras. Estes vãos foram estabelecidos seguindo as hipóteses de Sedano (2006), buscando aproveitar os potenciais das tesouras Howe, Fink e Pratt.

3.1.1 Materiais utilizados

Como a proposta do trabalho é utilizar uma espécie de madeira proveniente de floresta plantada, foi adotado para o dimensionamento das tesouras o Pinus, nome científico *Pinnus Elliotti* devido a sua grande abundância na região do estudo.

A cobertura adotada foi a telha cerâmica do tipo “Colonial Paulista”, com o peso de 65 Kgf/m² (MOLITERNO, 2010).

3.1.1.1 Propriedades da madeira adotada

Os valores característicos da espécie, necessários para o dimensionamento, foram fornecidos pelo anexo E da NBR 7190 (ABNT, 1997). Sendo a densidade aparente 560 kgf/m³, a resistência a compressão paralela as fibras 40,4 Mpa, a resistência a tração paralela as fibras 66 Mpa e o módulo de elasticidade longitudinal de compressão paralela as fibras 11.889 MPa.

Estes valores receberam dois coeficientes de modificação distintos, o primeiro supondo o tipo de madeira comumente comercializado, sem classificação mecânica e visual, sem a secagem adequada e o segundo caso para a madeira que recebeu todos os tratamentos adequados, se enquadrando no caso mais favorável para o coeficiente de modificação.

O primeiro caso receberá $K_{mod,2}$ e $K_{mod,3}$ de 0,8. Considerando classe de umidade (4) e madeira de segunda categoria.

O segundo caso receberá $K_{mod,2}$ e $K_{mod,3}$ de 1,0. Considerando classe de umidade (1) e madeira de primeira categoria.

Por se tratar de carregamento de classe permanente, ambos os casos terão $K_{mod,1}$ igual a 0,6.

3.1.1.2 Vãos e Seções Transversais dos demais elementos

Os elementos da trama secundária e as terças, foram considerados segundo Bortoli (2016). A hipótese usada é de uma estrutura de cobertura com telhas cerâmicas e 35% de inclinação. As ripas tem a dimensão de 5x2,5 cm e 32 cm de espaçamento, os caibros tem a dimensão de 5x6 cm e 50 cm de espaçamento, as terças tem 10x20 cm e espaçamento em torno de 1,50 m, as tesouras espaçadas entre si por 2,75 m e como hipótese inicial a seção de suas peças de 10x20 cm.

Vale ressaltar que na hipótese de Bortoli (2016) os caibros e terças foram considerados nas espécie de madeira *Angelim-Pedra*, com densidade aparente de 1190 kgf/m³ e as ripas em *Pinnus Ellioti*, esses dados influenciaram diretamente no carregamento que as tesouras receberão.

3.1.2 Carga do vento

A pressão dinâmica do vento (q) é determinada pela NBR 6123 (ABNT, 1988). A determinação do seu valor depende da velocidade básica do vento (V_0), fator topográfico do terreno (S_1), rugosidade (S_2) e vida útil da edificação (S_3).

A velocidade básica do vento para a região de Pato Branco é de aproximadamente $V_0 = 45$ m/s, segundo gráfico das isopleias na norma em questão.

Foi considerado que a edificação fica em terreno plano $S_1 = 1,0$ e alto fator de ocupação $S_3 = 1,0$.

O fator de S_2 é influenciado pela rugosidade do terreno e as dimensões da estrutura. A rugosidade do terreno foi considerada como Categoria IV, terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona urbanizada. A dimensão da estrutura depende da direção analisada.

O comprimento de 30 metros, onde o vento atinge a estrutura a 90°, classifica-se como categoria B, entre 20 e 50 metros. Na largura, onde o vento atinge a estrutura a 0°, o vão de 25 metros está na categoria B e os vãos de 15 e 20 metros na categoria A, até 20 metros.

Definidos estes parâmetros é possível calcular a velocidade característica do vento, de acordo com a equação abaixo.

$$V_K = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

E com isso é possível calcular a pressão dinâmica do vento.

$$q = 0,613 \times V_K^2$$

Vão	V ₀	S ₁	S ₂ - 0°	S ₂ - 90°	S ₃	q - 0° (kgf/m ²)	q - 90° (kgf/m ²)
15	45	1,0	0,798	0,768	1,0	79,10	73,26
20		1,0	0,809	0,779	1,0	81,30	75,39
25		1,0	0,793	0,793	1,0	78,04	78,04

Tabela 3 - Pressão dinâmica do vento

Fonte: Autoria própria

3.1.3 Carga de manutenção

Segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980), elementos isolados de cobertura devem ser projetados para receber na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 100 kgf. Este carregamento será considerado no nó central da tesoura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o dimensionamento das peças, as tesouras foram divididas em 4 elementos: banzos superiores, banzos inferiores, diagonais e montantes, de forma a criar agrupamentos que facilitem a realização dos cálculos. O esquema estrutural das tesouras, pode ser visto na Figura 17.

Analisando do ponto de vista estético, a variação das seções entres os elementos da tesoura, não seria correta. Porém, como o trabalho busca a comparação do desempenho estrutural, cada elemento foi dimensionado separadamente, adotando seções independentes.

De forma que a comparação fique ainda mais fiel, os elementos foram analisados e todos os dados que dependem de um pré-dimensionamento das peças, foram obtidos usando seções com dimensões comerciais. Após a realização de todas as verificações, foi obtida uma seção mínima de cada elemento, que resista aos esforços solicitantes. Esses valores de seções, denominadas no trabalho “área teórica”, foram as usadas nos comparativos e não obedecem seções comerciais.

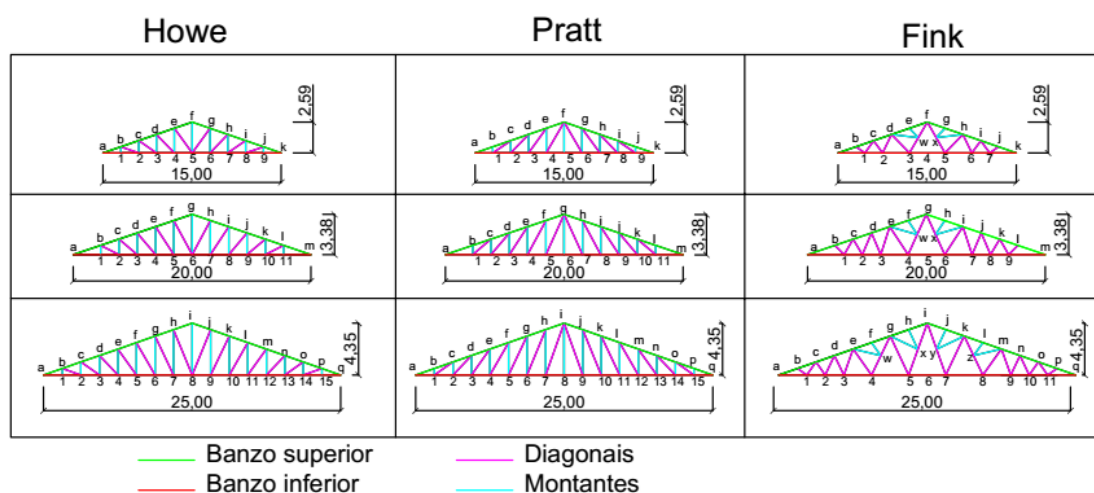


Figura 17 – Esquema estrutural Tesouras
Fonte: Autoria própria

Os esforços encontrados em cada elemento, são resultantes das combinações da ações que a cobertura está submetida. No estudo foram consideradas cargas permanentes e variáveis.

Os esforços permanentes considerados foram: o peso próprio dos elementos apoiados nas tesouras (telhas, ripas, caibros e terças) na forma de

cargas pontuais descarregadas nos nós e o peso próprio dos elementos da tesoura (de acordo com a seção pré-dimensionada) na forma de carga distribuída em todos os elementos. Os esforços variáveis considerados foram: cargas de vento e de manutenção.

Para cada tesoura em cada vão foram montados 5 modelos estruturais: 3 para cargas de vento, 1 para carga de manutenção e 1 para cargas permanentes, totalizando 45 modelamentos. Nas Figuras 18, 19 e 20 podem ser vistos alguns exemplos dos modelamentos das estruturas realizados no *software* Ftool©, que fornece os esforços axiais por elemento da estrutura.

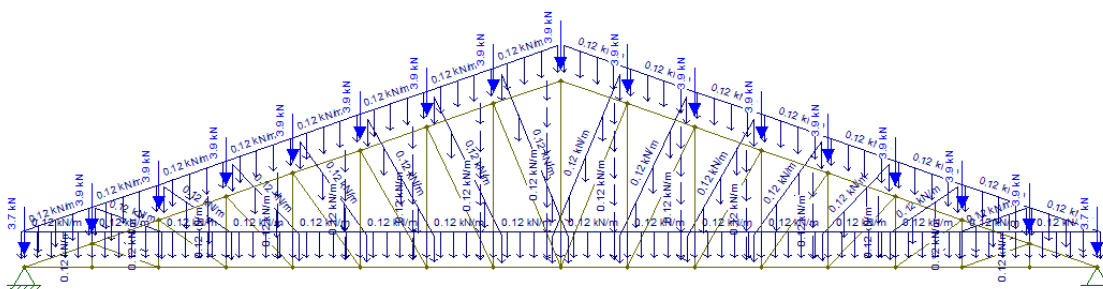


Figura 18 - Modelamento de tesoura tipo Howe, para vão de 25 metros e cargas permanentes
Fonte: Autoria própria.

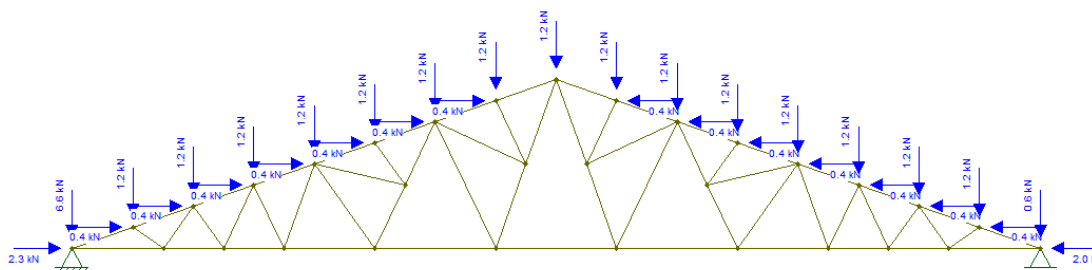


Figura 19 - Modelamento de tesoura tipo Fink, para vão de 25 metros e cargas variáveis de vento
Fonte: Autoria própria.

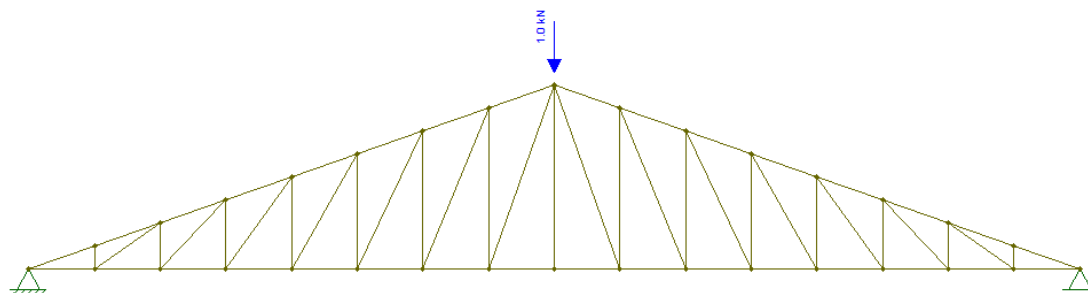


Figura 20 - Modelamento de tesoura tipo Pratt, para vão de 25 metros e cargas variáveis de manutenção
Fonte: Autoria própria.

Para a análise dos elementos, os banzos, tanto superior quanto inferior, foram considerados sólidos até a metade do vão e os montantes e diagonais, como peças sólidas indo de um banzo a outro. Com exceção dos montantes das tesouras tipo Fink, que seguem do nó da tesoura até o centro da diagonal.

Das modelagens foram obtidos os esforços para cada elemento da tesoura. Os esforços atuantes em cada elemento foram combinados, de acordo com o item 5.7 da NBR 7190 (ABNT, 1997). Vale ressaltar que as cargas de vento e manutenção não foram consideradas concomitantes, devido à baixa probabilidade de ocorrerem em conjunto.

As cargas variáveis foram multiplicadas por 0,75 na combinação, seguindo a recomendação da norma para carregamentos variáveis de curta duração e as permanentes como carregamentos de grande variabilidade, usando os coeficientes da Tabela 4, da NBR 7190 (ABNT, 1997), de forma a contemplar as considerações de madeira verde e seca a 12%. O resultado das combinações pode ser visto nas tabelas 4, 5 e 6.

As verificações seguiram as recomendações dos itens da NBR 7190 (1997). O banzo inferior foi verificado para tração simples (item 7.3,1), o superior para compressão simples (7.3.2), os montantes e diagonais para ambas as situações. Os elementos sujeitos a compressão simples também tiveram que passar pelo critério de estabilidade, item 7.5 da norma.

		Compressão (kN)	Tração (kN)		
VÃO 15 METROS	Howe	Banzo Superior	-	85,76	-
		Banzo Inferior	-	-	79,55
		Diagonal	-	16,01	-
		Montante	-	2,99	27,83
	Pratt	Banzo Superior	-	85,76	-
		Banzo Inferior	-	-	81,57
		Diagonal	-	0,39	18,66
		Montante	-	15,45	-
	Fink	Banzo Superior	-	87,50	-
		Banzo Inferior	-	-	81,80
		Diagonal	-	15,45	17,06
		Montante	-	4,32	0,99

Tabela 4 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 15 metros

Fonte: Autoria própria.

		Compressão (kN)		Tração (kN)	
VÃO 20 METROS	Howe	Banzo Superior	123,66	-	
		Banzo Inferior	-	120,48	
		Diagonal	-	19,45	-
		Montante	-	2,57	35,15
	Pratt	Banzo Superior	-	125,11	-
		Banzo Inferior	-	-	118,48
		Diagonal	-	-	22,44
		Montante	-	19,17	-
	Fink	Banzo Superior	-	124,82	-
		Banzo Inferior	-	-	119,22
		Diagonal	-	19,03	19,87
		Montante	-	3,30	-

Tabela 5 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 20 metros
Fonte: Autoria própria.

		Compressão (kN)		Tração (kN)	
VÃO 25 METROS	Howe	Banzo Superior	-	146,04	-
		Banzo Inferior	-	-	136,72
		Diagonal	-	23,71	-
		Montante	-	4,42	46,97
	Pratt	Banzo Superior	-	145,49	-
		Banzo Inferior	-	-	139,97
		Diagonal	-	5,81	27,71
		Montante	-	25,00	2,41
	Fink	Banzo Superior	-	142,52	-
		Banzo Inferior	-	-	137,10
		Diagonal	-	24,93	27,81
		Montante	-	3,74	0,83

Tabela 6 - Esforços solicitantes (valores extremos encontrados) para vão de 25 metros
Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo das tensões resistentes, foram usados dois valores distintos de coeficiente de modificação. O primeiro considerando a madeira comumente comercializada, sem classificação visual-mecânica e “verde” (denominada madeira verde – não selecionada) e o segundo considerando a madeira selecionada e com teor de umidade de 12% (denominado madeira seca

- selecionada). O caso 1 teve seu Kmod igual a 0,384 e o caso 2 seu Kmod igual a 0,6. Desta forma obtendo seções de peças distintas para cada caso.

Inicialmente foram adotadas seções com dimensões comerciais nas verificações. Porém isto limita as possibilidades de seções e empobrece as comparações. Desta forma os elementos foram dimensionados para uma área teórica.

A área teórica é a área mínima, que resiste as solicitações de tração, compressão e atende aos critérios de estabilidade, respeitando os limites de esbeltes e atendendo as condições (conforme o caso).

Para a obtenção desta área mínima, as verificações de norma foram planilhadas, de forma que ficasse dinâmica, no *software* Microsoft Excel®, e obtidas pelo recurso “Atingir meta”. Este recurso, do próprio programa, testa a hipótese, de forma iterativa, até atingir o estabelecido. A condição foi, atingir a seção em que a tensão resistente se iguale a tensão solicitante. As áreas teóricas por elementos, podem ser vistas nas tabelas 7, 8 e 9.

VÃO 15 METROS		MADEIRA VERDE – NÃO SELECIONADA	MADEIRA SECA - SELECIONADA
		Área teórica (cm ²)	Área teórica (cm ²)
HOWE	Banzo Superior	442,49	314,13
	Banzo Inferior	80,71	51,66
	Diagonal	106,33	93,84
	Montante	62,11	55,78
PRATT	Banzo Superior	442,53	418,31
	Banzo Inferior	82,76	52,97
	Diagonal	54,74	54,74
	Montante	133,75	92,90
FINK	Banzo Superior	447,05	422,50
	Banzo Inferior	83,00	53,12
	Diagonal	133,75	92,90
	Montante	73,11	64,52

Tabela 7 - Áreas teóricas por elemento para vão de 15 metros
Fonte: Autoria própria.

VÃO 20 METROS		MADEIRA VERDE – NÃO SELECIONADA	MADEIRA SECA - SELECIONADA
		Área teórica (cm ²)	Área teórica (cm ²)
HOWE	Banzo Superior	682,74	574,84
	Banzo Inferior	122,24	78,23
	Diagonal	119,02	89,74
	Montante	68,98	69,95
PRATT	Banzo Superior	682,74	574,84
	Banzo Inferior	120,21	76,93
	Diagonal	22,77	14,57
	Montante	125,31	92,63
FINK	Banzo Superior	682,74	574,84
	Banzo Inferior	120,96	77,42
	Diagonal	132,92	97,47
	Montante	67,74	34,97

Tabela 8 - Áreas teóricas por elemento vão de 20 metros
Fonte: Autoria própria.

VÃO 25 METROS		MADEIRA VERDE – NÃO SELECIONADA	MADEIRA SECA - SELECIONADA
		Área teórica (cm ²)	Área teórica (cm ²)
HOWE	Banzo Superior	786,25	589,69
	Banzo Inferior	138,71	88,78
	Diagonal	152,84	113,97
	Montante	115,85	115,85
PRATT	Banzo Superior	786,25	589,69
	Banzo Inferior	142,01	90,89
	Diagonal	130,75	130,75
	Montante	161,49	120,76
FINK	Banzo Superior	769,87	589,69
	Banzo Inferior	139,11	89,03
	Diagonal	168,28	130,68
	Montante	51,10	40,75

Tabela 9 - Áreas teóricas por elemento vão de 25 metros
Fonte: Autoria própria.

Obtidas as áreas teóricas de cada elemento, para os casos 1 e 2, foi calculado o volume das peças e obtido o volume total de cada tesoura para cada seção, conforme as tabelas 10, 11 e 12. As tabelas também mostram as diferenças de volumes entre o caso 1 e 2, em volume e percentualmente.

VÃO DE 15 M

	Madeira verde – não selecionada	Madeira seca - selecionada	Diferença (m3)	%
	Volume teórico (m3)	Volume teórico (m3)		
HOWE	1,08	0,91	0,16	15%
PRATT	1,16	1,02	0,14	12%
FINK	1,16	0,99	0,17	15%

Tabela 10 - Volume das tesouras vão 15 metros
Fonte: Autoria própria.

VÃO DE 20 M

	Madeira verde – não selecionada	Madeira seca - selecionada	Diferença (m3)	%
	Volume teórico (m3)	Volume teórico (m3)		
HOWE	2,12	1,74	0,38	18%
PRATT	2,02	1,61	0,41	20%
FINK	2,19	1,73	0,46	21%

Tabela 11 - Volume das tesouras vão 20 metros
Fonte: Autoria própria.

VÃO DE 25 M

	Madeira verde – não selecionada	Madeira seca - selecionada	Diferença (m3)	%
	Volume teórico (m3)	Volume teórico (m3)		
HOWE	3,41	2,25	1,17	24%
PRATT	3,58	2,45	1,14	22%
FINK	3,28	2,13	1,15	24%

Tabela 12 - Volume das tesouras vão 25 metros
Fonte: Autoria própria.

Podemos verificar nas tabelas que para todos os vãos estudados, o caso 2 se mostra mais econômico para todas as tesouras. Representando diferenças de 12 a 24% no volume de material.

As tesouras que apresentarem o menor volume de material para os vãos de 15, 20 e 25 metros foram Howe, Pratt e Fink respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Das hipóteses iniciais do trabalho, foi possível comprovar a redução significativa do consumo de material, em estruturas de cobertura de madeira, se usados elementos proveniente de um processo bem estruturado, com a correta secagem e seleção. Sendo este um fator a ser considerado no momento de optar por um material da mesma espécie, com custo por metro cúbico mais elevado.

Além de que, a madeira seca - selecionada apresentar muito mais confiabilidade, devido ao usuário saber exatamente qual espécie estará adquirindo, e que seus índices de resistência estejam próximos aos referenciados pela norma, devido ao teor de umidade e a condição das peças.

Também foi possível perceber significativas diferenças dependendo do arranjo de tesoura adotado. Para o vão de 15 metros a tesoura do tipo Howe se demonstrou mais econômica, chegando a 11% de diminuição do volume de material utilizado em relação aos demais tipos de tesoura. Para o vão de 20 metros a tesoura do tipo Pratt, apresentou um consumo 8% menor as demais e para 25 metros a tesoura do tipo Fink apresentou 11% de economia de material em relação as demais. Nota-se da elaboração dos projetos estruturais, supervisionados por um técnico, que pode propor o correto arranjo para cada situação, buscando segurança estrutural e economia.

Os cálculos confirmaram a hipótese inicial de Sedano (2016), onde o autor disse que, os arranjos mais indicados para cada vão são as tesouras dos tipos: Howe, Pratt e Fink, respectivamente.

Um fator que não é considerado no trabalho, que também influencia na escolha do arranjo utilizado, é a execução do elemento. Alguns tipos de tesoura apresentam maior complexidade de execução em relação a outras. Isso no modo comum da construção civil artesanal. Se analisado em um cenário da construção civil industrializada com produção em grande escala, como é o caso de algumas empresas que trabalham com *wood frame*, a dificuldade da produção dos elementos se torna desprezível.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

De forma a trazer ainda mais precisão ao dimensionado, cabe uma análise detalhada das ligações dos elementos, explorando os diversos tipos de ligações citados na fundamentação teórica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Filipe A. L. **A madeira como material estrutural** – Projeto da estrutura da cobertura de um edifício. Porto: FEUP, 2012

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF** – ano base 2009. Brasília, 2010.

AZAMBUJA, Eduardo; MATTOS, Antonio P. **Estruturas De Madeira**. Notas De Aula. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2.ed. São Paulo, Blücher, 1977.

BORTOLI, Camila A. **Estudo comparativo de tesouras em madeira para coberturas variando-se o vão e o tipo de telha**. Pato Branco: UTFPR, 2016.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 1.ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.

CLARO, Anderson. **Estruturas de Madeira**: Notas de Aula. Florianópolis: UFSC, 2013.

DIAS, Fabricio M.; LAHR, Francisco A. R. **Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente**. São Carlos: USP, 2004.

EIDT, Arthur K.; MERLIN, Rodrigo B. R.; CAPELLAZI, Romão. **Obtenção do valor do módulo de elasticidade da madeira por meio de ensaios expeditos**. Trabalho de conclusão de curso. Curitiba: UTFPR, 2014.

GESUALDO, Francisco. A. R. **Estruturas de madeira**. Notas de aula. Uberlândia: UFU, 2003.

GIL, Antônio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1994.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Sinduscon, 2009.

MEIRELLES, Célia R. M.; DINIS, Henrique; SEGALL, Mario L.; SANT'ANA, Silvio S. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais**. São Paulo: Mackenzie, 2007.

MELO, Julio E. **Sistemas estruturais em madeira**. Notas de Aula. Brasília: UNB, 2013.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira**: 4ª edição revista. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2010.

HILGENBERG NETO, M. F. **Estruturas De Madeira**: Notas de aula. Curitiba: UFPR, 2009.

PFEIL, Walter. **Estruturas de madeira**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

REMADE – Revista da madeira. **Madeira de Eucalipto na Construção Civil**. Ed. 59. Caxias do Sul, RS, set. 2001.

RODRIGUES, Edmundo. **Técnica das Construções**. Seropédica: UFRRJ, 2006.

SCHETTINO, S. **Tendências do mercado de madeira - Estado do Paraná**. Irati: Unicentro, 2008.

SEAB - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Mapeamento dos plantios florestais do estado do paraná – *Pinus* e *Eucalyptus***. Curitiba, 2015.

SEDANO, Luís H. A. **Comparativo entre tesouras simples e duplas**. Itatiba: USF, 2006.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do brasil em resumo**. Ministério do meio ambiente, 2013.

SILIPRANDI, Elizângela M. **Análise do modelo de disruptura no desenvolvimento de inovao em empresas incubadas**: caso do programa de incubo de empresas de Pato Branco-PR. Florianópolis: UFSC, 2006.

SZUCS, Carlos A.; TEREZO, Rodrigo F.; VALLE, Angela do; MORAES; Poliana D. de. **Estruturas De Madeira**. Florianópolis: UFSC, 2015.

WWF-BR. **Aquisio responsável de madeira na construo civil – guia prático para as construtoras**. São Paulo: Sinduscon, 2011.

WWF-BR. **O que  certificao florestal?** Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/certificacao_florestal/>. Acesso em: 12 mar. 2017.