



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL

YAN LUCAS LIMA FEITOSA MARINHO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE MADEIRA DA AMAZÔNIA E DE
MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA ESTRUTURAS DE COBERTURA EM
EDIFICAÇÕES**

FORTALEZA

2016

YAN LUCAS LIMA FEITOSA MARINHO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE MADEIRA DA AMAZÔNIA E DE
MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA ESTRUTURAS DE COBERTURA EM
EDIFICAÇÕES

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alexandre Araújo Bertini, D.Sc.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M291a Marinho, Yan Lucas Lima Feitosa.
Análise comparativa entre o uso de madeira da Amazônia e de madeira de floresta plantada para estruturas de cobertura em edificações / Yan Lucas Lima Feitosa Marinho. – 2016.
88 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.
1. Madeira. 2. Construção Civil. 3. Custo Financeiro. 4. Impacto Ambiental. 5. Sustentabilidade. I. Título.
CDD 620
-

YAN LUCAS LIMA FEITOSA MARINHO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE MADEIRA DA AMAZÔNIA E DE
MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA ESTRUTURAS DE COBERTURA EM
EDIFICAÇÕES

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alexandre Araújo Bertini, D.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Leonardo Melo Bezerra, D. Sc. (Membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Geórgia Morais Jereissati, M. Sc. (Membro externo)
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família, ao meu avô, Gesineudo, a minha avó, Graça, ao meu pai, Lauro, a minha mãe, Cristina e aos meus irmãos, Ícaro e Isabelle, que estiverem sempre presentes em todos os momentos da minha vida, me apoiando e dando forças para que conquistasse os objetivos traçados durante a graduação. Me senti sempre confiante e seguro de que conseguiria alcançar os meus planos.

Agradeço especialmente a todos que de alguma forma fizeram silêncio durante as incessantes horas de estudo e dedicação atribuídas a minha formação.

Muito obrigado a minha namorada Ana Beatriz, a sua mãe Tereza e a sua avó Terezinha, que compartilharam comigo esse momento, dividindo as angústias e dificuldades para realização deste trabalho, me dando dicas e sempre me motivando.

Agradeço aos meus amigos Bruno, Elias, Felipe Amon, Fernando, Hermano, Lucas Neves, Marcelo e Pedro, que sempre torceram por mim e me apoiaram no decorrer da faculdade, compartilhando conhecimentos, materiais de estudo, alegrias das aprovações nas disciplinas e me dando apoio para realização do meu sonho.

Agradeço ao meu orientador, Alexandre Bertini, por ter me ajudado e me guiado no decorrer desse trabalho e ao Guilherme Stamato que disponibilizou com presteza os projetos que serviram de base para a realização deste estudo.

Aos avaliadores do presente trabalho, Leonardo Melo e Geórgia Morais, pela prontidão com que aceitaram participar da minha banca.

Muito obrigado aos profissionais que tive oportunidade de trabalhar e que contribuíram para a ampliação do meu conhecimento, ao Sandoval, uma excelente pessoa, sempre disposto a me ajudar durante os momentos difíceis da faculdade, ao Kilter, por ter me dado a oportunidade e orientado sobre diversos procedimentos aplicados na engenharia e ao Cristiano, pela força e fé de buscar ser sempre um excelente profissional.

Agradeço a Deus por mais essa conquista e benção.

Enfim, muito obrigado a todos que de alguma forma contribuíram na minha formação, que compartilharam conhecimentos e que torceram junto comigo para a conquista de mais essa etapa da minha vida.

RESUMO

A construção civil é um dos setores da cadeia produtiva que mais consomem recursos naturais no país e entre estes materiais mais utilizados, está a madeira. A madeira é utilizada de diversas formas, em usos temporários, como: fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos. De forma definitiva, é utilizada nas estruturas de cobertura, nas esquadrias (portas e janelas), nos forros e nos pisos. Para extrairmos este material, geralmente, utilizamos duas fontes de matéria-prima: as florestas nativas e as florestas plantadas, que se destinam a produzir matéria-prima para a indústria. Portanto, uma forma de reverter o consumo excessivo de recursos naturais pela construção civil é a incorporação de práticas que garantam maior durabilidade e menor consumo energético, ou seja, escolhendo produtos e processos mais sustentáveis, isto é, o problema que motivou nossa análise foi a extração intensa e descontrolada de madeira da floresta amazônica para abastecimento da indústria da construção civil. Aliado a necessidade de uso de processos alternativos com menor custo e impacto ambiental. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre a utilização de madeira da Amazônia e de madeira de floresta plantada, em relação a custo financeiro e impacto ambiental, para estruturas de cobertura em edificações. Assim, para realizar esta análise em relação a esses dois quesitos, utiliza-se como instrumento de apreciação um projeto de uma estrutura de cobertura de um salão de festas para os dois tipos de materiais, calculado para resistir as mesmas ações. Tal projeto foi disponibilizado pela empresa STAMADE Consultoria em estruturas de madeira. Partindo-se dos quantitativos obtidos, mensurou-se os custos financeiros, como materiais e execução, e ambiental, como emissões de fontes não renováveis em quilograma de gás carbônico por metro cúbico de madeira ($\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$). Salientando que os custos financeiros de cada tipo de madeira foram obtidos com base nos valores trabalhados no mercado interno e o de execução com base na tabela da SEINFRA (Secretária da Infraestrutura do estado do Ceará). Por fim, realizou-se uma análise comparativa entre a utilização de madeira da Amazônia e de madeira de floresta plantada, em relação a custo financeiro e impacto ambiental, para estruturas de cobertura em edificações.

Palavras-chave: Madeira. Construção Civil. Custo Financeiro. Impacto Ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction is one of the sectors of the productive chain that most consume natural resources in the country and among these most used materials is wood. The wood is used in various forms, in temporary uses, such as concrete forms, scaffolding and shoring. It is permanently used in roofing structures, in frames (doors and windows), in ceilings and floors. To extract this material, we generally use two sources of raw material: native forests and planted forests, which are intended to produce raw material for industry. Therefore, one way of reversing the excessive consumption of natural resources by civil construction is the incorporation of practices that guarantee greater durability and lower energy consumption, that is, choosing more sustainable products and processes, that is, the problem that motivated our analysis was the Intense and uncontrolled extraction of wood from the Amazon forest to supply the construction industry. Together with the need to use alternative processes with lower cost and environmental impact. In this way, the present work aims to perform a comparative analysis between the use of Amazonian timber and planted forest wood, in relation to financial cost and environmental impact, for cover structures in buildings. Thus, to perform this analysis in relation to these two requirements, a design of a roofing structure of a party hall for both types of materials, calculated to resist the same actions, is used as an instrument of appreciation. The company STAMADE Consulting in wooden structures made this project available. Based on the quantitative obtained, financial, material and execution costs and environmental costs were measured as non-renewable sources of emissions in kilograms of carbon dioxide per cubic meter of wood ($\text{kg CO}_2 / \text{m}^3$). Emphasizing that the financial costs of each type of wood were obtained based on the values worked in the domestic market and the execution cost based on the table of SEINFRA (Secretary of Infrastructure of the state of Ceará). Finally, a comparative analysis was carried out between the use of wood from the Amazon and planted forest wood, in relation to financial cost and environmental impact, for cover structures in buildings.

Keywords: Wood. The Civil Construction. Financial Cost. Environmental Impact. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cobertura florestal brasileira	20
Figura 2 – Uso da madeira amazônica no estado de São Paulo	21
Figura 3 – Tipos de madeira consumidos pela construção civil	21
Figura 4 – Tipos de madeira usados pela construção civil.....	22
Figura 5 – Consumo brasileiro de madeira de floresta plantada em tora	23
Figura 6 – Principais indicadores econômicos do setor florestal	24
Figura 7 – Principais investimentos em programas sociais	26
Figura 8 – Distribuição da área de plantio de madeira de floresta plantada no Brasil	27
Figura 9 – Área de plantio de madeira de floresta plantada e florestas nativas preservadas	28
Figura 10 – Composição dos três tipos de arseniato de cobre cromatado	32
Figura 11 – Tratamento por pincelamento	33
Figura 12 – Tratamento por pulverização	34
Figura 13 – Representação gráfica do tratamento por capilaridade	35
Figura 14 – Instalação necessária para o tratamento pelo processo Boucherie modificado	37
Figura 15 – Equipamento utilizado no tratamento pelo processo banho quente-frio	39
Figura 16 – Esquema do programa de tratamento pelo processo de duplo-vácuo	40
Figura 17 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Bethell	41
Figura 18 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Lowry	42
Figura 19 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Rueping	43
Figura 20 – Emissão de CO ₂ pelo processo de extração e serragem da madeira	44
Figura 21 – Emissão de CO ₂ por tonelada de madeira (tora)	45
Figura 22 – Esquema de emissão de CO ₂ no processo de produção de madeira plantada	46

Figura 23 – Esquema de emissão de CO ₂ no processo de produção de madeira amazônica	47
Figura 24. – Designações do subsistema de telhados	48
Figura 25 – Fluxograma de telhado	49
Figura 26 – Tesoura e trama	51
Figura 27 – Treliças para cobertura	51
Figura 28 – Emenda de terça no sentido do momento fletor	52
Figura 29 – Exemplo de um esquema geral	54
Figura 30 – Seções utilizadas nas tesouras	56
Figura 31 – Fluxograma do processo metodológico	60
Figura 32 – Detalhe das treliças do projeto tradicional.....	63
Figura 33 – Localização das treliças e terças no projeto tradicional	64
Figura 34 – Locação dos caibros na estrutura do projeto tradicional	65
Figura 35 – Detalhe das treliças do tipo TA-01 a TA-05D do projeto industrializado	66
Figura 36 – Detalhe das treliças do tipo EA-01 do projeto industrializado	67
Figura 37 – Localização das treliças no projeto industrializado	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo em relação aos valores mínimos	77
Gráfico 2 – Comparativo em relação aos valores médios	78
Gráfico 3 – Comparativo em relação aos valores máximos	78
Gráfico 4 – Comparativo em relação a emissão de fontes não renováveis	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Quantitativo de madeira para o projeto tradicional	68
Tabela 2	–	Quantitativo de madeira para o projeto industrializado	69
Tabela 3	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira A (Tradicional) ...	72
Tabela 4	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira B (Tradicional) ...	73
Tabela 5	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira C (Tradicional) ...	74
Tabela 6	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira A (Industrializado)	75
Tabela 7	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira B (Industrializado)	75
Tabela 8	–	Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira C (Industrializado)	76
Tabela 9	–	Custo total para o projeto tradicional	76
Tabela 10	–	Custo total para o projeto industrializado	77
Tabela 11	–	Comparativo dos valores obtidos para cada insumo	77
Tabela 12	–	Volume de madeira utilizada no projeto tradicional	79
Tabela 13	–	Volume de madeira utilizada no projeto industrializado	79
Tabela 14	–	Emissão de CO ₂ por sistema construtivo	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SEINFRA	Secretária da Infraestrutura do Estado do Ceará
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
Kg CO ₂ / m ²	Quilograma de Gás Carbônico por Metro Quadrado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
CO ₂	Gás Carbônico
ACA	Arsênio e Cromo em solução Amoníaca
CCA	Cobre, Cromo e Arsênio
CCB	Cobre, Cromo e Boro
VI	Vácuo Inicial
VF	Vácuo Final
UFC	Universidade Federal do Ceará
DOF	Documento de Origem Florestal
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
CER	<i>Certificate Emission Reduction</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Considerações iniciais	16
1.2	Problema motivador	17
1.3	Questões motivadoras	17
1.4	Objetivos	18
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
1.5	Estrutura do trabalho	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Uso da madeira na construção civil	20
2.2	Madeira de floresta plantada	23
<i>2.2.1</i>	<i>Viabilidade econômica</i>	<i>23</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Viabilidade social</i>	<i>25</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Viabilidade ambiental</i>	<i>26</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Viabilidade técnica</i>	<i>28</i>
2.3	Tratamento da madeira	30
<i>2.3.1</i>	<i>Preservativos</i>	<i>30</i>
<i>2.3.1.1</i>	<i>Oleosos</i>	<i>30</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Oleossolúveis</i>	<i>30</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Hidrossolúveis</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.3.1</i>	<i>Arseniato de cobre amoniacal</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.3.2</i>	<i>Arseniato de cobre cromatado</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.3.3</i>	<i>Boratos de cobre cromatado</i>	<i>32</i>
<i>2.3.1.3.4</i>	<i>Outros compostos de boro: bórax e ácido bórico</i>	<i>32</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Métodos de tratamento simples ou de baixo custo</i>	<i>32</i>
<i>2.3.2.1</i>	<i>Tratamento por pincelamento</i>	<i>33</i>
<i>2.3.2.2</i>	<i>Tratamento por pulverização</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.3</i>	<i>Método de tratamento por substituição da seiva</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.3.1</i>	<i>Tratamento por capilaridade ou transpiração radial</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.3.2</i>	<i>Boucherie modificado</i>	<i>36</i>
<i>2.3.2.4</i>	<i>Tratamento por difusão</i>	<i>37</i>

2.3.2.5	<i>Banho quente-frio</i>	38
2.3.3	<i>Tratamento em autoclave</i>	39
2.3.3.1	<i>Processo Gewecke</i>	40
2.3.3.2	<i>Processo duplo-vácuo</i>	40
2.3.3.3	<i>Processo Bethell</i>	41
2.3.3.4	<i>Processo Lowry</i>	41
2.3.3.5	<i>Processo Rueping</i>	42
2.4	Emissão de gás carbônico	43
2.5	Coberturas	47
2.5.1	<i>Definições</i>	47
2.5.2	<i>Estrutura de madeira</i>	50
2.5.2.1	<i>Tesouras</i>	50
2.5.2.2	<i>Terças</i>	52
2.5.2.3	<i>Caibros</i>	52
2.5.2.4	<i>Ripas</i>	53
2.6	Projetos	53
2.6.1	<i>Definir o esquema geral</i>	53
2.6.2	<i>Definir os carregamentos</i>	54
2.6.3	<i>Definir os esforços nas barras</i>	55
2.6.4	<i>Definir as seções da barra da tesoura</i>	56
2.6.5	<i>Verificação da flecha</i>	57
2.6.6	<i>Dimensionamento das ligações</i>	58
2.6.7	<i>Detalhamento final</i>	58
3	METODOLOGIA	60
3.1	Revisão sobre projetos	60
3.2	Formas de tratamento da madeira	61
3.3	Análise do projeto	61
4	ESTUDO DE CASO	62
4.1	Projeto tradicional	62
4.1.1	<i>Premissas do projeto tradicional</i>	62
4.1.2	<i>Localização das treliças e terças no projeto tradicional</i>	63
4.1.3	<i>Localização dos caibros e ripas no projeto tradicional</i>	64
4.2	Projeto industrializado	65

4.2.1	<i>Premissas do projeto industrializado</i>	65
4.2.2	<i>Localização dos elementos do projeto industrializado</i>	66
4.3	Obtenção dos dados e tratamento inicial	68
4.4	Custos financeiros	69
4.4.1	<i>Obtenção dos custos</i>	69
4.4.2	<i>Análise dos custos financeiros</i>	70
4.5	Emissão de fontes não renováveis	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
5.1	Custo financeiro	71
5.1.1	<i>Projeto tradicional</i>	71
5.1.1.1	<i>Custo de execução da estrutura do sistema tradicional</i>	71
5.1.1.2	<i>Custo de material do sistema tradicional</i>	72
5.1.1.2.1	Madeira A	72
5.1.1.2.2	Madeira B	73
5.1.1.2.3	Madeira C	74
5.1.2	<i>Projeto industrializado</i>	74
5.1.2.1	<i>Custo de execução da estrutura do sistema industrializado</i>	74
5.1.2.2	<i>Custo de material do sistema industrializado</i>	75
5.1.2.2.1	Madeira A	75
5.1.2.2.2	Madeira B	75
5.1.2.2.3	Madeira C	76
5.1.3	<i>Análise comparativa em relação a custo financeiro</i>	76
5.2	Emissão de gás carbônico dos projetos	79
5.2.1	<i>Projeto tradicional</i>	79
5.2.2	<i>Projeto industrializado</i>	79
5.2.3	<i>Análise comparativa em relação a emissão de gás carbônico</i>	80
6	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS	84
	ANEXO	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A busca excessiva pelo crescimento econômico, a qualquer custo, por parte dos países, resultou no uso exagerado e inconsciente dos recursos ambientais, provocando transtornos gravíssimos para o meio ambiente. O desenvolvimento é necessário, porém, tem-se que respeitar o meio no qual se está inserido, fazendo com que nossas ações sejam viáveis economicamente, mas sem comprometer o futuro das próximas gerações.

Inserido nesse contexto, diversos países adotaram medidas que buscassem o desenvolvimento sustentável, ou seja, obter crescimento econômico, garantindo a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social das comunidades. Portanto, para que ocorra o desenvolvimento sustentável é necessário que haja uma harmonização entre o crescimento econômico, a preservação do meio ambiente, a justiça social, a qualidade de vida e o uso racional dos recursos da natureza.

Procurando o uso racional dos recursos naturais várias alternativas foram desenvolvidas, tais como: reciclagem dos diversos tipos de materiais, tratamento de esgoto, geração de energia por meio de fontes não poluentes e o uso de madeiras oriundas de florestas plantadas na construção civil, o qual é objeto de estudo deste trabalho.

A construção civil é um dos setores da cadeia produtiva que mais consomem recursos naturais no país e entre estes materiais mais utilizados, está a madeira. A madeira é utilizada de diversas formas, em usos temporários, como: fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos. De forma definitiva, é utilizada nas estruturas de cobertura, nas esquadrias (portas e janelas), nos forros e nos pisos.

Para extrairmos este material, geralmente, utilizamos duas fontes de matéria-prima: as florestas nativas, podendo ocorrer o manejo florestal, onde a exploração é planejada e controlada ou por meio da extração inconsciente e desordenada dessas matas, ou seja, através do desmatamento, que gera impactos enormes no meio ambiente. A segunda fonte de obtenção deste item são as florestas plantadas, que se destinam a produzir matéria-prima para a indústria, cuja implantação, manutenção e exploração seguem projetos previamente aprovados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA).

Portanto, uma forma de reverter o consumo excessivo de recursos naturais pela construção civil é a incorporação de práticas que garantam maior durabilidade e menor consumo energético, ou seja, escolhendo produtos e processos mais sustentáveis.

Assim, para realizar uma análise mais precisa da eficiência, da viabilidade econômica e sustentável da madeira oriunda de florestas plantadas em relação a madeira da Amazônia na construção civil, é apresentado como instrumento de apreciação um projeto de uma estrutura de cobertura de um salão de festas para os dois tipos de materiais, calculado para resistir as mesmas ações. Tal projeto foi disponibilizado pela empresa STAMADE, Consultoria em estruturas de madeira.

Desse modo, para realizar esta análise, se tem conhecimento dos quantitativos empregados em cada projeto, a partir daí obter-se-ão os custos financeiros e ambientais gerados na aplicação desse tipo de estrutura. Por fim, ter-se-á um julgamento de qual material é mais viável em relação aos custos financeiros, como materiais empregados e execução do projeto, e impacto ambiental, como emissões de fontes não renováveis em quilograma de gás carbônico por metro cúbico de madeira ($\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$).

1.2 Problema motivador

A extração intensa e descontrolada de madeira da floresta amazônica para abastecimento da indústria da construção civil. Aliado a necessidade de uso de processos alternativos com menor custo e impacto ambiental.

1.3 Questões motivadoras

- a) Qual a importância da madeira para a indústria da construção civil?
- b) Como impacto ambiental é afetado pela substituição de madeira da floresta amazônica pela madeira oriunda de floresta plantada em estruturas de cobertura em edificações?
- c) Qual a durabilidade da madeira de floresta plantada quando utilizada em estruturas de cobertura? Como o tratamento químico pode estender a sua vida útil?
- d) Existe viabilidade econômica de implantação da madeira de floresta plantada?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Tendo conhecimento do assunto apresentado anteriormente, esta monografia tem como objetivo geral realizar uma análise comparativa entre a utilização de madeira da Amazônia e de madeira de floresta plantada, em relação ao custo financeiro e a quantidade em quilograma de gás carbônico emitida, para estruturas de cobertura em edificações, fazendo um estudo de um projeto desenvolvido para os dois tipos de materiais.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre projeto de telhados em estruturas de madeira e sobre a viabilidade da madeira de floresta plantada;
- b) Apresentar as formas de tratamento da madeira que possam estender sua vida útil;
- c) Mensurar os custos financeiros de construção da estrutura de cobertura para madeira da Amazônia e para madeira de floresta plantada dos projetos disponibilizados;
- d) Mensurar a quantidade emitida em quilograma de gás carbônico por metro cúbico de madeira utilizada para cada tipo de projeto, tradicional e industrializado.

1.5 Estrutura do trabalho

Este estudo foi disposto em 6 capítulos, os quais estão descritos abaixo:

Capítulo 1: introduz o tema, realizando as considerações iniciais a respeito da análise a ser realizada, informando o problema motivador, as questões motivadoras, o objetivo geral e os específicos, os quais deverão ser atingidos ao final deste trabalho.

Capítulo 2: neste item apresenta-se uma revisão bibliográfica que traz informações importantes sobre os assuntos tratados neste estudo, como projeto e execução de estruturas de madeira, uso da madeira, madeira de floresta plantada, métodos de tratamento da madeira e impacto ambiental.

Capítulo 3: esse ponto está relacionado aos processos metodológicos implementados nesta análise, incluindo: análise exploratória de dados e levantamento de quantitativos de materiais empregados em cada modelo de projeto.

Capítulo 4: apresenta o estudo de caso, as premissas de projeto, obtenção dos dados e análise.

Capítulo 5: traz os resultados obtidos do estudo e as discussões sobre os mesmos.

Capítulo 6: apresenta os principais pontos que foram concluídos a partir da realização deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso da madeira na construção civil

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007, p. 8) o Brasil apresenta 846 milhões de hectares de cobertura florestal, sendo composto, aproximadamente, de 544 milhões de hectares de florestas nativas e 5,7 milhões com florestas plantadas (Figura 1).

Figura 1 – Cobertura florestal brasileira

<i>Tipo</i>	<i>Área (1.000 ha)</i>	<i>Participação (%)</i>
Nativa	543.905	99,0
Plantada ¹	5.744	1,0
TOTAL	549.649	100,0

¹ Florestas plantadas com pinus, eucalipto e outras espécies.

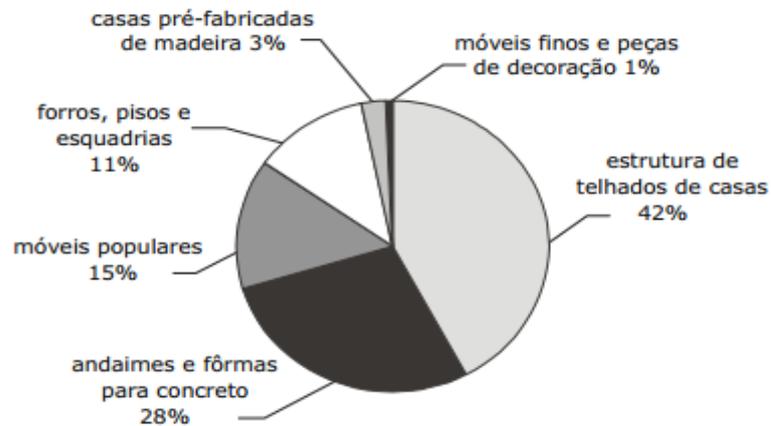
Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013).

De acordo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2004, p. 1):

O setor florestal tem na construção civil o principal mercado para seus produtos, no entanto esta participação está concentrada nos produtos de acabamento, esquadrias, molduras, pisos e estruturas de telhado. No caso de habitações a participação é irrisória quando comparada com países europeus e norte-americanos. Esta limitação é em decorrência da cultura brasileira e do conceito que casas de madeira não são de boa qualidade. Como consequência, observa-se que a madeira não é utilizada pela construção civil como um elemento da engenharia, mas sim como um produto de acabamento.

O consumo da madeira amazônica é representado, principalmente, pela aplicação em estruturas de telhados (42%), e em andaimes e fôrmas para concreto (28%). Esses dados foram obtidos por meio de um estudo de caso para o Estado de São Paulo, o qual corresponde por 20% do consumo deste material (SOBRAL et al., 2002, p. 8), conforme Figura 2 a seguir.

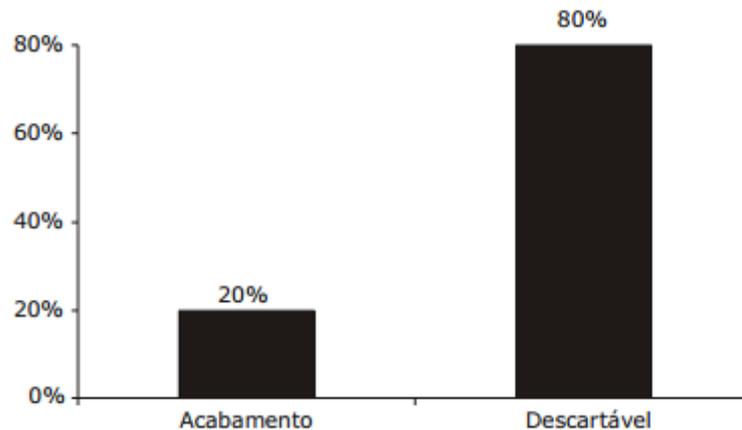
Figura 2 – Uso da madeira amazônica no Estado de São Paulo



Fonte: SOBRAL et al (2002).

Os autores citam ainda que o volume de madeira consumido no estudo de caso, 80% é representado por madeira descartável, ou seja, a madeira empregada para fôrmas e escoramentos, enquanto os 20% restantes eram relacionadas as peças de acabamento, como pisos, forros e esquadrias, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Tipos de madeira consumidos pela construção vertical



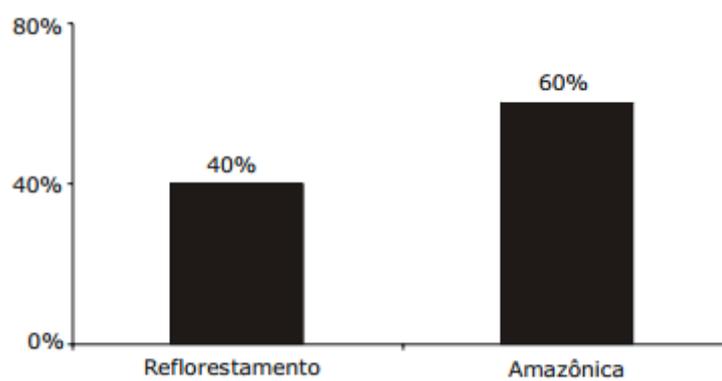
Fonte: SOBRAL et al (2002).

No Brasil, geralmente, a madeira utilizada na construção civil tem origem em florestas tropicais, sendo as espécies nativas pinho-do-paraná e peroba-rosa as mais extraídas. A exploração intensa das florestas, tornando-as mais escassas, vem ocasionando a redução no uso de espécies nativas e a substituição por espécies de floresta plantada, como pinus e

eucalipto (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 12).

Segundo Sobral et al. (2002, p. 52) a madeira da Amazônia representou 60 % da madeira usada na construção civil, e a madeira oriunda de floresta plantada, definida pelo autor como madeira de reflorestamento, somaram 40%. As espécies de madeira de reflorestamento mais utilizadas são, principalmente, pinus e, em menor proporção, eucalipto, conforme Figura 4.

Figura 4 – Tipos de madeira usados pela construção vertical

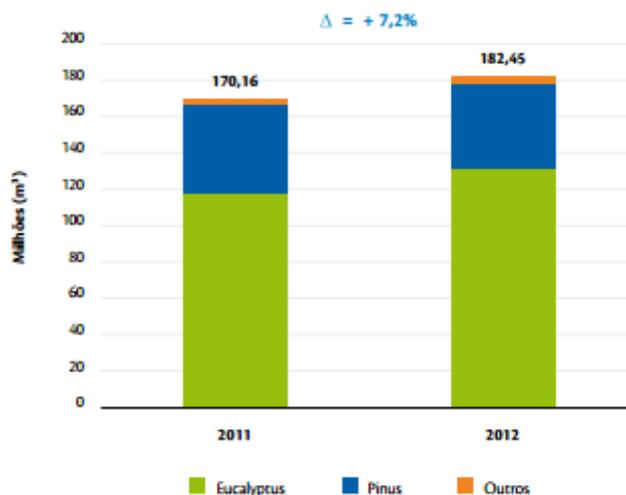


Fonte: SOBRAL et al (2002).

Nos últimos anos, a madeira tratada ganhou mercado nas diversas regiões do Brasil. As principais usinas de preservação da madeira estão distribuídas, principalmente, nas regiões sudeste e sul, onde estão concentradas as maiores áreas reflorestadas do país. Estima-se que a produção atingiu 1,6 milhão de m³. O aumento da procura deve-se ao maior esclarecimento em relação a qualidade do produto e suas diversas aplicabilidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013, p. 66).

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 25) o consumo de madeira em tora de origem de floresta plantada foi de 182,4 milhões de m³, apresentando um crescimento de 7,2% do consumo em relação a 2011, como pode-se visualizar na Figura 5.

Figura 5 – Consumo brasileiro de madeira de floresta plantada em tora



Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013).

2.2 Madeira de floresta plantada

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 110) visando a economia do país e a sociedade como um todo, o setor de florestas contribui com uma parcela significativa da geração de produtos, tributos, empregos e bem-estar. A produção de floresta plantada é caracterizada por ser um investimento de longo prazo com consciência política e planejamento, principalmente, nas práticas de gestão, com o intuito de evitar impactos negativos no meio que está inserido.

2.2.1 Viabilidade econômica

A redução da disponibilidade das espécies tradicionalmente utilizadas, provocando a elevação dos preços de madeiras nativas, associada a pressão ecológica pelo uso de recursos florestais renováveis, as condições climáticas adequadas para o cultivo de espécies, como o pinus e o eucalipto, e a alta produtividade obtida, tornam a atividade de reflorestamento e produção desse tipo de insumo bastante atraente (INO; SHIMBO, 1998, p. 158).

Segundo Oliveira (2003, p. 1), o cultivo comercial de eucalipto, pode-se dividir em custo de produção e custos de comercialização, sendo que esse último pode ser subdividido em custo de corte e custo de transporte. Também o comercial de eucalipto, pode ser subdividido em custo de plantio, envolvendo tudo que se gasta no primeiro ano com a

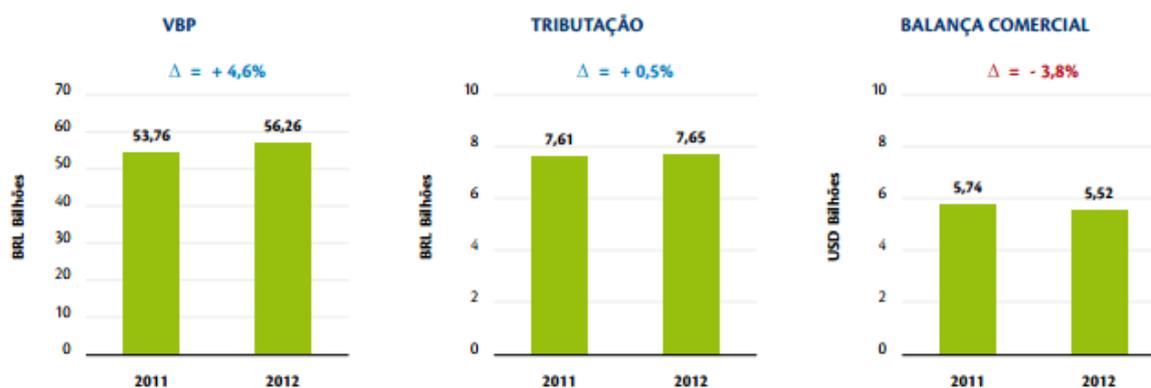
lavoura e custo de manutenção, e no segundo ano até o período que precede a corta dos eucaliptos. O custo médio de plantio é calculado em R\$ 2000,00 por hectare plantado, composto, basicamente, por gastos com mudas, mão-de-obra, adubação, preparo do solo, combate de plantas invasoras, combate de formigas e gastos com insumos. Vale ressaltar que esse custo pode variar dependendo da região, da topografia do terreno, do tipo e da situação do solo e do espaçamento entre as mudas.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007, p. 12) a madeira apresenta as seguintes contribuições econômicas:

- a) Geração de produtos e subprodutos para a indústria da construção civil;
- b) Atração de investimentos;
- c) Recolhimento de impostos;
- d) Geração de exportação;
- e) Valorização da terra.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 23), em 2012, o valor bruto da produção (VBP) totalizou BRL 56,3 bilhões, indicando crescimento de 4,6% em relação ao ano de 2011. Os tributos arrecadados corresponderam a BRL 7,6 bilhões (0,5% da arrecadação nacional). Por fim, o saldo da balança comercial foi de USD 5,5 bilhões, embora 3,8% inferior ao alcançado em 2011, a participação no superávit foi ampliada de 19,1% para 28,1%, como pode-se visualizar na Figura 6.

Figura 6 – Principais indicadores econômicos do setor florestal 2011-2012



Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013).

2.2.2 Viabilidade social

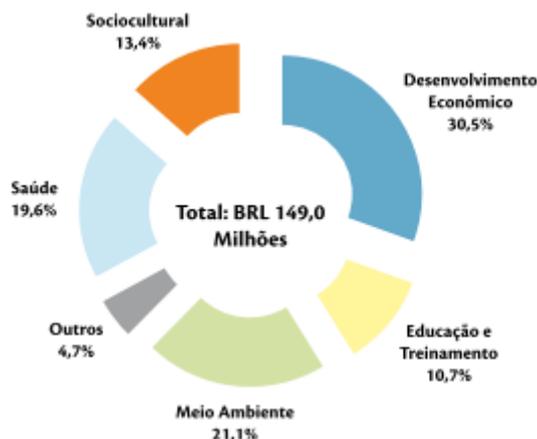
Para a produção de componentes voltados para a construção civil, a madeira, após a derrubada na floresta, passa pelos processos de desdobro, secagem, usinagem, tratamento e pré-fabricação. Com isso, mais valor é agregado, tanto para as empresas envolvidas quanto para o Estado, e mais pessoas são empregadas, contribuindo para a fixação do homem ao campo (DE OLIVEIRA, 1998, p. 179).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007, p. 12) a madeira apresenta as seguintes contribuições sociais:

- a) Geração de empregos;
- b) Educação ambiental;
- c) Manutenção das populações indígenas e de quilombolas nas regiões de origem;
- d) Pesquisa científica;
- e) Aumento de renda de comunidades (manejo florestal);
- f) Elevação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH);
- g) Fixação do homem no campo;
- h) Aumento da produtividade do trabalhador florestal;
- i) Capacitação profissional.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 23), no quesito social, as atividades da cadeia produtiva contribuíram para a geração de 4,4 milhões de empregos e investimento de BRL 149,0 milhões em programas de inclusão social, educação e meio ambiente, atingindo 1,3 milhão de pessoas e, aproximadamente, mil municípios localizados nas regiões das empresas, indicando o setor de base florestal como um forte indutor de desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Tais investimentos estão distribuídos conforme a Figura 7 a seguir.

Figura 7 – Principais investimentos em programas sociais



Fonte: Associadas Individuais da ABRAF (2013).

2.2.3 Viabilidade ambiental

Relacionado ao aspecto ambiental, a madeira de floresta plantada apresenta vantagens sobre a madeira de floresta nativa. Barbosa e Ino (2000, p. 4) realizaram uma análise de três indicadores de sustentabilidade, o consumo de energia, a emissão de CO₂ (gás carbônico) e a produção de resíduos, dentro da cadeia produtiva de habitação em madeira de floresta plantada, dentre os diversos indicadores de sustentabilidade que caracterizam sérios aspectos de degradação ao meio ambiente.

Barbosa e Ino (2000, p. 4) esclareceram a importância de quantificar o consumo de energia nas construções, em geral, somente é considerado o processo básico da produção dos materiais e elementos construtivos, e o uso do empreendimento, porém, é importante analisar a energia embutida nos materiais desde sua extração, transformação em matéria-prima até o componente acabado, uso e demolição. Com a utilização da madeira na construção, economiza-se energia em duas etapas: na formação da matéria-prima, que é realizada por meio da fotossíntese e a outra com o consumo de energia para a usinagem da madeira.

Para Barbosa e Ino (2000, p. 6) pode-se considerar a emissão de gases como CO₂, o principal responsável pelo efeito estufa e pelos gravíssimos acidentes climáticos, para isso, consideramos a sua emissão como indicador de qualidade e de transformação do meio ambiente.

Outro importante indicador que influencia diretamente na classificação dos materiais em relação ao impacto ambiental, é a possibilidade de reuso e reciclagem do

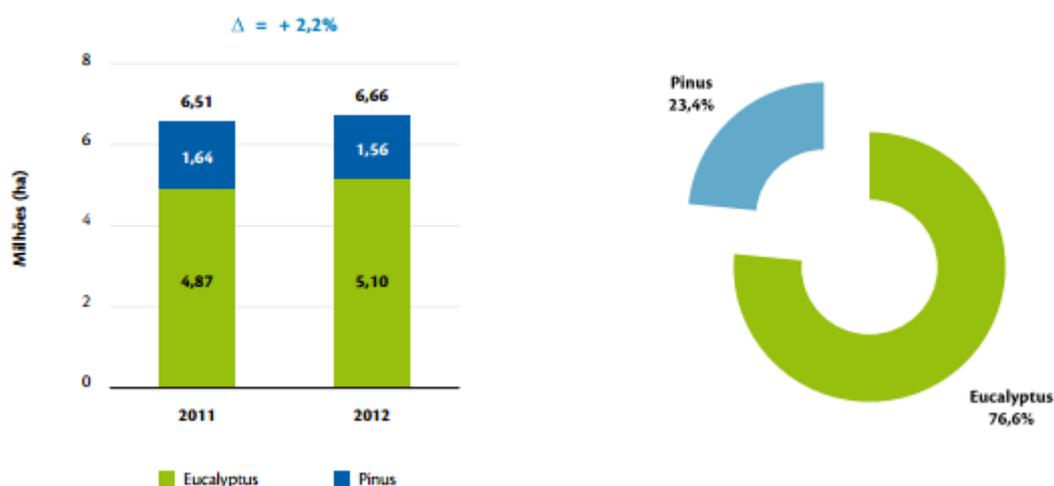
material, no final do processo de produção e em cada etapa da cadeia produtiva, resultando na menor quantidade de resíduos sólidos produzidos (BARBOSA E INO, 2000, p. 7). De Oliveira (1998, p. 241) diz que “Dentre os materiais naturais, como a pedra, areia e argila, por exemplo, a madeira pode ser a única que não agride o meio ambiente na sua extração, especialmente se vier de plantio corretamente manejado.”.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007, p. 12) a madeira apresenta as seguintes contribuições ambientais:

- a) Manutenção do equilíbrio dos ecossistemas;
- b) Fonte de biodiversidade;
- c) Regulação do clima global;
- d) Conservação dos recursos hídricos;
- e) Conservação da fauna e flora;
- f) Redução do desmatamento ilegal;
- g) Manejo sustentável das florestas;
- h) Redução do impacto em relação as florestas nativas por meio das florestas plantadas;
- i) Regularização dos cursos de água.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 23), em 2012, a área plantada de Eucaliptos e Pinus atingiu 6,66 milhões de hectares, apresentando crescimento de 2,2% em relação ao ano de 2011, como ilustrado na Figura 8.

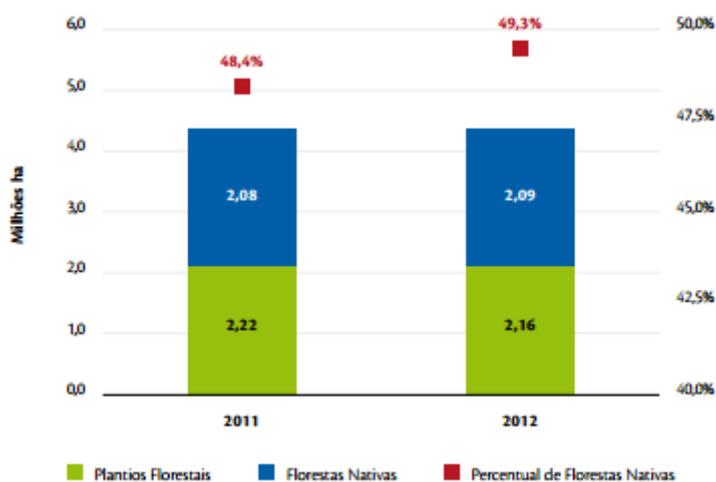
Figura 8 – Distribuição da área de plantio de madeira de floresta plantada no Brasil



Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013).

Além disso, salientando-se que a área de florestas nativas preservadas pelas associadas individuais da ABRAF foi 0,9% superior à do ano anterior, representando um acréscimo de 16,3 mil hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013, p. 25), Figura 9.

Figura 9 – Área de plantio de madeira de floresta plantada e florestas nativas preservadas



Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013).

2.2.4 Viabilidade técnica

A madeira como principal elemento construtivo apresenta baixa aceitabilidade no Brasil, não por questões técnicas, mas culturais, ou seja, devido a sua associação a um produto de baixa qualidade ou de baixa durabilidade, sendo estes um dos fatores que dificultam a sua disseminação (DE OLIVEIRA, 1998, p. 179). Entretanto, a madeira, quando utilizada corretamente, apresenta elevado desempenho técnico, resultando em edificações duráveis, seguras e confortáveis.

Oliveira (2003, p. 120) esclarece que devem-se existir cuidados relacionados a durabilidade da madeira, o tratamento contra insetos xilófagos e fungos é fundamental para este item, neste sentido, a baixa densidade da madeira de Pinus favorece a impregnação de substâncias preservativas. Também Oliveira (2003, p. 120) afirma que para se obter durabilidade em construções de madeira é necessário garantir qualidade no material empregado, no projeto arquitetônico, na execução, no uso e na manutenção da edificação.

O conhecimento de que peças estruturais de madeira proporcionam um considerável grau de resistência ao fogo remonta ao ano de 1800, quando o uso de peças

maciças de madeira assumiu grande importância nas construções, enfrentando severos incêndios e estabelecendo sua capacidade de resistência. Em relação à segurança contra incêndio são necessárias à aplicação de medidas de proteção e prevenção da estrutura, com o intuito de resguardar a vida dos usuários e minimizar os danos a edificação (INO; PINTO, 2001, p. 41).

A prevenção de incêndio envolve diversos fatores, como a escolha e manutenção dos materiais, controle das fontes de calor e iluminação, projetos dimensionados de modo a atender as exigências de segurança e a conscientização dos usuários (INO; PINTO, 2001, p. 46).

Ainda no ponto de vista técnico, Bittencourt (1995, p. 179), apresenta três aspectos peculiares à arquitetura e ao sistema construtivo em madeira. São eles:

- a) A flexibilidade da técnica construtiva em madeira, tanto por possibilitar à construção em vários estilos, quanto por facilitar modificações e ampliações nas edificações;
- b) O rigor construtivo é um dos princípios norteadores do projeto e da execução, já que qualquer erro cometido é ressaltado na integração final do conjunto;
- c) Os detalhes construtivos são responsáveis pela compatibilidade entre os diferentes elementos e componentes dos sistemas construtivos em madeira, devendo ser considerados em todas as etapas de construção, desde o projeto.

A racionalização dos detalhes nas construções em madeira é realizada como meio de se alcançar à economia, especialmente em casos de habitações construídas isoladamente. A racionalização dos detalhes contribui na redução do tempo de construção e também na prevenção do desgaste da madeira, reduzindo custos de manutenção (SZÜCS, 1992, p. 18).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007, p. 12) a madeira apresenta as seguintes contribuições técnicas:

- a) Clima e solo favoráveis;
- b) Setor privado organizado;
- c) Mão de obra qualificada;
- d) Genética;
- e) Biotecnologia
- f) Matéria-prima de boa qualidade;
- g) Planejamento socioambiental;
- h) Manejo florestal;
- i) Rotação de áreas plantadas.

2.3 Tratamento da madeira

Para prevenir a deterioração e promover o prolongamento da vida útil da madeira, deve ser realizado tratamentos do material, comumente, esses tratamentos são químicos, no qual ocorre a fixação de elementos preservativos na madeira, tornando-a mais resistente ao ataque de fungos e insetos (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS, 2005, p. 1).

2.3.1 *Preservativos*

Os preservantes de madeira podem ser puros ou misturas, existindo grande variação na eficiência, no custo e na aplicação. O ideal é aquele que consegue fixar de forma permanente na madeira, sendo tóxico aos fungos e insetos, porém não prejudicial aos homens e animais (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS, 2005, p. 1).

Galvão et al. (2004, p. 14) define preservativos como produtos químicos introduzidos dentro da estrutura da madeira, visando torna-la tóxica aos fungos e insetos xilófagos. Entretanto, para um produto ser considerado preservativo ele deve penetrar profundamente na madeira, não evaporar, não ser arrastado pelas águas da chuva ou umidade do solo e não deve ser tóxico ao homem e animais domésticos. Existem três tipos de preservativos: oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis.

2.3.1.1 *Oleosos*

Para Galvão et al. (2004, p. 14), dentre os óleos preservativos utilizados, devemos considerar dois: o creosoto e o alcatrão. Ambos obtidos pela destilação seca do carvão de pedra ou hulha. A composição química desses materiais é complexa, pois apresentam elevado número de compostos orgânicos. São destinados ao tratamento de madeira seca e descascada.

2.3.1.2 *Olessolúveis*

Segundo Galvão et al. (2004, p. 15) existem no mercado diferentes combinações para uso a base de pentaclorofenol, tribromofenol, deltametrina, entre outras preparadas com solventes e aditivos. Assim, há produtos que conferem acabamento natural, outros que permitem pintura ou envernizamento e os que escurecem a madeira. Vale ressaltar, que

algumas formulações, impermeabilizam a superfície do material tratado, promovendo a redução da instabilidade dimensional da madeira.

De acordo com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (2005, p. 1) os preservativos oleossolúveis são utilizados para tratamento de madeira quando a mesma é usada em contato direto com o solo.

2.3.1.3 Hidrossolúveis

Para o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (2005, p. 1) os preservativos hidrossolúveis são constituídos pela associação de diversos sais, como: sulfato de cobre, dicromato de potássio ou sódio, ácido arsênico, ácido bórico, entre outros.

As soluções desses sais, após a penetração na madeira, reagem com a lignina das células, produzindo compostos insolúveis, que dificultam o processo de lixiviação, ou seja, evitam o seu arrastamento por parte da água ou pela umidade do solo (GALVÃO et al., 2004, p. 15).

2.3.1.3.1 Arseniato de cobre amoniacal (ACA)

São preservativos hidrossolúveis a base de cobre e arsênio, em solução amoniacal. Após o tratamento, a amônia evapora e promove a fixação dos sais de cobre e arsênio na parede celular da madeira. São indicados para madeira que irão ficar em contato com o solo ou submersa em água (GALVÃO et al., 2004, p. 16).

2.3.1.3.2 Arseniato de cobre cromatado (CCA)

São preservativos hidrossolúveis a base de cobre, cromo e arsênio, conhecido como arseniato de cobre cromatado. São os mais utilizados mundialmente, podendo existir em três combinações (Figura 10). A combinação “C” é a mais utilizada pois apresenta a melhor resistência à lixiviação e desempenho no campo. Quando aplicado na madeira os seus componentes reagem com a lignina, tornando-se insolúveis, sendo o cromo o principal responsável pela fixação do arsênio e do cobre, e o cobre e o arsênio desempenhando a função de inseticida e fungicida (GALVÃO et al., 2004, p. 16).

Figura 10 – Composição dos três tipos de arseniato de cobre cromatado

Ingredientes	Arseniato de cobre cromatado (porcentagem em peso)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo hexavalente, calculado como CrO ₃	65,5	35,3	47,5
Cobre, calculado como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênio, calculado como As ₂ O ₅	16,4	45,1	34,0

Fonte: GALVÃO et al (2004).

As reações de fixação são rápidas, geralmente ocorrem de 3 a 15 dias, e torna-se mais rápida com o aumento da temperatura. Por esta razão, os preservativos do tipo CCA são os mais indicados para processos industriais sob pressão e à frio (GALVÃO et al., 2004, p. 16).

2.3.1.3.3 Boratos de cobre cromatado (CCB)

São preservativos hidrossolúveis a base de cobre, cromo e boro. Surgiu como alternativa a utilização dos preservativos CCA, ou seja, a base de arsênio. Ele possui maior utilização na Europa e no Brasil (GALVÃO et al., 2004 p. 17).

2.3.1.3.4 Outros compostos de boro: bórax e ácido bórico

Segundo Galvão et al. (2004, p. 17) os boratos são facilmente solúveis em água, desse modo facilmente acometidos pelo efeito da lixiviação, sendo recomendados para madeira usadas acima do solo. A madeira preservada com esse material, usada protegida acima do solo e da água, apresenta grande resistência a fungos apodrecedores. Podem ser aplicados por pincelamento, imersão ou por pressão em autoclaves. Esses preservativos difundem-se facilmente em madeira molhada e são utilizados como tratamento curativo.

2.3.2 Métodos de tratamento simples ou de baixo custo

Segundo Moreschi (2013, p. 80), existem diversas ocasiões em que é necessário tratamento da madeira para a sua utilização, entretanto, nem sempre é possível trata-la com métodos sofisticados, principalmente, associado ao elevado custo de transporte do local de

corte até as usinas de preservação. Com isso, na maior parte das vezes, opta-se pela utilização de métodos de tratamento mais simples, onde o produto preservativo é aplicado no próprio local. As diversas formas de tratar a madeira, descritas a seguir, embora consideradas simples, permitem obter bons resultados relacionados a extensão da vida útil da madeira.

De acordo com Moreschi (2013, p. 80) existem três variáveis importantes na realização do tratamento da madeira, são:

- a) Profundidade de penetração do produto preservativo;
- b) Retenção do produto;
- c) Uniformidade da aplicação.

2.3.2.1 Tratamento por pincelamento

O tratamento da madeira por pincelamento refere-se a uma técnica simples, por meio da aplicação de um produto líquido ou dissolvido em algum tipo de solvente, na superfície da peça que almeja tratar. Porém, é importante considerar alguns detalhes para o alcance do objetivo, como a escolha correta do produto, a espécie da madeira e os agentes biológicos, a sua permeabilidade e a profundidade de tratamento requerida. Ao aplicar a quantidade de solução, é necessário distribuí-la de forma uniforme sobre a superfície da peça, evitando perdas por escorrimento (MORESCHI, 2013, p. 81), Figura 11.

Figura 11 – Tratamento por pincelamento



Fonte: MORESCHI (2013).

2.3.2.2 Tratamento por pulverização

O tratamento da madeira por pulverização é praticamente igual ao realizado pelo método do pincelamento, porém, para aplicá-las utiliza-se um pulverizador, onde os riscos de contaminação são muito maiores. Por isso, esse tratamento somente é indicado caso não seja possível tratar a madeira por pincelamento. A opção pela pulverização é necessária quando ocorre a dificuldade de acesso de pincéis à superfície da madeira a ser tratada, especialmente, em pequenos espaços e em peças estruturais já montadas (MORESCHI, 2013, p. 83), Figura 12.

Figura 12 – Tratamento por pulverização



Fonte: MORESCHI (2013).

2.3.2.3 Método de tratamento por substituição de seiva

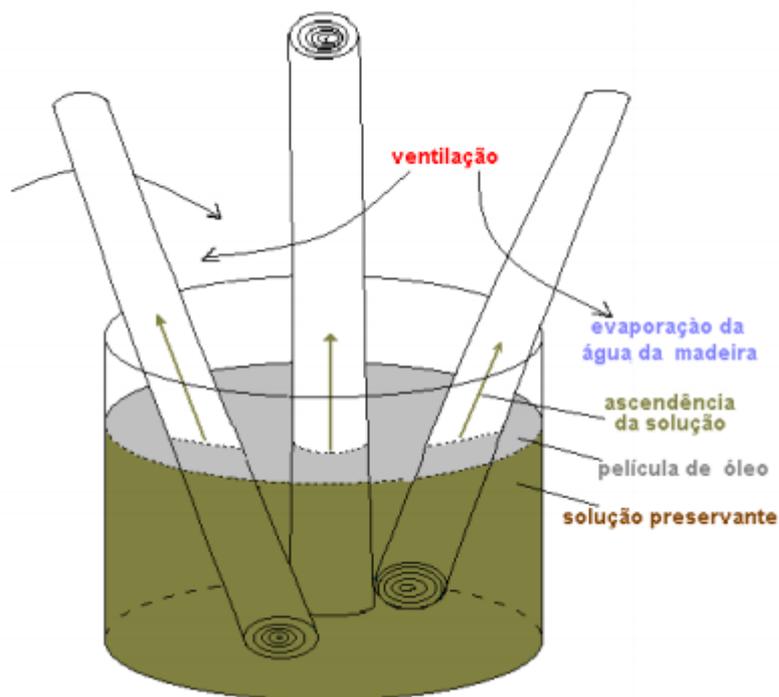
2.3.2.3.1 Tratamento por capilaridade ou transpiração radial

O processo destina-se a madeira roliça de pequeno diâmetro. Recém cortada, descascada e devendo ser tratada ainda verde, no prazo de 24 horas após o corte. O método perderia eficiência se ocorresse grande evaporação da água da seiva, antes do início do tratamento. A secagem pode promover o bloqueio do movimento da solução dentro do material. Os preservativos indicados para uso no processo são os hidrossolúveis, como o CCB.

Os sais do tipo CCA não são recomendados pois apresentam a velocidade de fixação da madeira muito elevada (GALVÃO et al., 2004, p. 30).

Para o tratamento, a madeira é colocada parcialmente mergulhada na solução preservativa, comumente até a altura que será enterrada no solo, com o intuito de proporcionar mais proteção a região que ficará sujeita a condição mais crítica, isto é, em contato direto com o solo úmido e aerado. Para que o procedimento possa ocorrer com sucesso, as peças devem estar dentro do recipiente e permitindo a circulação de ar na porção externa do material. O recipiente deve possuir altura e largura compatíveis com a quantidade e as dimensões da madeira a ser tratada (MORESCHI, 2013, p. 88), Figura 13.

Figura 13 – Representação gráfica do tratamento por capilaridade



Fonte: MORESCHI (2013).

De acordo com Moreschi (2013, p. 89) três cuidados são considerados fundamentais para se obter uma madeira tratada com boa qualidade:

- a) A madeira deve conter elevado teor de umidade, preferencialmente o teor de umidade original, para evitar que ocorra obstrução de seus capilares com bolhas de ar, decorrentes da secagem dos topos das peças que ficarão imersos na solução;
- b) Mesmo que a madeira seja de árvores recém abatidas, para se garantir que haja adequado fluxo da solução preservativa ao longo da peça a ser tratada, o extremo da peça a ser mergulhada deve ser cortado imediatamente antes da submersão na solução, para a eliminação da porção de madeira que possa conter capilares com ar;

- c) A remoção da casca deve ser bem efetuada, tomando-se o cuidado de remover completamente o tecido cambial existente entre a casca e o tecido lenhoso. Sua permanência tornará a madeira menos permeável, reduzindo a evaporação da água na porção aérea do material sendo tratado e a ascensão da solução no seu interior, bem como impedindo a penetração do preservativo no sentido perpendicular às fibras na porção submersa por meio de difusão.

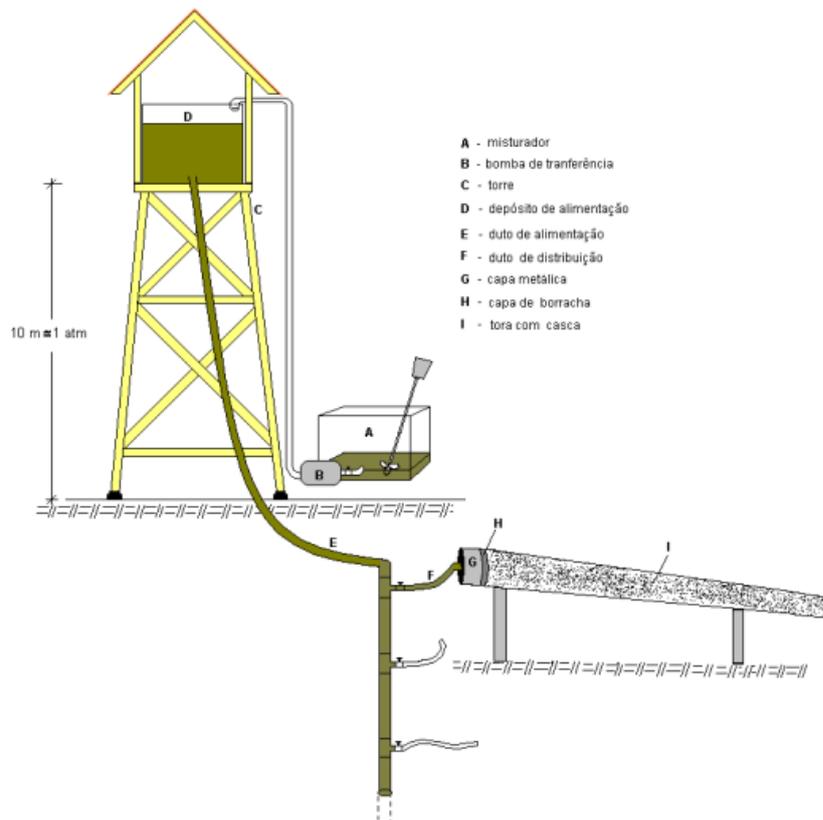
Para Galvão et al (2004, p. 36), após o tratamento as peças devem ser empilhadas como madeira de lenha, na sombra, devendo permanecer por 40 dias, em abrigo, protegendo-as da chuva. Durante esse período ocorrerá a conclusão das reações dos sais preservativos com a lignina da madeira, e a sua secagem, para evitar o surgimento de rachaduras nas peças.

2.3.2.3.2 Boucherie modificado

O tratamento pelo processo Boucherie modificado tem como objetivo a preservação da madeira verde na forma de tora, onde o preservativo é inserido no material por meio de pressão hidráulica. No procedimento, a madeira recém abatida é colocada levemente inclinada sob suportes, ainda com casca e com a porção basal na parte mais elevada (MORESCHI, 2013, p. 91). Na Figura 14, a seguir, está ilustrado a instalação para o funcionamento.

Para Galvão et al. (2004, p. 36) o processo de tratamento ocorre colocando-se o preservativo situado em um tanque em nível superior as peças a serem tratadas. Pela força da gravidade o líquido desce por tubulação inserindo-se na madeira por pressão hidráulica, onde a solução preservativa substitui a seiva que sai pela outra extremidade da peça de madeira. O tratamento completa-se até que se observe o escorrimento da solução preservativa no outro extremo.

Figura 14 – Instalação necessária para o tratamento pelo processo Boucherie modificado



Fonte: MORESCHI (2013).

Após a impregnação, para assegurar uma boa fixação do preservativo na madeira, esses devem ser submetidos a secagem ao ar. Dessa forma, devem ser empilhados horizontalmente em local seco, coberto e ventilado. O processo para que ocorra uma boa penetração da solução preservativa demora 11 dias (GALVÃO et al., 2004, p. 37).

2.3.2.4 Tratamento por difusão

Segundo Moreschi (2013, p. 94) “[...] o tratamento pelo processo de difusão baseia-se no fato que, produtos hidrossolúveis concentrados, quando colocados em contato com a superfície da madeira no estado verde, diluem-se na água existente na madeira e migram gradualmente para o seu interior.”

Os compostos de boro são bastante utilizados por apresentarem boa solubilidade e penetração na madeira. A aplicação da pasta com ingredientes de fácil difusão é recomendada para a região onde ocorre o afloramento da estrutura em contato com o solo. Após a aplicação,

o local tratado é revestido com impermeabilizante para impedir que a pasta se perca no solo (GALVÃO et al., 2004, p. 29).

De acordo com Moreschi (2013, p. 95) é importante tomar alguns cuidados para que o material tratado possua boa qualidade.

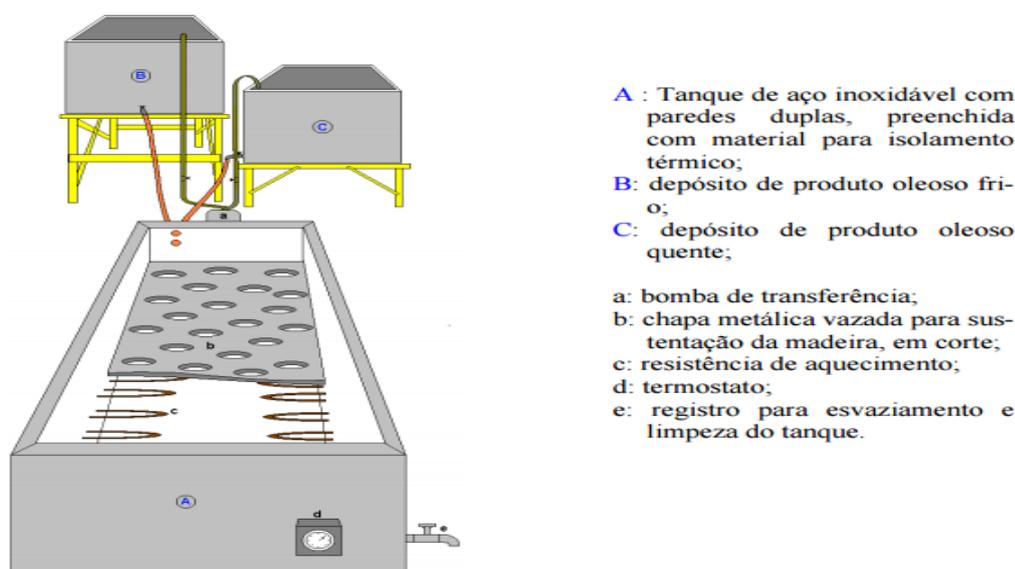
- a) A madeira deve conter elevado teor de umidade, preferencialmente o de árvores recém cortadas e descascadas - a água existente na madeira é fundamental para que a difusão ocorra com eficiência;
- b) O produto preservativo, ao ser utilizado, não pode reagir/ se fixar com rapidez quando em contato com a madeira, mas deve conter ingredientes que a proteja em função de sua suscetibilidade a agentes xilófagos e do uso final da madeira tratada - produtos muito reativos, como por exemplo, o CCA, deixa a camada superficial da madeira super tratada, enquanto camadas mais profundas ficam pobremente tratadas ou não tratadas. Os produtos mais usuais para esta finalidade são o CCB, o FCAP e a mistura de tetraborato de sódio decahidratado (borax) mais ácido bórico, na relação de 1,4 : 1 respectivamente;
- c) A concentração da solução preservativa deve ser regulada em relação ao volume de material a ser tratado e à retenção desejada, considerando-se também a mobilidade dos ingredientes ativos e o tempo que a madeira permanecerá imersa na solução. Devido à ocorrência da imigração de moléculas do produto preservativo para o interior da madeira, a solução empregada se torna exaurida. Por tal motivo, para que se mantenha a homogeneidade da qualidade do material tratado em bateladas subsequentes, há necessidade de se controlar e de se repor os ingredientes consumidos da solução para cada batelada;
- d) O tempo necessário para garantir adequada profundidade de penetração está relacionado à espécie de madeira, à concentração da solução, à geometria e espessura das peças incluídas no tratamento e/ ou à profundidade de penetração desejada. Outros fatores também influem na taxa de difusão, como a temperatura da solução (variação verão - inverno), idade da madeira dentro da mesma espécie, etc., mas normalmente eles são negligenciados para fins práticos, devido à alta complexidade criada pela combinação entre as variáveis da madeira, as do produto químico e as ambientais.
- e) Após o tratamento ter sido efetuado, o material tratado deverá ser armazenado em local protegido de chuvas, para evitar lixiviação, e em condições que não ocasionem sua desidratação acelerada. A manutenção da umidade na madeira deve perdurar até que o preservativo se distribua homogeneamente e ocorram todas as reações químicas entre o produto preservativo e os constituintes da madeira, de forma a garantir total fixação do preservativo absorvido, tornando-o insolúvel em água. Para atingir melhor este objetivo, a madeira tratada pode ser coberta com uma película impermeável durante o período de fixação do produto. Este período de tempo normalmente é de um mês.

2.3.2.5 Banho quente-frio

Esse método consiste em mergulhar a madeira descascada no estado seco em solução preservativa aquecida e, posteriormente, substituí-lo por produto à temperatura ambiente, ou resfria-lo. Apesar de parecer um tratamento simples, para conseguir que o material tratado apresente boa qualidade, é importante que tenhamos boa compreensão do seu funcionamento (MORESCHI, 2013, p. 104), Figura 15 a seguir.

Segundo Galvão et al. (2004, p. 25) para realizar o tratamento de banho quente-frio é necessário aquecer o preservativo até a temperatura de 100°C. Logo após, ocorre a imersão total das peças por um período de 2 horas. A seguir, as peças são colocadas rapidamente em um reservatório contendo preservativo frio, possuindo o banho frio, a duração de 4 horas. Para Galvão et al. (2004, p. 26) “Esse tratamento, bem executado, poderá assegurar duração média superior a 20 anos.”.

Figura 15 – Equipamento utilizado no tratamento pelo processo banho quente-frio



Fonte: MORESCHI (2013).

2.3.3 Tratamento em autoclave

Para realizar um tratamento da madeira em autoclave é necessário possuir um local hermeticamente fechado, que possa resistir aos esforços do vácuo e/ou pressão exigidos. Além dos equipamentos, da definição do processo de tratamento, do tipo de preservativo a ser usado e da espécie do material a ser tratado, é importante quantificar de forma adequada o tempo que será efetuado o tratamento. Nesse procedimento, a madeira deverá estar descascada e no estado seco, e qualquer tipo de preservativo poderá ser utilizado (MORESCHI, 2013, p. 107).

2.3.3.1 Processo Gewecke

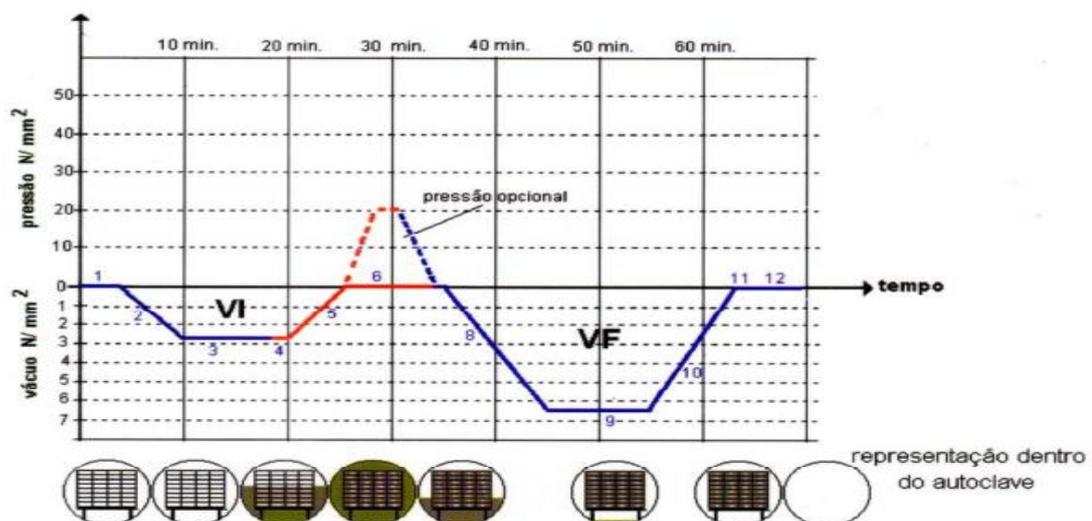
Segundo Moreschi (2013, p. 109), esse método consiste na adaptação do processo de Boucherie, visto as necessidades de tornar mais rápido o processo de tratamento, foram realizadas algumas modificações que consistem nos seguintes passos:

- a) Descascamento das toras de madeira;
- b) Carregamento das toras e colocação de conexões em seus topos para sucção da seiva;
- c) Ligação das conexões de sucção por tubos;
- d) Recolhimento da madeira e fechamento do cilindro de tratamento;
- e) Aplicação de pressão de 85 N/mm² para forçar a solução preservativa para o interior da madeira e, simultaneamente, sucção da seiva.

2.3.3.2 Processo duplo-vácuo

Nesse procedimento de tratamento utilizam-se duas fases de vácuo, chamada de vácuo inicial (VI) e vácuo final (VF), separadas por uma fase à pressão atmosférica. O vácuo inicial drena grande volume de ar existente na madeira, anteriormente ao tratamento, e em seguida, é substituído pelo preservativo (MORESCHI, 2013, p. 110), como pode-se visualizar na Figura 16.

Figura 16 – Esquema do programa de tratamento pelo processo de duplo-vácuo



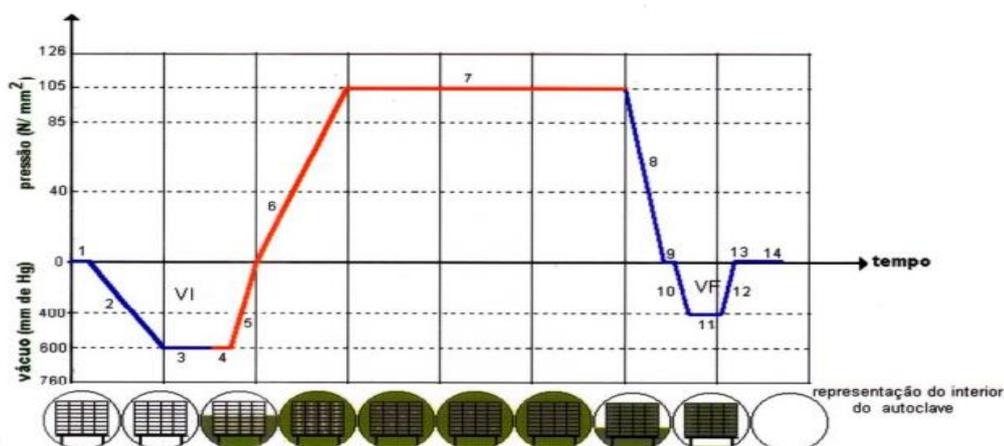
Fonte: MORESCHI (2013).

De acordo com Moreschi (2013, p. 111) para se entender de forma mais clara o funcionamento desse método, é necessário ter compreensão do que está acontecendo dentro da autoclave e, simultaneamente, dentro da madeira.

2.3.3.3 Processo Bethell

No processo Bethell também se utiliza duas fases de vácuo, igual ao processo anterior, porém, elas são separadas por uma fase de pressão positiva em relação à pressão atmosférica. Da mesma forma que ocorre no processo duplo-vácuo, esse tratamento é um processo de célula cheia, ou seja, o vácuo inicial drena o ar existente na madeira e, em seguida, substitui-se por preservativo. Normalmente utiliza-se a solução preservativa hidrossolúvel (MORESCHI, 2013, p. 113), como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Bethell



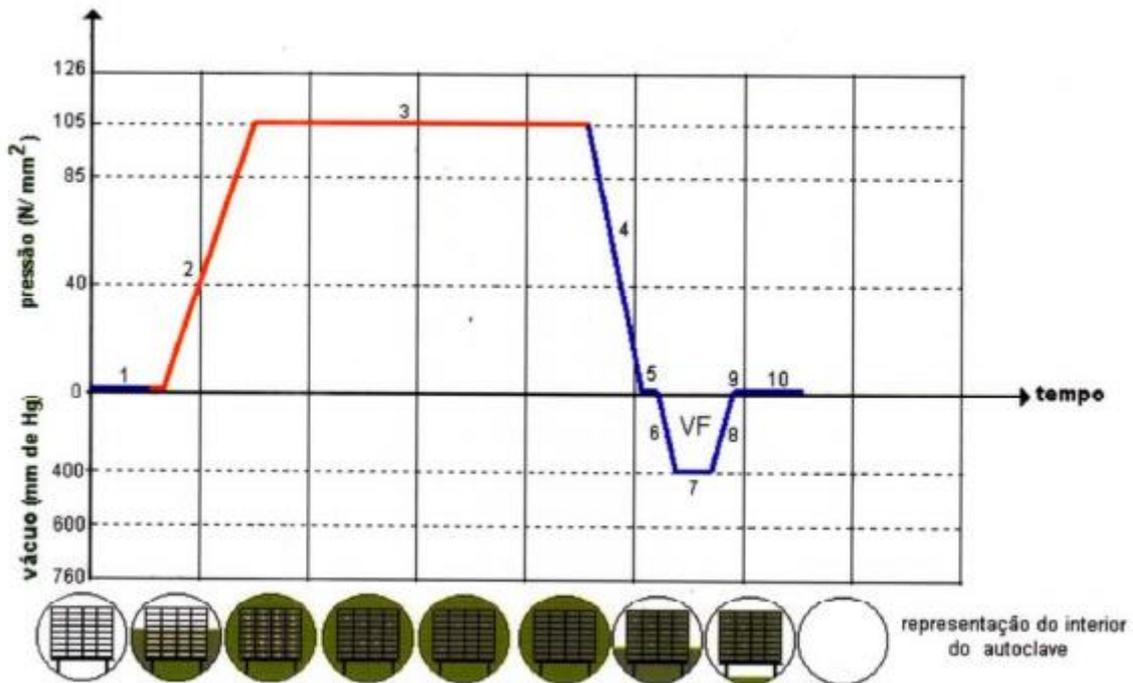
Fonte: MORESCHI (2013).

2.3.3.4 Processo Lowry

No processo Lowry não existe a fase de vácuo inicial (VI), o que faz com que se mantenha o volume de ar existente dentro da madeira. Durante a fase de impregnação do preservativo este ar é empurrado a maiores profundidades do material, mantendo-se no interior da madeira na forma de ar comprimido. Após a penetração forçada da solução a pressão é relaxada, permitindo que o ar comprimido se expanda para voltar a equilibrar-se com a pressão atmosférica do ambiente externo. Com o resultado destas ações, a madeira tratada fica apenas com a superfície interna molhada pela solução, caracterizando um

processo de tratamento chamado de “tratamento de célula vazia”. Finalmente, é realizado a fase do vácuo final (VF), com o objetivo de realizar a limpeza da superfície do material tratado. Este é um processo adequado para a utilização de produtos oleosos ou oleossolúveis (MORESCHI, 2013, p. 116), Figura 18.

Figura 18 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Lowry

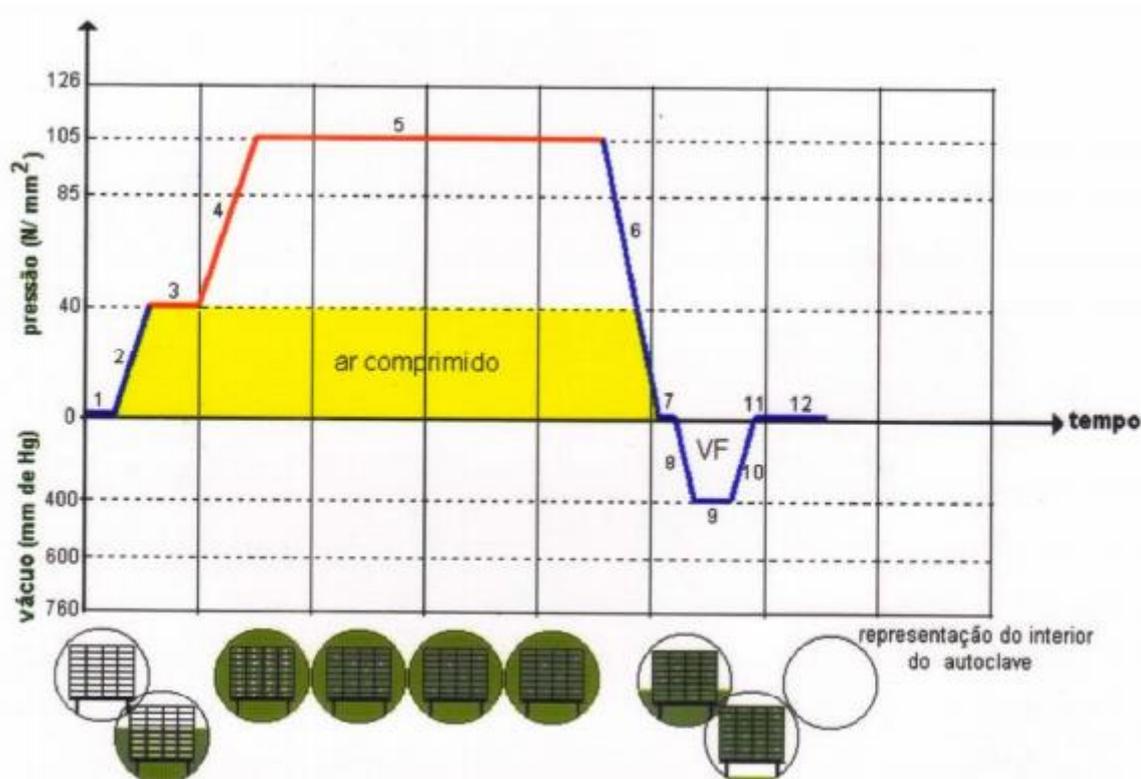


Fonte: MORESCHI (2013).

2.3.3.5 Processo Rueping

Segundo Moreschi (2013, p. 119), esse método foi desenvolvido com o intuito de obter melhor controle sobre o retorno da solução preservativa impregnada na madeira, realizando injeção prévia de ar comprimido na madeira antes da entrada da solução no interior da autoclave. O processo consiste basicamente nos mesmos procedimentos realizados na execução do processo Lowry, com exceção que na fase final, se adiciona ar comprimido à autoclave e, conseqüentemente, na madeira existente em seu interior. O objetivo a ser alcançado com um maior volume de ar comprimido utilizado é que ele empurre o produto a ser impregnado na madeira para fora com maior eficiência, dessa forma, obtendo tratamentos mais uniformes que o método Lowry, conforme Figura 19 a seguir.

Figura 19 – Esquema do programa de tratamento pelo processo Rueping



Fonte: MORESCHI (2013).

2.4 Emissão de gás carbônico

Para Campos (2012, p. 136), em relação as mudanças climáticas e as evidências da ação humana associadas ao aumento da concentração de gases de “efeito estufa” na atmosfera, tornou-se importante a quantificação do fator de emissão desses gases em diversas escalas: global, nacional, por setor e por atividade. A nível de atividade, é importante atribuir o impacto do CO₂ para cada atividade desenvolvida pelo homem, pois significa um passo fundamental para gerenciar e mitigar as emissões.

No setor da construção civil, gerar informações sobre os fluxos de material e os impactos ambientais associados é o ponto de partida para a quantificação do impacto do setor e proposição de ações de mitigação. Analisar o impacto ambiental de um empreendimento implica em conhecer as emissões de gases estufa tanto na execução e operação, como da fabricação dos insumos que irão constituir a edificação (CAMPOS, 2012, p. 3).

Segundo Campos (2012, p. 3):

A adoção de referências ou de dados de madeira plantada sobre a quantidade de carbono emitido e estocado no processo produtivo, como se esses modelos tivessem resultados similares ao da madeira nativa da Amazônia, incorpora distorções. A quantificação de CO₂ relacionada ao setor da construção demanda o levantamento de dados específicos dos produtos empregados, que considerem a realidade de fabricação de cada material no país de produção. No caso da madeira amazônica, a quantificação das fontes de CO₂ envolve todo o processo produtivo da madeira serrada, ou seja, degradação de resíduos de madeira da exploração da floresta e da serraria e queima de energia fóssil. A quantificação pode alimentar bases de dados que agrupem informações de CO₂ dos produtos de construção, além de inventários de emissão de CO₂ do setor de construção, além de colaborar com diretrizes e políticas públicas relacionadas à madeira amazônica.

Com o objetivo de estimar as emissões de CO₂ provocadas pelas etapas de extração e serragem da madeira oriunda da Amazônia, foram montados cenários típicos de exploração da madeira, sendo representada pela letra “b” o cenário mínimo, a letra “m” pelo cenário médio e a letra “a” pelo cenário máximo. Na Figura 20 a seguir, verifica-se que esses dois processos provocam a emissão, em média, de 139,1 toneladas de CO₂ por hectare de floresta explorada. Além disso, na Figura 21 verifica-se a emissão de CO₂ por tonelada de madeira (tora) (CAMPOS, 2012, p. 124).

Figura 20 – Emissão de CO₂ pelo processo de extração e serragem da madeira

Cenários	Concentração de biomassa	Extração	Destruição	Destruição / Extração	Emissão da extração	Emissão do processamento primário			Emissão por resíduos (extração e serragem)		
						35,4%	41,1%	45,7%			
						t/ha	t/ha	t/ha	t/t	tCO ₂ /ha	tCO ₂ /ha
bbb	200	8	14	1,8	25	9,3	8,5	7,8	34,4	33,6	33,0
bbm	200	8	38	4,8	68	9,3	8,5	7,8	77,6	76,7	76,1
bmm	200	14	38	2,7	68	16,2	14,8	13,7	84,5	83,1	81,9
bam	200	28	38	1,4	68	32,5	29,6	27,3	100,8	97,9	95,6
bma	200	14	66	4,7	119	16,2	14,8	13,7	134,8	133,4	132,2
baa	200	28	66	2,4	119	32,5	29,6	27,3	151,1	148,2	145,9
mbb	300	12	21	1,8	38	13,9	12,7	11,7	51,7	50,4	49,4
mbm	300	12	57	4,8	102	13,9	12,7	11,7	116,3	115,1	114,1
mmm	300	21	57	2,7	102	24,4	22,2	20,5	126,8	124,6	122,9
mam	300	42	57	1,4	102	48,7	44,4	41,0	151,2	146,9	143,4
mma	300	21	99	4,7	178	24,4	22,2	20,5	202,2	200,1	198,4
maa	300	42	99	2,4	178	48,7	44,4	41,0	226,6	222,3	218,8
abb	425	17	30	1,8	53	19,7	18,0	16,6	73,2	71,4	70,0
abm	425	17	81	4,8	145	19,7	18,0	16,6	164,8	163,1	161,7
amm	425	30	81	2,7	145	34,5	31,5	29,0	179,6	176,6	174,1
aam	425	60	81	1,4	145	69,1	63,0	58,0	214,1	208,0	203,1
ama	425	30	140	4,7	252	34,5	31,5	29,0	286,5	283,5	281,0
aaa	425	60	140	2,4	252	69,1	63,0	58,0	321,0	314,9	310,0
									Máx.	Med.	Mín.
									321,0	139,1	33,0

Fonte: CAMPOS (2012).

Figura 21 – Emissão de CO₂ por tonelada de madeira (tora)

Cenários	Destruição/ extração	Emissão por resíduos (extração e serragem)			Toras extraídas	Emissão por toras		
	t/t	tCO ₂ /ha			t/ha	tCO ₂ /t tora		
bbb	1,8	34,4	33,6	33,0	8	4,3	4,2	4,1
bbm	4,8	77,6	76,7	76,1	8	9,7	9,6	9,5
bmm	2,7	84,5	83,1	81,9	14	6,0	5,9	5,9
bam	1,4	100,8	97,9	95,6	28	3,6	3,5	3,4
bma	4,7	134,8	133,4	132,2	14	9,6	9,5	9,4
baa	2,4	151,1	148,2	145,9	28	5,4	5,3	5,2
mbb	1,8	51,7	50,4	49,4	12	4,3	4,2	4,1
mbm	4,8	116,3	115,1	114,1	12	9,7	9,6	9,5
mmm	2,7	126,8	124,6	122,9	21	6,0	5,9	5,9
mam	1,4	151,2	146,9	143,4	42	3,6	3,5	3,4
mma	4,7	202,2	200,1	198,4	21	9,6	9,5	9,4
maa	2,4	226,6	222,3	218,8	42	5,4	5,3	5,2
abb	1,8	73,2	71,4	70,0	17	4,3	4,2	4,1
abm	4,8	164,8	163,1	161,7	17	9,7	9,6	9,5
amm	2,7	179,6	176,6	174,1	30	6,0	5,9	5,9
aam	1,4	214,1	208,0	203,1	60	3,6	3,5	3,4
ama	4,7	286,5	283,5	281,0	30	9,6	9,5	9,4
aaa	2,4	321,0	314,9	310,0	60	5,4	5,3	5,2
		Máx.	Med.	Mín.		Máx.	Med.	Mín.
		321,0	139,1	33,0		9,7	5,6	3,4

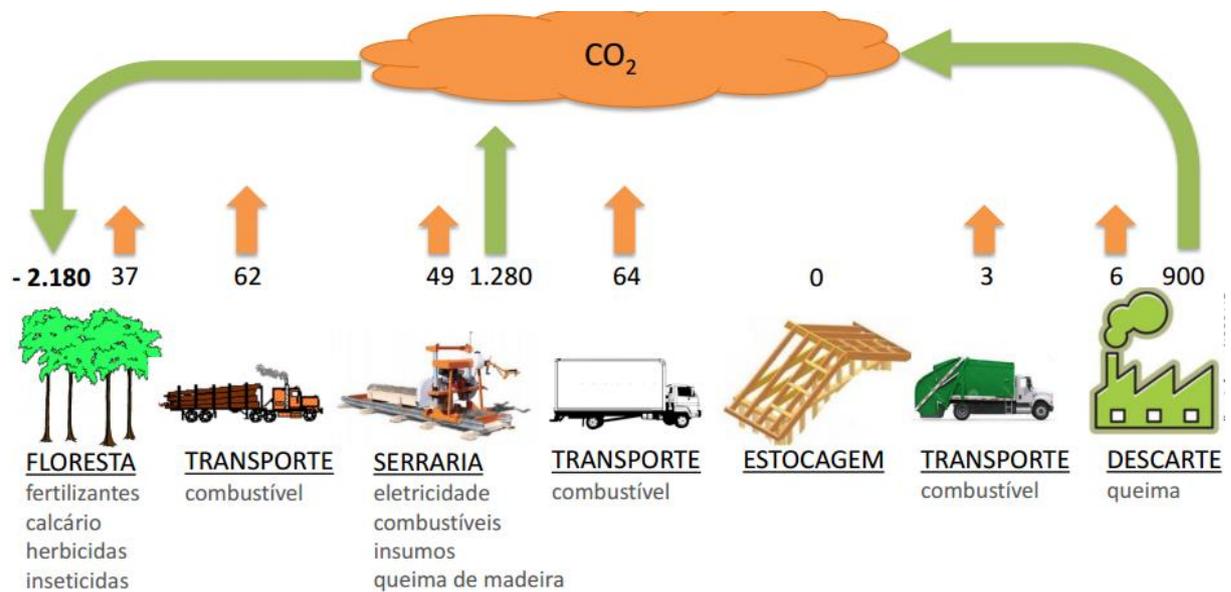
Fonte: CAMPOS (2012).

O Protocolo de Quioto obriga os países industrializados a reduzirem as emissões de gases do efeito estufa, fazendo com que ocorra a realização de negociação de créditos de CO₂ por parte dos países, chamado de mercado do carbono. O Protocolo de Quioto estabelece três mecanismos, que destacados no processo de redução de emissão desses gases, comércio de emissões, implementação conjunta e mecanismo de desenvolvimento limpo. Através destes mecanismos, os países industrializados deverão buscar a redução de emissões ou a negociação dos créditos de carbono disponíveis no mercado. Assim as empresas poluidoras compram as toneladas de carbono não emitidas, por meio de um título, que é o certificado de redução de emissões (CER) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2007, p. 17).

Atualmente, algumas empresas produtoras de madeira de floresta plantada, ou seja, eucalipto e pinus, realizaram estudos para comparar a emissão de gás carbônico por metro quadrado de telhado para madeira oriunda de floresta plantada ou reflorestamento e madeira nativa da floresta amazônica. Um desses estudos foi contratado pela empresa Tetti, telhados e sistemas construtivos de madeira plantada, e executado pelo escritório ATA consultoria.

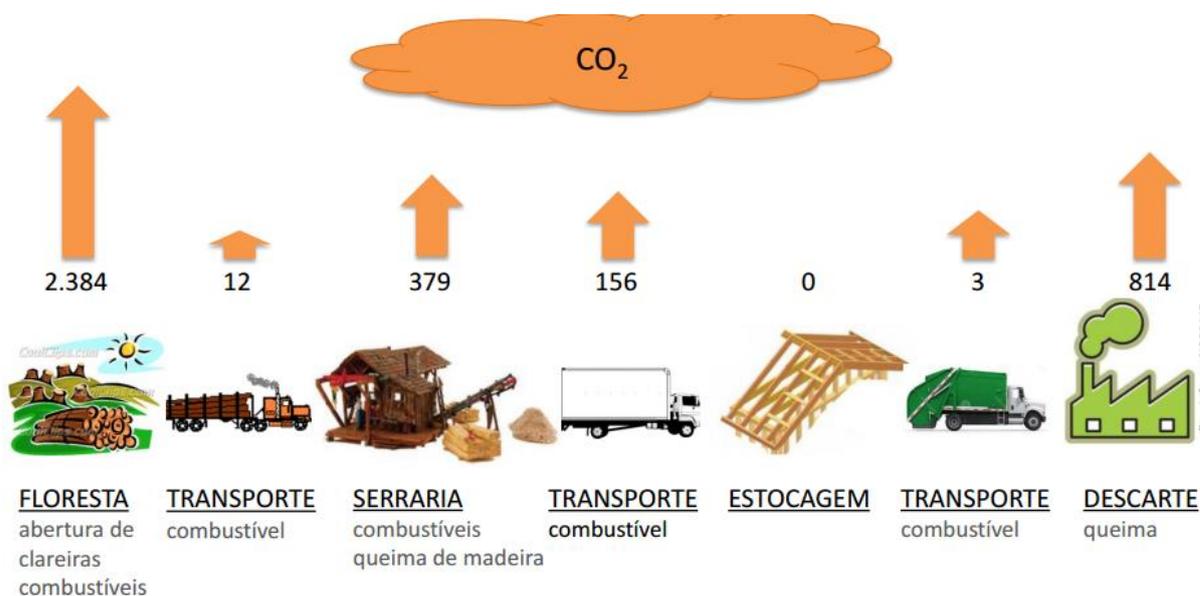
De acordo com Sacco (2016, p. 4), o processo de obtenção da madeira de floresta plantada para aplicação em estruturas de telhado, incluindo retirada das matas, transporte até as serrarias, gastos nas serrarias, descarte, entre outros, provoca a emissão de 221 Kg de CO₂ por m³ de madeira. A Figura 22 mostra o esquema da geração de CO₂ para madeira de floresta plantada, onde as linhas verdes são emissões renováveis e as linhas laranjas emissões não renováveis.

Figura 22 – Esquema de emissão de CO₂ no processo de produção de madeira plantada



No processo de obtenção da madeira de floresta amazônica para aplicação em estruturas de telhado, incluindo retirada das matas, transporte até as serrarias, gastos nas serrarias, descarte, entre outros, provoca a emissão de 3648 Kg de CO₂ por m³ de madeira. A Figura 23, a seguir, mostra o esquema da geração de CO₂.

Figura 23 – Esquema de emissão de CO₂ no processo de produção de madeira amazônica



Fonte: SACCO (2016).

2.5 Coberturas

2.5.1 Definições

A NBR 15575-5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 8) define cobertura como um conjunto de elementos/componentes com a função de tornar a estrutura estanque a água e a salubridade, além de proteger os demais sistemas da edificação, buscando contribuir para o conforto do usuário dentro da edificação, em relação ao desempenho térmico e acústico.

Moliterno (2010, p. 1) define cobertura como uma estrutura composta de materiais diversos, porém sendo impermeável a água e resistentes a ação do vento e intempéries. Além disso, explica que “[...] nem todo sistema de proteção superior de um edifício, obrigatoriamente, constitui-se num telhado como, por exemplo, lajes com espelho d’água, terraços e jardins suspensos.”.

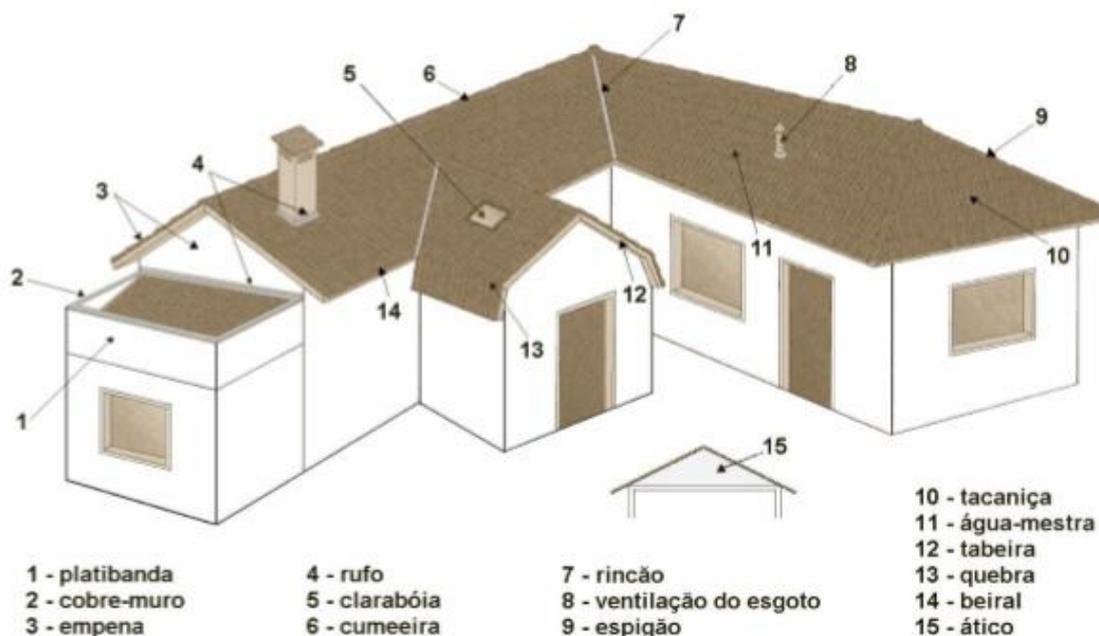
Para Silva (2004, p. 3) cobertura é a parte superior da edificação, responsável pela proteção contra intempéries, sendo constituída por um elemento resistente, como laje, estrutura de madeira ou metálica, e por elementos de vedação, podendo ainda apresentar isolamento termo acústico, forro e impermeabilização.

De acordo com Cardoso et al (2000), NBR 15575-5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e Moliterno (2010), os equipamentos constituintes da estrutura do telhado são definidos da seguinte forma:

- a) Telhamento: constituído por telhas de diversos materiais, possuindo a função de vedação;
- b) Estrutura principal: constituída, principalmente, por tesouras, oitões, pontaletes ou vigas, exercendo a função de receber e distribuir adequadamente as cargas verticais pelo edifício como um todo;
- c) Estrutura secundária ou trama: constituída, principalmente, por teças, caibros e ripas, desempenhando a função de sustentação das telhas;
- d) Sistemas de captação de águas pluviais: constituído, principalmente, por rufos e calhas, tendo a função de drenar as águas pluviais.

Na figura 24 estão identificados os diversos sistemas dos telhados.

Figura 24 – Designações do subsistema de telhados



Fonte: NBR 15575-5 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013).

De acordo com Guerra et al. (2010, p. 95) os telhados podem ser classificados em 6 tipos.

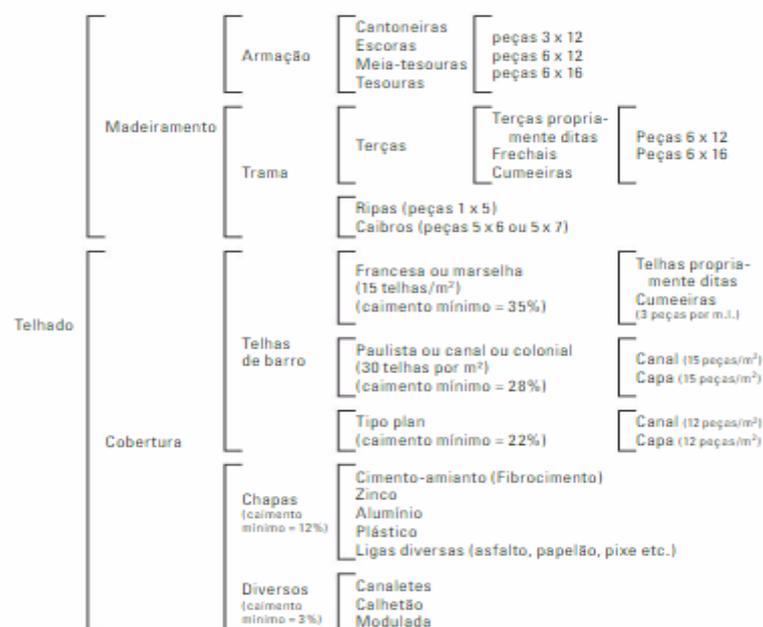
- a) Simples ou de uma água: esse tipo possui um só pendente, ou vertente (água), que cobre uma pequena área da edificação, ou estendendo-se para proteger

entradas (alpendre), formando um plano inclinado, que encaminha a água para uma das fachadas;

- b) Cobertura de duas águas: esse tipo de cobertura inclinada é composta por duas superfícies planas, com declividades iguais ou distintas, unidas por uma linha central denominada cumeeira ou distanciadas por uma elevação;
- c) Cobertura de três águas: esta cobertura é constituída por três áreas triangulares, onde se definem três superfícies unidas por linhas de espigões;
- d) Cobertura de quatro águas: esse tipo é caracterizado por cobertura de edificações quadriláteras, de formas regulares ou irregulares, cujas vertentes se intersectam definindo uma cumeeira e quatro rincões;
- e) Múltiplas águas: nesse caso de cobertura as plantas são determinadas por superfícies poligonais quaisquer, onde a determinação do número de águas é definida pelo processo de triângulo auxiliar;
- f) Pavilhão: esse caso é uma forma particular da cobertura de quatro águas, em que as vertentes se intersectam em um ponto definindo apenas quatro rincões. Designa-se geralmente por pavilhão a cobertura de quatro águas constituída por quatro vertentes iguais, correspondente a uma planta quadrada.

Na Figura 25 tem-se um fluxograma para facilitar o entendimento das peças que compõem o telhado.

Figura 25 – Fluxograma de telhado



2.5.2 *Estrutura de madeira*

A estrutura de telhado tradicional utilizada no Brasil tem sua origem nos telhados de telhas cerâmicas portuguesas. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 1), esse tipo de estrutura é composto por uma estrutura principal (tesouras) e por estruturas secundárias, como ripas, caibros e terças.

2.5.2.1 *Tesoura*

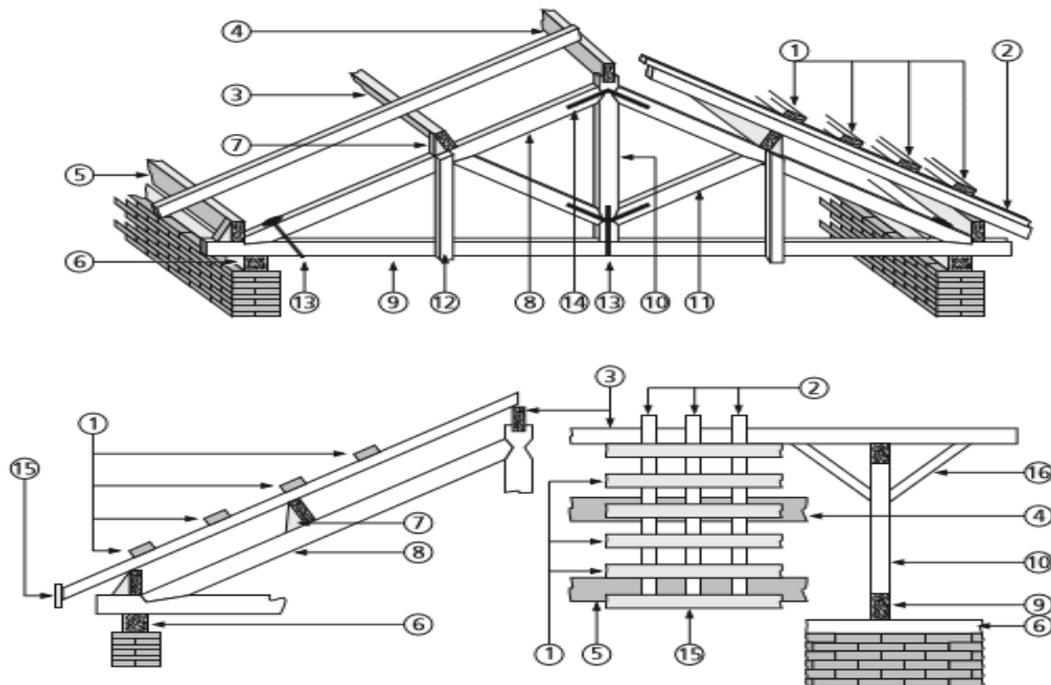
Logsdon (2002, p. 13) explica que para receber a estrutura secundária podem ser utilizados diversos tipos de estrutura principal, dependendo do formato desejado para a cobertura. “As tesouras são estruturas planas verticais (treliças) projetadas para receber cargas, que atuem paralelamente ao seu plano, transmitindo-as aos apoios.” (LOGSDON, 2002, p. 14).

De acordo com Pfeil (2003, p. 16) as treliças de cobertura, conhecidas como tesouras, sustentam o telhamento e o vigeamento de apoio, estando sujeitas as cargas de gravidade e do vento.

Para Moliterno (2010, p. 8) a tesoura é “[...] viga principal em treliça ou vigamestra [...]” que é responsável em transferir o carregamento atuante na estrutura para os pilares ou paredes da edificação. Além disso, Moliterno (2010, p. 8) informa que os elementos que compõem esse item são: banzo inferior e superior, barras verticais e diagonais e nó ou junta.

Na Figura 26, a seguir, tem-se a terminologia adotada por Moliterno (2010, p. 3) para tesouras e tramas.

Figura 26 – Tesoura e trama

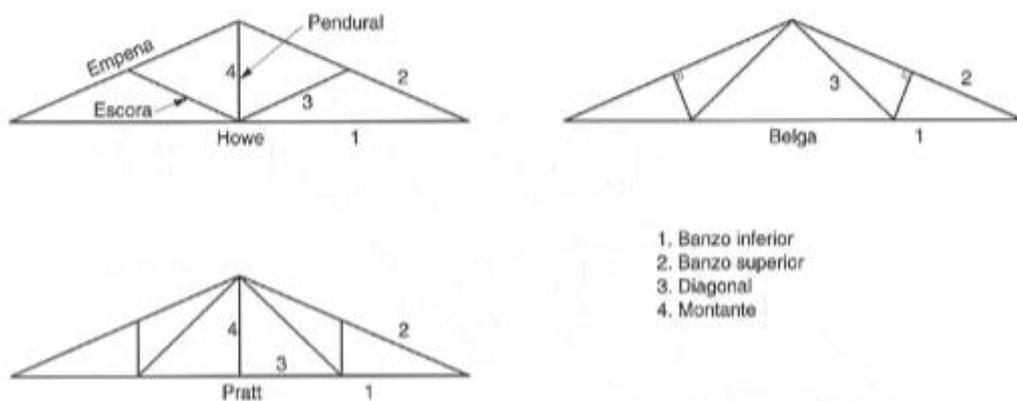


1 a 5) **Trama**, é o conjunto formado pelas ripas, caibros e terças, que servem de lastro ao material da cobertura. 6) Frechal. 7) **Chapuz**, pedaço de madeira, geralmente de forma triangular, pregado na asna da tesoura, destinado a sustentar ou apoiar a terça. **Conjunto de peças 8 a 12** – Tesoura, viga em treliça plana vertical, formada de barras dispostas de maneira a compor uma rede de triângulos, tornando o sistema estrutural indelocável. 8) **Asna, perna, empena ou membrura superior**. 9) **Linha, rochante, tirante, tensor, olivel ou membrura inferior**. 10) **Pendural ou pendural central**. 11) **Escora**. 12) **Pontalete, montante, suspensório ou pendural**. 13) **Ferragens ou estribos**. 14) **Ferragem ou cobrejunta**. 15) **Testeira ou aba**. 16) **Mão francesa**.

Fonte: MOLITERNO (2010).

Pfeil (2003, p. 16) informa que existem alguns sistemas treliçados utilizados em coberturas, os quais são designados por nomes próprios, Howe, Belga e Pratt (Figura 27). Para Pfeil (2003, p. 16) e Moliterno (2010, p. 101) a treliça Howe é a mais tradicional e empregada em estruturas de madeira de telhados residenciais no Brasil.

Figura 27 – Treliças para cobertura



Fonte: PFEIL (2003).

2.5.2.2 Terças

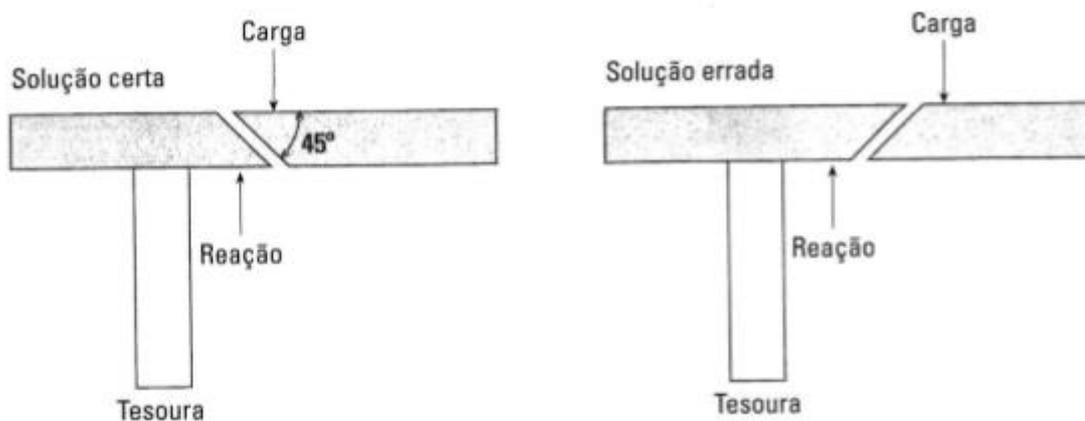
Moliterno (2010, p. 8) define a terça como “Viga de madeira apoiada sobre as tesouras ou sobre paredes para a sustentação dos caibros.”.

Logsdon (2002, p. 13) complementa a definição anterior, informando que as terças além de receberem o carregamento dos caibros e descarregarem nas estruturas principais do telhado. “As terças, geralmente, têm a seção de 6,0 cm x 12,0cm ou 6,0 cm x 16,0 cm.”, elas funcionam como travamentos, reduzindo o comprimento de flambagem do banzo superior das tesouras. Além disso, para o mesmo autor, o espaçamento entre as terças, depende do tipo de telha a ser usada e da resistência dos caibros.

Pfeil (2003, p. 16) resume as terças como sendo vigas vencendo vão entre treliças e, em geral, apoiando-se em seus nós.

Na Figura 28 tem-se a formas de emenda das terças.

Figura 28 – Emenda da terça no sentido do momento fletor



Fonte: BORGES (2009).

2.5.2.3 Caibros

Logsdon (2002, p. 10) explica que os caibros servem de apoio às ripas, geralmente, apresentando seção de 5,0 cm x 5,0 cm ou 6,0 cm x 6,0 cm. De acordo com Logsdon (2002, p. 10) e Pfeil (2003, p. 16) o espaçamento entre os caibros depende do tipo de telha a ser utilizada e varia entre 40 e 60 cm.

Para Moliterno (2010, p. 3) caibros são “Peças de madeira de pequena esquadria, apoiadas sobre as terças para sustentação das ripas.”.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 29), “Os caibros devem ser pregados as terças, sendo que a penetração do prego na terça deve equivaler no mínimo a metade do comprimento do prego [...]”.

2.5.2.4 Ripas

Logsdon (2002, p. 9) define as ripas com as peças onde as telhas irão se apoiar. Geralmente, possuem seção de 1,5 cm x 5,0 cm ou 1,0 cm x 5,0 cm. O espaçamento entre as ripas, denominado “galga”, depende do tipo e tamanho das telhas a serem utilizadas. Para Logsdon (2002, p. 9) e Pfeil (2003, p. 16) o espaçamento usualmente adotado é de 35 cm.

Moliterno (2010, p. 2) define as ripas como “Peças de madeira de pequena esquadria pregadas sobre os caibros, para sustentação das telhas.”.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 32), “As ripas são simplesmente pregadas nos caibros, sendo que a penetração do prego no caibro deve ser pelo menos igual à metade do seu comprimento.”.

2.6 Projetos

Abaixo segue o roteiro para o cálculo simplificado de uma estrutura de um telhado.

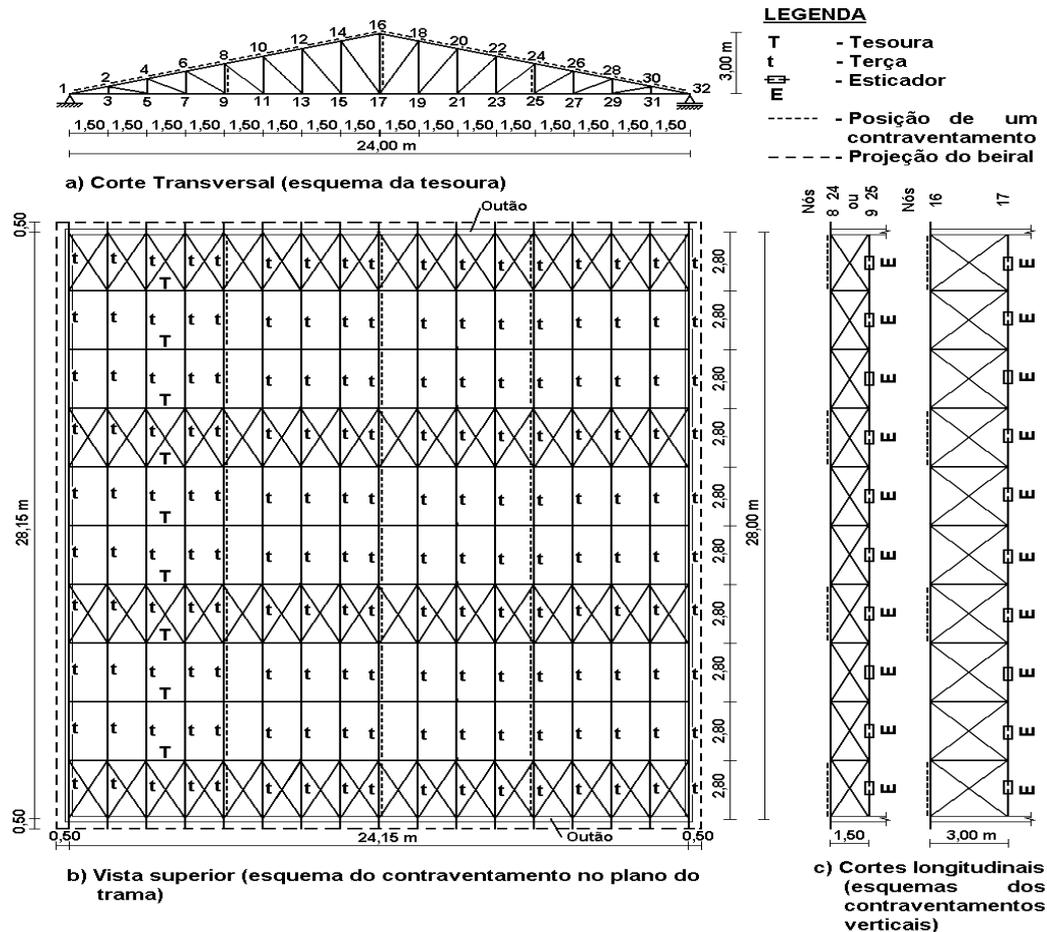
2.6.1 Definir o esquema geral

O esquema geral é a esquematização de como será o telhado, mostrando as dimensões básicas e a forma de todos os elementos do telhado. Na Figura 29 pode-se visualizar o esquema geral.

Para Moliterno (2010, p. 157) é neste passo que definimos:

- a) Esquema estrutural: Consiste no conhecimento do espaçamento entre as tesouras, do vão teórico entre as tesouras e da inclinação.
- b) Especificações: Determina as características dos materiais que serão utilizados;

Figura 29 – Exemplo de um esquema geral



Fonte: LOGSDON (2002).

2.6.2 Definir os carregamentos

Na elaboração do memorial de cálculo, devem ser consideradas as influências das cargas permanentes, a ação do vento, especificada pela NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), e das cargas acidentais verticais, explicitada pela NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), além de outras que possam surgir em casos especiais (MOLITERNO, 2010, p. 15).

De acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 9), “As cargas acidentais verticais e a ação do vento devem ser consideradas como ações variáveis de naturezas diferentes, sendo muito baixa a probabilidade de ocorrência simultânea de ambas, com seus respectivos valores característicos.”

Para Moliterno (2010, p. 15) “A carga permanente será constituída pelo peso próprio pela estrutura suposta de madeira verde e por todas as sobrecargas fixas”. De acordo o mesmo autor:

O peso próprio avaliado, depois do dimensionamento definitivo da estrutura, não deve diferir de mais de 10% do peso próprio inicialmente admitido. A cobertura e o forro constituem cargas fixas, sendo este último muitas vezes dispensado, ou mesmo independente do telhado, fazendo parte da estrutura do edifício.

O vento é o movimento de massas de ar devido as variações de aquecimento provocadas pelo Sol. Como essas massas de ar em movimento sofrem atrito com a superfície da Terra, as velocidades também variam com a altura, crescendo até atingirem altitudes em que se tornam constantes. Quando uma estrutura é colocada no caminho de deslocamento desse fluido, alguns fenômenos complexos acontecem. Salientando-se que a intensidade da pressão num ponto dessa superfície é função da forma do obstáculo, ângulo de incidência e da velocidade do vento (MOLITERNO, 2010, p. 22).

De acordo com a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMRAS TÉCNICA, 1988, p. 4):

A força do vento sobre uma estrutura parcialmente executada depende do método e da sequência da construção. É razoável admitir que a máxima velocidade característica do vento, V_k , não ocorrerá durante um período pequeno de tempo. Assim sendo, a verificação da segurança em uma estrutura parcialmente executada pode ser feita com uma velocidade característica menor.

Para Logsdon (2002, p. 31) “Além destes carregamentos, para a avaliação da flecha máxima da tesoura, é necessário obter os esforços devidos à carga unitária, vertical e para baixo, aplicada ao nó inferior do montante central da tesoura (carregamento unitário).”.

2.6.3 Definir os esforços nas barras

Para cada carregamento mencionado no item anterior, podemos obter os esforços característicos nas barras. Segundo Logsdon (2002, p. 32) isto pode ser feito por meio da utilização dos métodos para o cálculo de esforços normais em treliças.

A partir destes esforços podem ser obtidos os esforços de cálculo, máximo e mínimo, em cada barra, aplicando a combinação linear definida pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Segundo a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 19) “Os esforços atuantes nas peças estruturais devem ser calculados de acordo com

os princípios da estática das construções, admitindo-se em geral a hipótese de comportamento elástico linear dos materiais.”.

É mais aconselhável utilizar programas computacionais de análise estrutural para a determinação dos esforços atuantes nas barras (MOLITERNO, 2010, p. 185)

2.6.4 Definir as seções da barra da tesoura

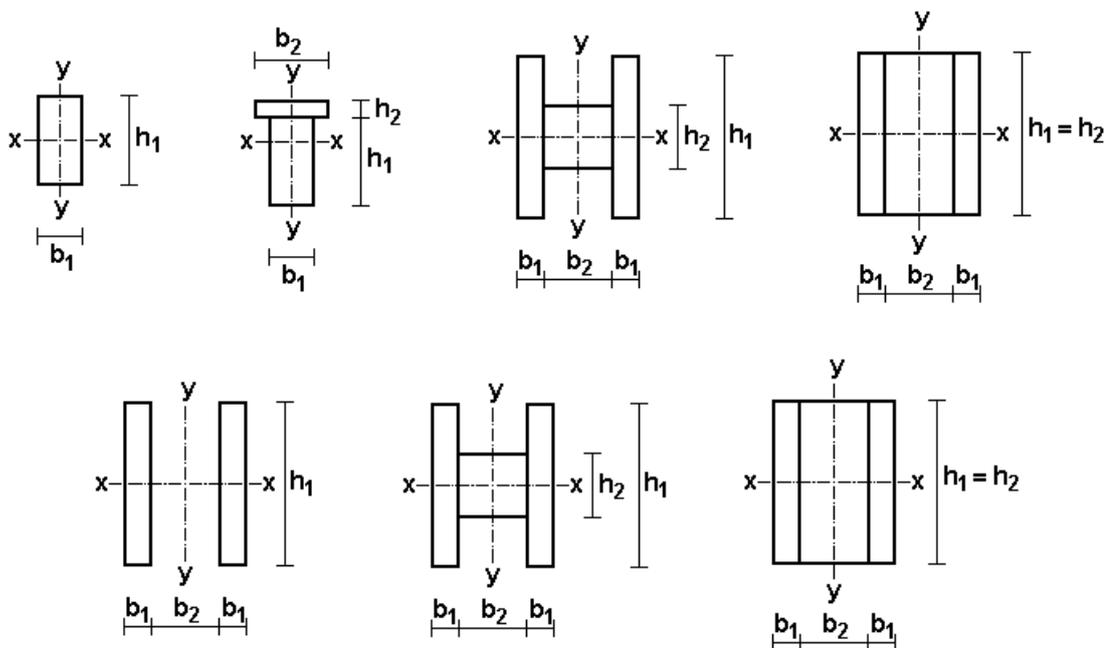
Após o terceiro procedimento, que consistiu na obtenção dos esforços de cálculo, será dimensionado as barras da tesoura, verificando cada barra à tração e/ou compressão paralela.

De acordo com Logsdon (2002, p. 30) é comum utilizar as seções descritas abaixo para a confecção das ligações:

- Banzos e diagonais: Seção retangular “ $b \times h$ ”, onde “ b ” geralmente é 6 cm;
- Montantes: Duas peças de seção retangular “ $2*(b_m \times h_m)$ ”, afastadas entre si da largura dos banzos e diagonais, “ b ”, geralmente é 6 cm.

Na figura 30 tem-se alguns modelos de seções.

Figura 30 – Seções utilizadas nas tesouras



Fonte: LOGSDON (2002).

Segundo a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 28) quando se utiliza seções compostas em “I” ou “T”, solidarizadas por ligações rígidas pregadas, deve-se utilizar um momento de inércia efetivo, reduzido em relação ao momento de inércia teórico, dado por:

$$I_{ef} = \alpha_r * I_{th} \quad (1)$$

Para seções “T”: $\alpha_r = 0,95$

Para seções “I”: $\alpha_r = 0,85$

2.6.5 Verificação da flecha

Para Moliterno (2010, p. 176) as ripas e os caibros devem ser calculados como vigas contínuas, porém, para simplificação do cálculo e a favor da segurança consideraremos como vigas simplesmente apoiada.

De acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 41) a flecha pode ser determinada conforma as expressões abaixo:

$$f_{adm} = \frac{\ell}{200} \quad (2)$$

$$f_x = \frac{5g_x \ell^4}{384E I_x} \quad (3)$$

$$f_y = \frac{5g_y \ell^4}{384E I_y} \quad (4)$$

As flechas devidas as ações permanentes podem ser compensadas por contraflechas. Neste caso, deve-se reduzir a flecha efetiva o valor da contraflecha. Porém, de acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 41), não se deve considerar reduções superiores a 2/3 da flecha devida ao carregamento permanente.

Segunda a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 41), “Nas peças em que serão dadas contraflechas, estas devem ser distribuídas parabolicamente ao longo do vão.”. Sendo expressas pela equação abaixo:

$$y = a.x^2 + b \quad (5)$$

2.6.6 Dimensionamento das ligações

Segundo Moliterno (2010, p. 188):

Na verificação das sambladuras a operação básica é a decomposição da força axial de uma barra que se encontra com outra em um nó na direção normal à superfície dos dentes que vão ser projetados. Alguns desses dentes terão sua superfície na direção da bissetriz do ângulo β formado entre as barras que se encontram naquele nó, outros não.

De acordo com Moliterno (2010, p. 189) “Este é um caso em que precisamos decompor a força em três direções [...]”. O mesmo autor informa que é necessário realizar três verificações relacionadas ao dimensionamento das juntas sob os apoios:

- a) Compressão nos dentes;
- b) Cisalhamento;
- c) Verificação à tração do banzo inferior

Para a junta central superior Moliterno (2010, p. 192) informe que são necessárias três verificações:

- a) Compressão nos dentes;
- b) Cisalhamento;
- c) Verificação à tração do pendural central

Embora não seja correto, é comum deslocar-se a interseção dos eixos teóricos das diagonais, banzo inferior e pendural, no dimensionamento de pequenas tesouras. O erro é tolerável para tesouras de até 10 metros de vão (MOLITERNO, 2010, p. 194).

2.6.7 Detalhamento final

Para Moliterno (2010, p. 188) é necessário realizar uma série de verificações durante a montagem do desenho.

- a) Desenharam-se os eixos com coincidência das barras;
- b) Desenharam-se as barras com o dimensionamento realizado, simétricas em relação aos eixos;
- c) Desenharam-se os detalhes, como ligações;
- d) À medida que se desenharam os detalhes, realiza-se a verificação da resistência.

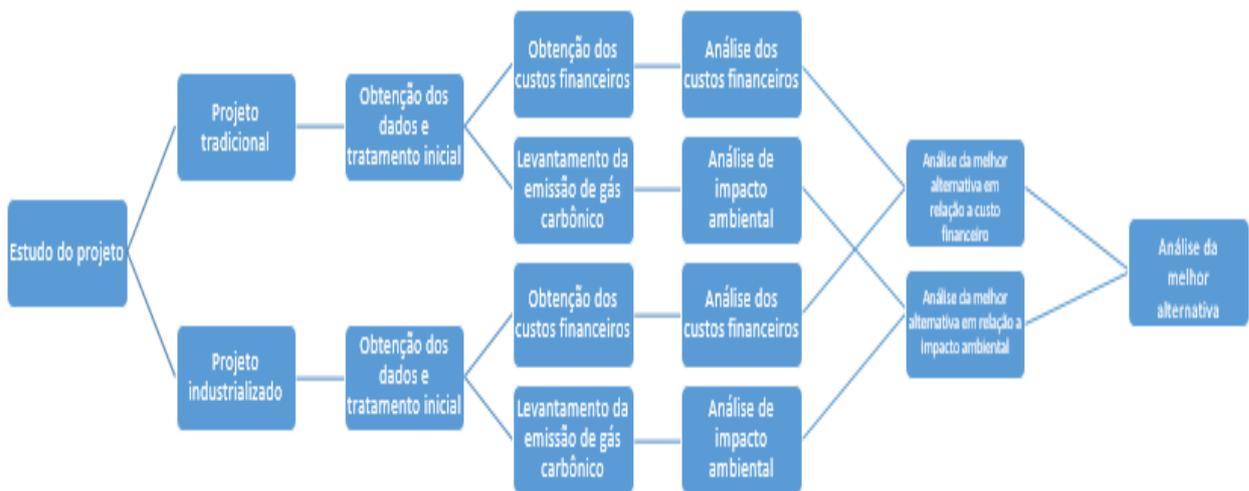
De acordo com Logsdon (2002, p. 35) o detalhamento deve possuir nos detalhes os seguintes elementos para serem entregues aos responsáveis pela construção:

- a) Esquema geral do trabalho;
- b) Detalhe da tesoura e ligações;
- c) Detalhe do contraventamento.

3 METODOLOGIA

Para realização da análise comparativa dos dois tipos de insumos empregados na construção de estruturas de madeira para cobertura, é necessário seguir uma metodologia que contém as etapas para realizar o estudo (Figura 31), que está explicada no tópico 3.3 desta análise. O tratamento dos dados, análises e orçamentos foram realizados para a cidade de Fortaleza-CE, porém, essa metodologia de análise pode ser aplicada em diferentes cidades.

Figura 31 – Fluxograma do processo metodológico



Fonte: Próprio autor (2016).

3.1 Revisão sobre projetos

Salientando-se que foi necessária a realização de uma revisão bibliográfica no capítulo anterior sobre estruturas de madeira para coberturas, madeira de floresta plantada, formas de tratamento da madeira e a emissão de gás carbônico gerado para cada alternativa, para entender os projetos disponibilizados pela STAMADE, Consultoria em estruturas de madeira, e de modo a conhecer o tipo de estrutura que o material empregado será analisado. Avaliando as suas funcionalidades, empregabilidade, qualidade e desempenho.

3.2 Formas de tratamento da madeira

O Segundo procedimento de análise deste trabalho, que está contido em um dos objetivos específicos e foi realizado no capítulo da revisão bibliográfica, que é esclarecer as formas de tratamento da madeira e o seu impacto na extensão da vida útil da madeira. Conhecendo as soluções preservativas utilizadas, além dos métodos de tratamento, como os de baixo custo e o de autoclave.

Para atingir o objetivo geral, ou seja, realizar a análise comparativa entre madeira da Amazônia e madeira de floresta plantada para estruturas de coberturas, quanto ao custo financeiro e impacto ambiental, descrever-se-ão os procedimentos metodológicos necessários.

3.3 Análise do projeto

Nessa etapa do trabalho foi realizado o estudo de caso, o mesmo continha a obtenção dos dados e tratamento inicial, ou seja, os valores de madeira em comprimento de cada elemento para ambos os projetos, com os quantitativos obtidos.

Em seguida, com os dados fundamentais para o embasamento da análise, realizou-se a orçamentação dos valores de material (madeira) com três madeiras, cujo o processo de escolha está descrito no item 4.4.1 deste trabalho e os custos com mão de obra, obtidos por meio da tabela da SEINFRA. Em relação a mensuração do impacto ambiental será necessário o conhecimento dos volumes de madeira utilizada em cada projeto.

Por fim, foi feita a análise comparativa dos dois insumos em relação aos fatores descritos, custo financeiro e impacto ambiental.

4 ESTUDO DE CASO

Todo o processo de escolha dos materiais até a execução dos serviços de construção da estrutura de madeira para cobertura deve seguir as condições discriminadas no projeto disponibilizado.

A empresa responsável pela confecção dos projetos definiu os projetos em duas classificações, ambos os projetos seguem em anexo.

- a) Tradicional: onde é utilizado a madeira de origem amazônica, como maçaranduba;
- b) Industrializado: utiliza-se a madeira de floresta plantada, como eucalipto e pinus.

A empresa STAMADE, Consultoria em estruturas de madeira, a qual disponibilizou os projetos para a nossa análise, localiza-se na cidade de São Carlos e o responsável pelas informações é o Eng. Guilherme Stamato.

4.1 Projeto tradicional

É uma cobertura de quatro águas, apresentando em todas a declividade igual a 40%. As cargas verticais atuantes na estrutura são:

- a) Espigão: a carga vertical em cada apoio do espigão é igual a 5,93 kN, nesse projeto temos quatro espigões, sendo o total de quatro apoios;
- b) Vigas: a carga vertical em cada apoio da viga é igual a 4,10 kN; nesse projeto temos duas vigas, sendo o total de dois apoios;
- c) Tesoura: a carga vertical em cada apoio da tesoura é igual a 14,21 kN; nesse projeto temos quatro treliças, sendo o total de oito apoios.

4.1.1 Premissas do projeto tradicional

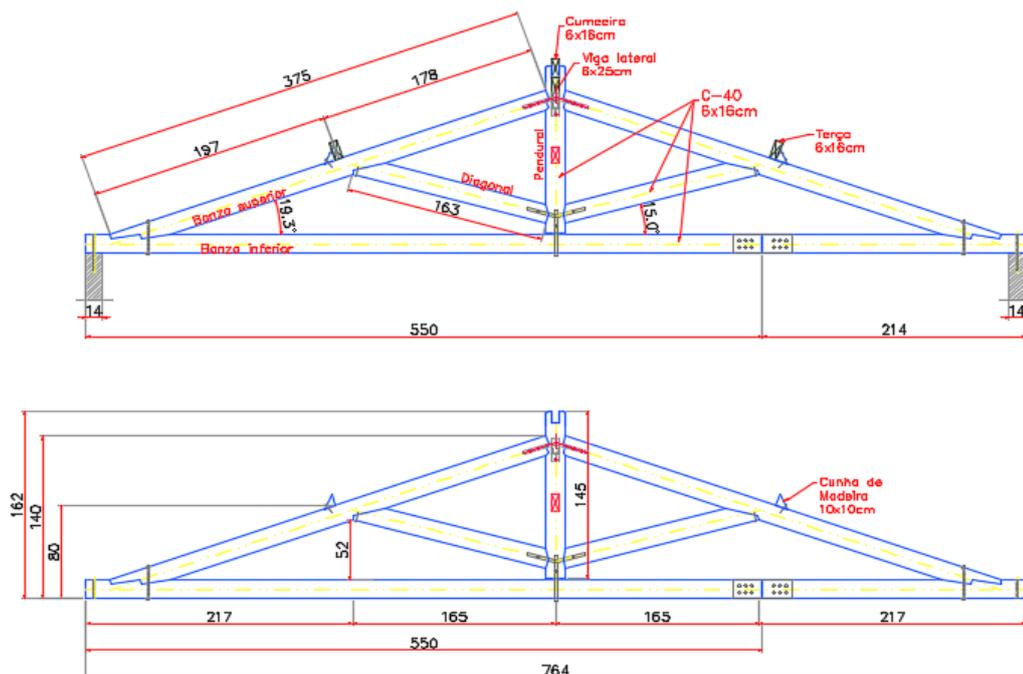
- a) As peças devem ser selecionadas visualmente, excluindo-se nós maiores que 3,0 cm, se estiverem nas bordas ou que representem mais de $\frac{1}{4}$ da seção da peça, e se estiverem na região central;
- b) Todas as peças devem ser de madeira C40 ou superior, com alta resistência natural a apodrecimento e ataque de cupim, ou deve receber proteção adequada (tratamento em autoclave, acabamento com stain, etc);

- c) Todas as peças metálicas devem ser galvanizadas a fogo;
- d) Todas as peças, com exceção das ripas, devem ser aparelhadas (superfície acabada) e as dimensões das peças podem variar, no máximo, 5 mm, em relação ao projeto;
- e) As emendas terças devem ser efetuadas sempre sobre os apoios;
- f) Cargas adotadas de acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997);
- g) As madeiras indicadas como C40 devem ter sua procedência comprovada pelo DOF (Documento de Origem Florestal);
- h) Caso não haja disponibilidade de ripas 3,5 x 5,0 cm, utilizar ripas 2,5 x 5,0 cm, com espaçamento máximo entre os caibros (4 x 10 cm) de 70 cm;
- i) Para instalação de cargas acima de 15 Kgf na estrutura do telhado, o projetista deve ser consultado.

4.1.2 Localização das treliças e terças no projeto tradicional

As tesouras apresentam vão teórico de 2,33 metros e são do tipo Howe, como pode-se observar na Figura 32.

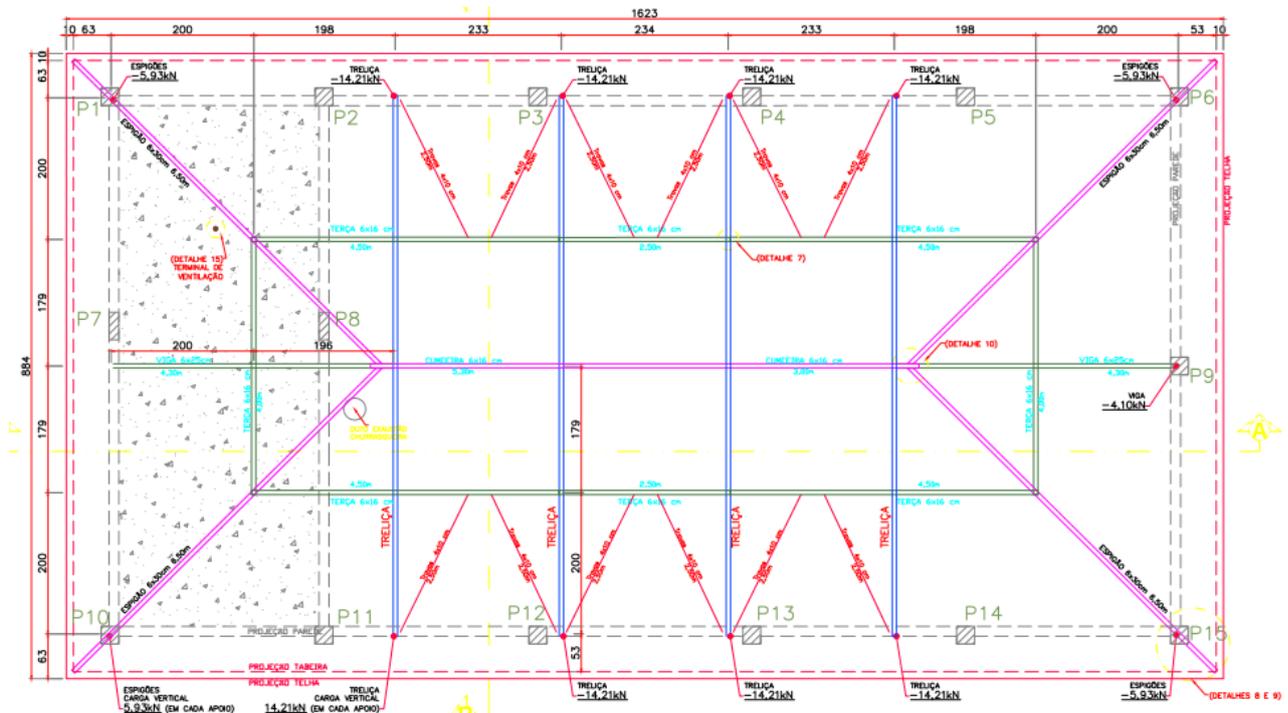
Figura 32 – Detalhe das treliças do projeto tradicional



Fonte: STAMADE (2012).

Na figura 33 pode-se observar a localização dos elementos da estrutura principal, como treliças, e da estrutura secundária, como as terças.

Figura 33- Localização das treliças e terças no projeto tradicional

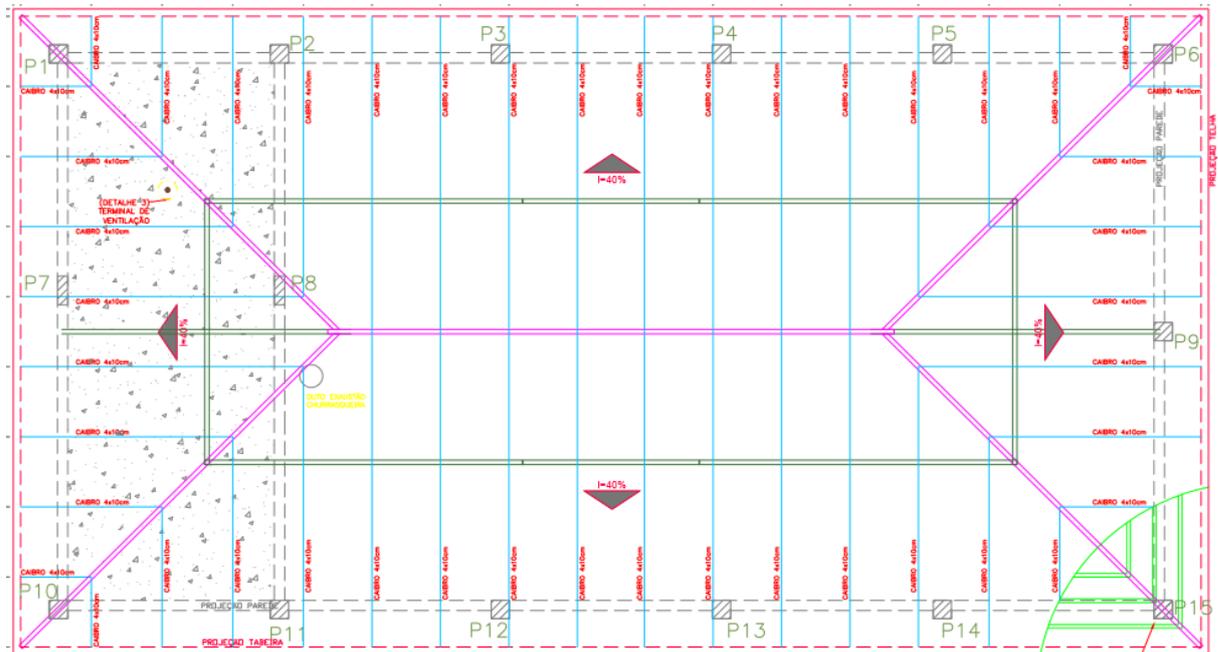


Fonte: STAMADE (2012).

4.1.3 Localização dos caibros e ripas no projeto tradicional

As ripas devem ser espaçadas de acordo com a telha cerâmica definida pela arquitetura. Na Figura 34 a seguir tem-se a locação dos caibros da estrutura, apresentando espaçamento de 0,96 metros no eixo A e 0,93 metros no eixo B, sendo apoiados sobre as terças e recebendo as cargas oriundas das ripas.

Figura 34 – Locação dos caibros na estrutura do projeto tradicional



Fonte: STAMADE (2012).

4.2 Projeto industrializado

É uma cobertura de quatro águas, apresentando em todas a declividade igual a 40%. As cargas verticais atuantes na estrutura são:

- Espigão: a carga vertical em cada apoio do espigão é igual a 3,30 kN, nesse projeto temos quatro espigões em formato de treliça (EA-01), sendo o total de quatro apoios;
- Tesoura: esse projeto apresenta cinco tipos de tesouras, sendo denominadas de TA-01, TA-02, TA-03, TA-04, TA-05 e TA-05D, sendo as cargas verticais iguais a 2,10 kN, 3,0 kN, 3,80 kN, 4,35 kN, 7,0 kN e 13,20 kN, respectivamente.

4.2.1 Premissas do projeto industrializado

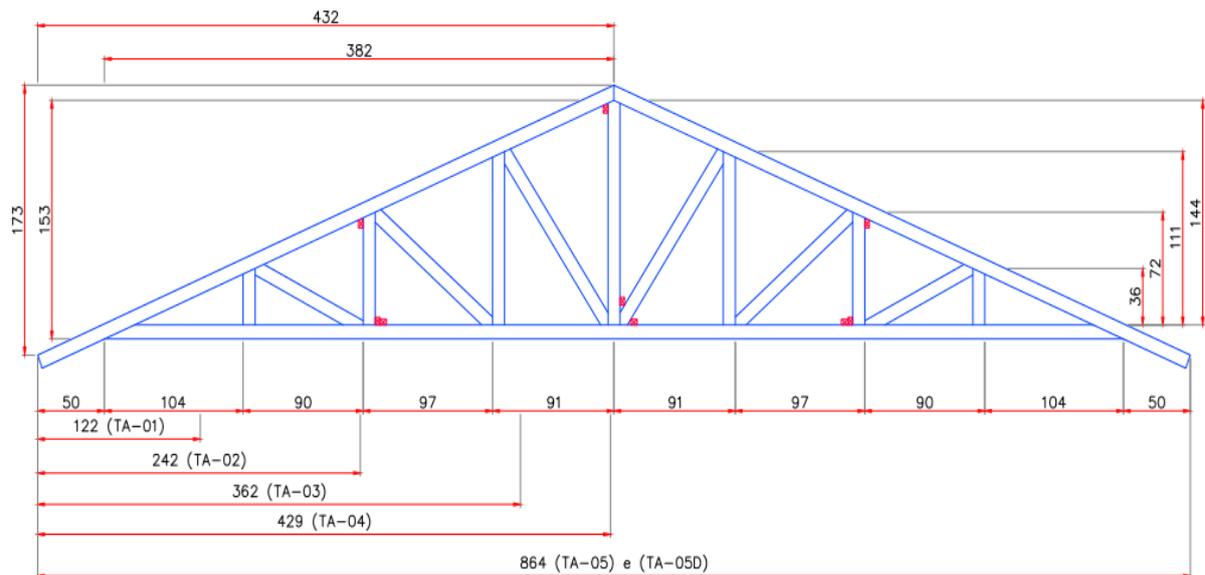
- As madeiras utilizadas devem ser: Eucalipto, classe C-30, e Pinus, classe C-25. As treliças e espigões devem ser aparelhados, pois ficarão aparentes;
- Toda madeira utilizada deve ser tratada com CCA, em autoclave;

- c) As peças utilizadas deverão ser selecionadas quanto aos seus defeitos naturais, não podendo apresentar nós maiores que 25% da seção, nem deformações excessivas que comprometam a geometria do telhado;
- d) Todas as peças metálicas devem ser galvanizadas a fogo;
- e) No lugar das ripas, utilizar sarrafos de seção 3,5 x 5,0 cm de eucalipto C30;
- f) As peças não devem apresentar diferença de seção maior que 2 mm;
- g) Para instalação de cargas acima de 15 Kgf na estrutura do telhado, o projetista deve ser consultado.

4.2.2 Localização dos elementos do projeto industrializado

As tesouras são do tipo Howe, como pode-se observar nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Detalhe das treliças do tipo TA-01 a TA-05D do projeto industrializado



Fonte: STAMADE (2009).

4.3 Obtenção dos dados e tratamento inicial

Para realização deste estudo foi disponibilizado um projeto de um salão de festas, utilizando os dois tipos de insumos de forma separada, ambos calculados para resistir aos mesmos esforços e ações, utilizando telha cerâmica portuguesa.

Em posse dos documentos, dimensionou-se o quantitativo de madeira utilizada para cada sistema, definindo a quantidade de peças, comprimento unitário de cada e as seções aplicadas conforme projeto.

O projeto tradicional já continha todo o levantamento de quantitativo, porém, o projeto industrializado apresentava somente a quantidade de cada componente da estrutura do telhado, como os sarrafos, treliças e ripas, e suas seções, portanto, sendo necessário o cálculo dos comprimentos de cada elemento aplicado.

Após a obtenção dos dados e o tratamento inicial, para quantificar os comprimentos dos elementos, foi necessário orçar cada projeto em relação ao material. No orçamento considerou-se apenas o material do tipo madeira, pois é o que interfere de forma mais significativa no preço final de materiais da estrutura.

Tabela 1 – Quantitativo de madeira para o projeto tradicional

PROJETO TRADICIONAL				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO UNITÁRIO (metros)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO TOTAL (metros)
VIGA	6 x 25 cm	4,5	2	9
ESPIGÃO	6 x 30 cm	6,5	4	26
CAIBRO	4 x 10 cm	4,5	32	144
	4 x 10 cm	5	14	70
TERÇA	6 x 16 cm	1,5	4	6
	6 x 16 cm	2	8	16
	6 x 16 cm	2,5	2	5
	6 x 16 cm	3	1	3
	6 x 16 cm	4	14	56
	6 x 16 cm	4,5	4	18
	6 x 16 cm	5,5	1	5,5
	6 x 16 cm	5,5	4	22
TABEIRA	2 x 20 cm	4,5	12	54
RIPA	3,5 x 5 cm	580 metros linear		

Fonte: Próprio autor (2016).

Tabela 2 – Quantitativo de madeira para o projeto industrializado

PROJETO INDUSTRIALIZADO				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO UNITÁRIO (metros)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO TOTAL (metros)
BARROTE	4 x 9cm	4	142	568
	4 x 9cm	5	3	15
	4 x 9cm	5,5	4	22
	4 x 9cm	6,5	4	26
SARRAFO	3,5 x 5 cm	790 metros linear		
RIPA	1,5 x 5 cm	60 metros linear		
TABEIRA	2 x 20 cm	60 metros linear		

Fonte: Próprio autor (2016).

4.4 Custos financeiros

4.4.1 Obtenção dos custos

Para que sejam mensurados os custos financeiros associados a confecção dos dois tipos de estruturas que estão em análise, neste trabalho foram realizados dois levantamentos, o primeiro foi o orçamento dos custos com a madeira, com empresas de atuação no mercado interno, e o segundo passo foi no cálculo do custo de execução da estrutura com base na tabela da SEINFRA/CE.

Para realizar a análise, foram coletados os custos para os dois tipos de insumos fornecidos por três empresas, definidas como madeireira A, B e C. Foram definidas as empresas por essas letras com o intuito de manter o sigilo de cada uma, mas todas estão localizadas na cidade de Fortaleza-CE.

Na escolha das três empresas levamos três critérios em consideração:

- a) Projeto: se os produtos ofertados atendiam as exigências do projeto;
- b) Materiais comercializados: se elas trabalhavam com os dois tipos de materiais, madeira amazônica e madeira de floresta plantada;
- c) Localização da madeireira: buscamos empresas localizadas em diferentes regiões da cidade, de forma a generalizar os valores trabalhados

As empresas estão localizadas nos bairros, messejana, montese e maraponga.

Após a escolha das madeireiras, realizou-se uma consulta com o setor de vendas de cada empresa, e orçamentamos os materiais empregados, com as seções e características

definidas em projeto que estão contidas no item 3.2. Em relação ao custo de execução das estruturas o valor irá permanecer constante para as três madeiras.

4.4.2 *Análise dos custos financeiros*

Para realização da análise dos custos financeiros obtidos, comparou-se os valores mínimos, médios e máximos de cada empresa para cada tipo de material empregado. Utilizando a ferramenta *Excel* para montar os gráficos comparativos.

4.5 Emissão de fontes não renováveis

Como medida comparativa do impacto ambiental associada a cada sistema empregado, mensurou-se a quantidade em quilograma de gás carbônico gerado por metro cúbico de madeira utilizada no projeto tradicional e industrializado, admitindo como fontes não renováveis a emissão de gás carbônico.

Para isso, como fonte de consulta das emissões de CO₂ para cada material, tomou-se como referência Sacco (2016), onde está mencionado no item 2.4 deste trabalho. Com base nos quantitativos de madeira obtidos no tópico 4.3 e nas emissões referenciadas no tópico 2.4, quantificou-se a quantidade de gás carbônico emitida por cada aplicação e, por fim, realizou-se a análise comparativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentar-se-ão os resultados obtidos para cada projeto, tradicional e industrializado.

5.1 Custo financeiro

5.1.1 Projeto tradicional

5.1.1.1 Custo de execução da estrutura do sistema tradicional

De acordo com a tabela da SEINFRA/CE, na qual apresenta os custos com materiais e mão de obra de diversos sistemas construtivos, pode-se obter o custo de execução, ou seja, de mão de obra para o serviço de construção da estrutura de madeira tradicional. Nesse tipo de projeto utiliza-se elementos como ripas, caibros, terças, tesoura, contraventamentos, entre outros.

Sabendo-se que o projeto foi dimensionamento para telha cerâmica e que o vão da cobertura está entre 7 e 10 metros, utilizou-se a composição unitária de custo C1337 da tabela, onde descreve “Estrutura de madeira para telha cerâmica ou concreto com vão de 7 a 10 metros (Tesouras, Terças e Contraventamentos)”, que dimensiona o valor de mão de obra em R\$ 19,20 reais por metro quadrado de telhado, e a composição, C4460 da mesma tabela, onde descreve “Madeiramento para telha cerâmica (Ripa, Caibro e Linha)”, que dimensiona o valor de mão de obra em R\$ 12,80 reais por metro quadrado, dessa forma, tem-se o valor de R\$ 32,00 reais por metro quadrado de telhado para o sistema construtivo adotado. Salientando-se que não estão incluídos os custos com encargos sociais no valor adotado. Sabendo que a cobertura apresenta comprimento de 16,03 metros por 8,64 metros de largura, conseqüentemente, a área do telhado vai ser igual a 138,50 metros quadrado.

Portanto, o custo total de execução da estrutura tradicional, segundo a tabela da SEINFRA/CE, será de R\$ 4 431,97 reais.

Utilizou-se o mesmo valor calculado anteriormente para a execução das três opções de madeiras.

5.1.1.2 Custo de material do sistema tradicional

5.1.1.2.1 Madeireira A

Tabela 3 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira A (Tradicional)

PROJETO TRADICIONAL - MADEIREIRA A				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
VIGA	6 x 25 cm	9	R\$ 42,00	R\$ 378,00
ESPIGÃO	6 x 30 cm	26	R\$ 52,50	R\$ 1.365,00
CAIBRO	4 x 10 cm	144	R\$ 12,50	R\$ 1.800,00
	4 x 10 cm	70	R\$ 12,50	R\$ 875,00
TERÇA	6 x 16 cm	6	R\$ 22,60	R\$ 135,60
	6 x 16 cm	16	R\$ 22,60	R\$ 361,60
	6 x 16 cm	5	R\$ 22,60	R\$ 113,00
	6 x 16 cm	3	R\$ 22,60	R\$ 67,80
	6 x 16 cm	56	R\$ 22,60	R\$ 1.265,60
	6 x 16 cm	18	R\$ 22,60	R\$ 406,80
	6 x 16 cm	5,5	R\$ 22,60	R\$ 124,30
	6 x 16 cm	22	R\$ 22,60	R\$ 497,20
TABEIRA	2 x 20 cm	54	R\$ 20,90	R\$ 1.128,60
RIPA	3,5 x 5 cm	580	R\$ 3,20	R\$ 1.856,00
			VALOR TOTAL	R\$ 10.374,50

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.1.2.2 Madeireira B

Tabela 4 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira B (Tradicional)

PROJETO TRADICIONAL - MADEIREIRA B				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
VIGA	6 x 25 cm	9	R\$ 50,54	R\$ 454,88
ESPIGÃO	6 x 30 cm	26	R\$ 60,64	R\$ 1.576,60
CAIBRO	4 x 10 cm	144	R\$ 13,24	R\$ 1.906,24
	4 x 10 cm	70	R\$ 13,24	R\$ 926,52
TERÇA	6 x 16 cm	6	R\$ 22,25	R\$ 133,48
	6 x 16 cm	16	R\$ 22,25	R\$ 355,92
	6 x 16 cm	5	R\$ 22,25	R\$ 111,24
	6 x 16 cm	3	R\$ 22,25	R\$ 66,74
	6 x 16 cm	56	R\$ 22,25	R\$ 1.245,72
	6 x 16 cm	18	R\$ 22,25	R\$ 400,44
	6 x 16 cm	5,5	R\$ 22,25	R\$ 122,35
	6 x 16 cm	22	R\$ 22,25	R\$ 489,40
TABEIRA	2 x 20 cm	54	R\$ 17,94	R\$ 968,76
RIPA	3,5 x 5 cm	580	R\$ 3,30	R\$ 1.914,00
			VALOR TOTAL	R\$ 10.672,29

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.1.2.3 Madeira C

Tabela 5 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira C (Tradicional)

PROJETO TRADICIONAL - MADEIREIRA C				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
VIGA	6 x 25 cm	9	R\$ 85,00	R\$ 765,00
ESPIGÃO	6 x 30 cm	26	R\$ 85,00	R\$ 2.210,00
CAIBRO	4 x 10 cm	144	R\$ 14,90	R\$ 2.145,60
	4 x 10 cm	70	R\$ 14,90	R\$ 1.043,00
TERÇA	6 x 16 cm	6	R\$ 24,30	R\$ 145,80
	6 x 16 cm	16	R\$ 24,30	R\$ 388,80
	6 x 16 cm	5	R\$ 24,30	R\$ 121,50
	6 x 16 cm	3	R\$ 24,30	R\$ 72,90
	6 x 16 cm	56	R\$ 24,30	R\$ 1.360,80
	6 x 16 cm	18	R\$ 24,30	R\$ 437,40
	6 x 16 cm	5,5	R\$ 24,30	R\$ 133,65
	6 x 16 cm	22	R\$ 24,30	R\$ 534,60
TABEIRA	2 x 20 cm	54	R\$ 39,11	R\$ 2.112,00
RIPA	3,5 x 5 cm	580	R\$ 1,91	R\$ 1.105,80
			VALOR TOTAL	R\$ 12.576,85

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.2 Projeto industrializado

5.1.2.1 Custo de execução da estrutura do sistema industrializado

Para obtenção do valor de mão de obra associado a execução da estrutura de madeira para o sistema industrializado, foi baseado na tabela da SEINFRA/CE.

Neste sistema construtivo utiliza-se tesouras, contraventamentos e caibros, sendo assim, as composições unitárias de custo utilizadas para tal mensuração é a C1337, onde descreve “Estrutura de madeira para telha cerâmica ou concreto com vão de 7 a 10 metros (Tesouras, Terças e Contraventamentos)”, que dimensiona o valor de mão de obra em R\$ 19,20 reais por metro quadrado de telhado, e a composição C4459, onde descreve “Madeiramento para telha cerâmica (Ripa e Caibro)”, que dimensiona o valor de mão de obra em R\$ 15,605 reais por metro quadrado, dessa forma, teremos o valor de R\$ 34,805 reais por metro quadrado de telhado para o sistema construtivo adotado. Salientando-se que não estão incluídos os custos com encargos sociais no valor adotado. Sabendo que a cobertura apresenta

comprimento de 16,03 metros por 8,64 metros de largura, conseqüentemente, a área do telhado vai ser igual a 138,50 m².

Portanto, o custo total de execução da estrutura tradicional, segundo a tabela da SEINFRA, será de R\$ 4 820,46 reais. Iremos utilizar o mesmo valor calculado para a execução das três opções de madeiras.

5.1.2.2 Custo de material do sistema industrializado

5.1.2.2.1 Madeira A

Tabela 6 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeira A (Industrializado)

PROJETO INDUSTRIALIZADO - MADEIREIRA A				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
BARROTE	4 x 9cm	568	R\$ 4,90	R\$ 2.783,20
	4 x 9cm	15	R\$ 4,90	R\$ 73,50
	4 x 9cm	22	R\$ 4,90	R\$ 107,80
	4 x 9cm	26	R\$ 4,90	R\$ 127,40
SARRAFO	3,5 x 5 cm	790	R\$ 2,50	R\$ 1.975,00
RIPA	1,5 x 5 cm	60	R\$ 1,30	R\$ 78,00
TABEIRA	2 x 20 cm	60	R\$ 4,40	R\$ 264,00
VALOR TOTAL				R\$ 5.408,90

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.2.2.2 Madeira B

Tabela 7 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeira B (Industrializado)

PROJETO INDUSTRIALIZADO - MADEIREIRA B				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
BARROTE	4 x 9cm	568	R\$ 4,70	R\$ 2.669,60
	4 x 9cm	15	R\$ 4,70	R\$ 70,50
	4 x 9cm	22	R\$ 4,70	R\$ 103,40
	4 x 9cm	26	R\$ 4,70	R\$ 122,20
SARRAFO	3,5 x 5 cm	790	R\$ 2,40	R\$ 1.896,00
RIPA	1,5 x 5 cm	60	R\$ 1,50	R\$ 90,00
TABEIRA	2 x 20 cm	60	R\$ 4,20	R\$ 252,00
VALOR TOTAL				R\$ 5.203,70

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.2.2.3 Madeira C

Tabela 8 – Custo financeiro com madeira fornecido pela madeireira C (Industrializado)

PROJETO INDUSTRIALIZADO - MADEIREIRA C				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	VALOR UNITÁRIO (R\$/metro)	VALOR POR PEÇA
BARROTE	4 x 9cm	568	R\$ 4,80	R\$ 2.726,40
	4 x 9cm	15	R\$ 4,80	R\$ 72,00
	4 x 9cm	22	R\$ 4,80	R\$ 105,60
	4 x 9cm	26	R\$ 4,80	R\$ 124,80
SARRAFO	3,5 x 5 cm	790	R\$ 2,60	R\$ 2.054,00
RIPA	1,5 x 5 cm	60	R\$ 1,40	R\$ 84,00
TABEIRA	2 x 20 cm	60	R\$ 4,80	R\$ 288,00
			VALOR TOTAL	R\$ 5.454,80

Fonte: Próprio autor (2016).

5.1.3 Análise comparativa em relação a custo financeiro

Após a apresentação dos resultados obtidos para cada sistema construtivo aplicado, iremos realizar a análise comparativa em relação a custo financeiro para os dois insumos, a madeira da floresta amazônica e a madeira de floresta plantada.

Conforme foi mencionado no item 3, Metodologia, analisar-se-á os custos em relação aos valores mínimos, médios e máximos.

Tabela 9 – Custo total para o projeto tradicional

PROJETO TRADICIONAL			
	CUSTO COM MATERIAL	CUSTO COM MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL
MADEIREIRA A	R\$ 10.374,50	R\$ 4.431,97	R\$ 14.806,47
MADEIREIRA B	R\$ 10.672,29	R\$ 4.431,97	R\$ 15.104,26
MADEIREIRA C	R\$ 12.576,85	R\$ 4.431,97	R\$ 17.008,82

Fonte: Próprio autor (2016).

Tabela 10 – Custo total para o projeto industrializado

PROJETO INDUSTRIALIZADO			
	CUSTO COM MATERIAL	CUSTO COM MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL
MADEIREIRA A	R\$ 5.408,90	R\$ 4.820,46	R\$ 10.229,36
MADEIREIRA B	R\$ 5.203,70	R\$ 4.820,46	R\$ 10.024,16
MADEIREIRA C	R\$ 5.454,80	R\$ 4.820,46	R\$ 10.275,26

Fonte: Próprio autor (2016).

A Tabela 11 a seguir mostra o comparativo dos valores obtidos para cada sistema construtivo, sendo ilustrada pelos Gráficos 1, 2 e 3.

Tabela 11 – Comparativo dos valores obtidos para cada insumo

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
TRADICIONAL	R\$ 14.806,47	R\$ 15.639,85	R\$ 17.008,82
INDUSTRIALIZADO	R\$ 10.024,16	R\$ 10.176,26	R\$ 10.275,26

Fonte: Próprio autor (2016).

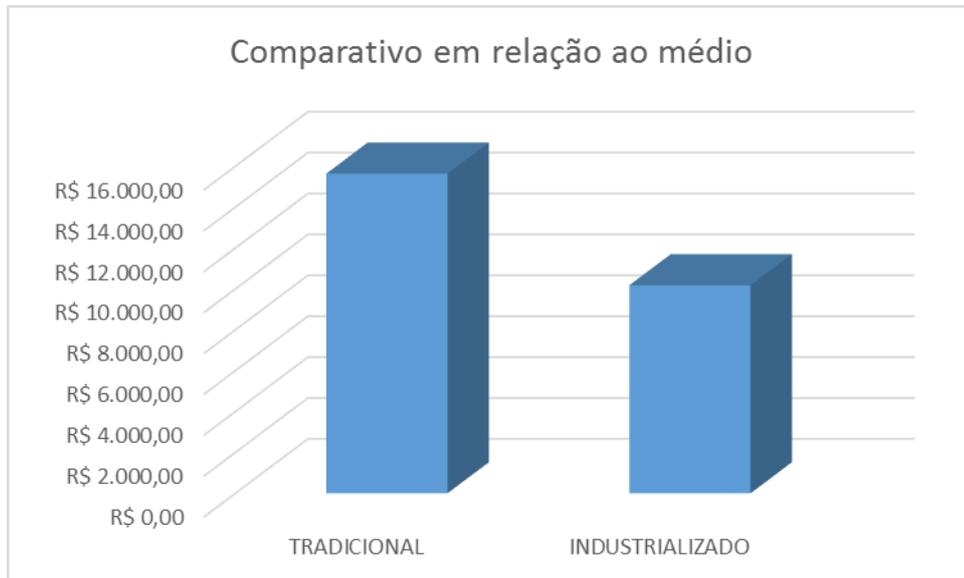
A seguir são apresentados os gráficos com as comparações.

Gráfico 1 – Comparativo em relação aos valores mínimos



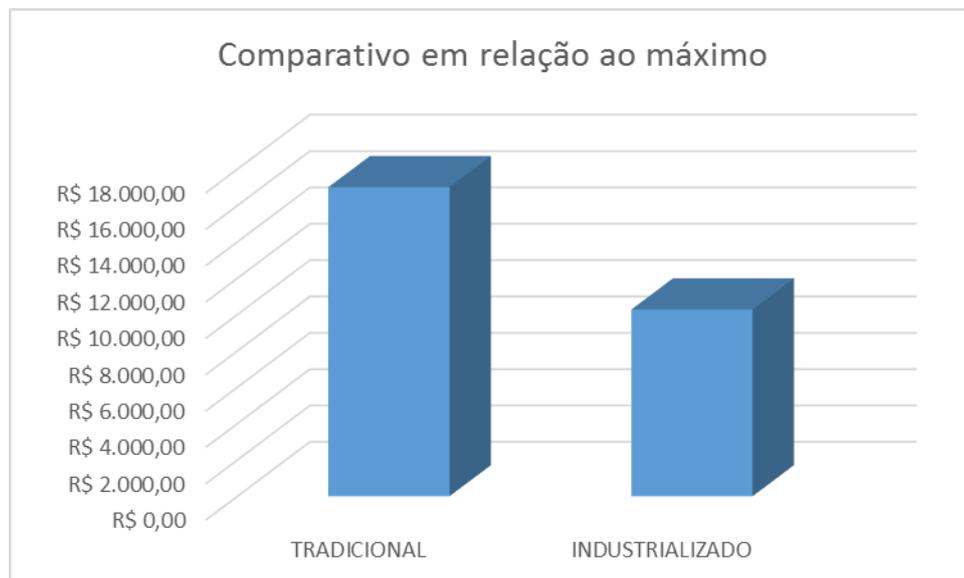
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 2 – Comparativo em relação aos valores médios



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 3 – Comparativo em relação aos valores máximos



Fonte: Próprio autor.

Realizando a apreciação dos valores, verifica-se que a madeira de floresta plantada, que é aplicada ao sistema industrializado, é mais econômica em todos os comparativos, apresentando a economia de 32,30% na comparação do mínimo, 34,93% em relação ao médio e 39,60% em relação ao máximo.

5.2 Emissão de gás carbônico dos projetos

5.2.1 Projeto tradicional

Tabela 12 – Volume de madeira utilizada no projeto tradicional

PROJETO TRADICIONAL				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	ÁREA DA SEÇÃO (m ²)	VOLUME POR PEÇA (m ³)
VIGA	6 x 25 cm	9	0,015	0,135
ESPIGÃO	6 x 30 cm	26	0,018	0,468
CAIBRO	4 x 10 cm	144	0,004	0,576
	4 x 10 cm	70	0,004	0,28
TERÇA	6 x 16 cm	6	0,0096	0,0576
	6 x 16 cm	16	0,0096	0,1536
	6 x 16 cm	5	0,0096	0,048
	6 x 16 cm	3	0,0096	0,0288
	6 x 16 cm	56	0,0096	0,5376
	6 x 16 cm	18	0,0096	0,1728
	6 x 16 cm	5,5	0,0096	0,0528
	6 x 16 cm	22	0,0096	0,2112
TABEIRA	2 x 20 cm	54	0,004	0,216
RIPA	3,5 x 5 cm	580	0,00175	1,015
			VOLUME TOTAL	3,9524

Fonte: Próprio autor (2016).

5.2.2 Projeto industrializado

Tabela 13 – Volume de madeira utilizada no projeto industrializado

PROJETO INDUSTRIALIZADO				
	SEÇÃO	COMPRIMENTO TOTAL (metros)	ÁREA DA SEÇÃO (m ²)	VOLUME POR PEÇA (m ³)
BARROTE	4 x 9cm	568	0,0036	2,0448
	4 x 9cm	15	0,0036	0,054
	4 x 9cm	22	0,0036	0,0792
	4 x 9cm	26	0,0036	0,0936
SARRAFO	3,5 x 5 cm	790	0,00175	1,3825
RIPA	1,5 x 5 cm	60	0,00075	0,045
TABEIRA	2 x 20 cm	60	0,004	0,24
			VOLUME TOTAL	3,9391

Fonte: Próprio autor (2016).

5.2.3 Análise comparativa em relação a emissão de gás carbônico

Para se identificar qual a melhor alternativa em relação a emissão de CO₂ gerado pela aplicação dois tipos de sistemas construtivos, será mensurada a emissão em quilograma de CO₂ por metro cúbico de madeira em cada processo.

Na literatura, conforme mencionado no item 2.4 deste trabalho, obter-se-ão os valores de CO₂ para cada insumo, logo após, com o conhecimento dos quantitativos do volume de madeira de cada projeto, quantificou-se a emissão das fontes não renováveis.

No caso do sistema tradicional, onde utiliza-se madeira da floresta amazônica, a emissão de CO₂ é de 3648 Kg por m³ de madeira. No entanto, para o sistema industrializado, a emissão é de 221 Kg de CO₂ por m³ de madeira.

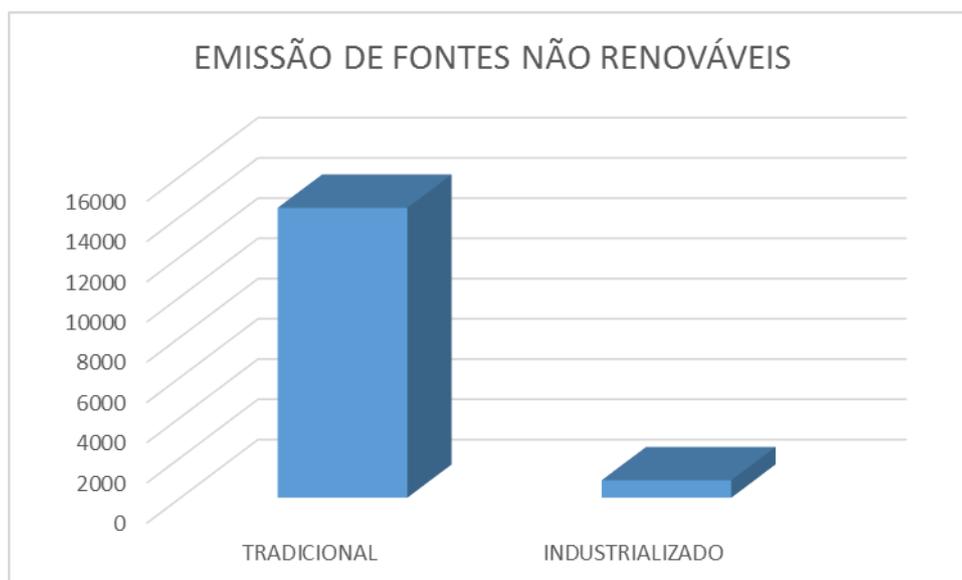
No Gráfico 4 visualiza-se a diferença na emissão para os valores obtidos na Tabela 14.

Tabela 14 – Emissão de CO₂ por sistema construtivo

	VOLUME DE MADEIRA (m ³)	EMIÇÃO DE KG DE CO ₂ POR m ³	QUANTIDADE DE CO ₂ EMITIDA
TRADICIONAL	3,9524	3648	14418,3552
INDUSTRIALIZADO	3,9391	221	870,5411

Fonte: Próprio autor (2016).

Gráfico 4 – Comparativo em relação a emissão de fontes não renováveis



Fonte: Próprio autor (2016).

A emissão em quilograma de CO₂ para o meio ambiente para a construção por meio do sistema tradicional, ou seja, utilizando madeira da floresta amazônica, é 16,5 vezes superior a emissão para o sistema industrializado. Desse modo, verificou-se que o sistema industrializado provoca menor dano ao meio ambiente quando comparado ao sistema tradicional.

6 CONCLUSÕES

Visando atingir o objetivo geral deste trabalho, ou seja, realizar a análise comparativa entre a utilização da madeira da Amazônia e de madeira de floresta plantada, em relação ao custo financeiro, como material e mão de obra, e a emissão de gás carbônico, para estruturas de cobertura em edificações, fazendo estudo de um projeto desenvolvido para os dois tipos de sistemas.

Dessa forma, foram realizados diversos levantamentos de informações para embasar uma análise mais assertiva, desde da revisão sobre estruturas de madeira, que deu subsídio para o estudo mais preciso do projeto, até o conhecimento das técnicas de tratamento da madeira que possam estender a sua vida útil.

Após todo o processo de estudo das características dos materiais e do projeto, associados ao desenvolvimento do trabalho, verificou-se que a madeira de floresta plantada aponta para ser a melhor alternativa quando comparada com a madeira amazônica, em relação ao custo financeiro e ao impacto ambiental promovido.

A solução proposta contribui na redução de custo de, aproximadamente, de 34,93%, em média, quando comparada com o sistema tradicional. Porém, para a implantação desse sistema nos projetos é necessário que exista interesse empresarial em ampliar a disseminação desse insumo, anulando as restrições dessa alternativa e tornando-a mais eficiente.

Em função das mudanças climáticas e as evidências da atuação do homem associadas ao aumento da concentração dos gases na atmosfera, é importante tornar os processos e alternativas para aplicação na construção civil mais sustentáveis, pensando nisso, foi realizado a análise quanto a emissão de gás carbônico provocado por cada sistema construtivo, verificando após o estudo, que a o sistema industrializado, apresentou emissão de gás carbônico, no projeto, 16,5 vezes menor que o sistema tradicional, indicando assim, a grande vantagem do uso dessa alternativa.

É importante que seja disponibilizado um guia de aplicação desse equipamento, por se tratar de um sistema construtivo pouco difundido na região nordeste. O manual deve ser voltado para construtores e usuários, como para engenheiros, arquitetos e projetistas, a fim de definir previamente as possibilidades de ampliação e, se necessário, detalhar soluções diferenciadas.

Com relação a mão de obra para execução do sistema industrializado é importante que apresente boa capacitação, para garantir a qualidade e segurança na montagem da

estrutura, além disso, observar os métodos de tratamento utilizados em cada insumo, verificando se estão de acordo com os requeridos em projeto.

Porém, existem alguns pontos que podem ser analisados de modo a garantir uma melhor decisão sobre qual insumo adotar, tais como: tempo de montagem, custo com projeto estrutural, custo com manutenção e a mensuração do impacto promovido pelo tratamento da madeira, os quais são as sugestões para trabalhos futuros.

Entre as quatro variáveis que podem colaborar com a melhor tomada de decisão do sistema construtivo da cobertura, acredita-se que algumas favorecem a madeira plantada, como o tempo de montagem da estrutura e o custo com projeto estrutural, outras imaginamos que desfavorecem, como o custo com manutenção e o impacto ambiental do tratamento químico da madeira.

Em relação a última variável, não foi conseguido mensurar a dimensão do impacto ambiental provocado, visto aos poucos estudos realizados sobre tal tema, seria interessante para se ter maior certeza sobre a diferença ou não na emissão de gás carbônico.

A partir da avaliação e da proposta apresentada neste trabalho, acredita-se que o sistema trará enormes ganhos econômicos e ambientais se amplamente disseminado na indústria da construção civil na região nordeste, em especial, na cidade de Fortaleza. Salientando que a norma de desempenho, NBR 15575 exige que todo empreendimento tenha projeto de telhado, ou seja, fazendo com que o setor de estrutura de madeira para coberturas tenha abertura para crescimento, com isso, trazendo oportunidades de novos negócios e desenvolvimento econômico para a região e setor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Produtos de madeira**. Curitiba, 2004. Artigo técnico 15. Disponível em:

http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=8&Itemid=37 Acesso em: 08 agosto 2016.

_____. **Estudo setorial**. Curitiba, 2007. Disponível em:

<http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/2007.pdf> Acesso em 01 dezembro 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais – desempenho – parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTA PLANTADA. **Anuário estatístico**. Brasília-DF, 2013. Disponível em:

<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf> Acesso em 01 dezembro 2016

BARBOSA, J. C.; INO, A. Cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento – análise do ciclo de vida (LCA) e indicadores de sustentabilidade. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. **Anais** em Cd-rom. São Carlos, 2000.

BITTENCOURT, R. M. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BORGES, A. de C. **Prática das pequenas construções**. Revisão José Simão Neto e Walter Costa Filho. 9. ed. revista e ampliada. São Paulo: Blucher, 2009, v. 1.

CAMPOS, E. F. de. **Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia**: o caso da exploração convencional. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CARDOSO, F. F.; OLIVEIRA, L. A. de; MARTINS, M. G. **Coberturas em telhados**. São Paulo: 2000.

DE OLIVEIRA, R. Viabilidades da madeira para habitação. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais do VI EBRAMEM**. Florianópolis, 1998.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. de. **Processos práticos para preservar a madeira**. Colombo, PR, 2004.

GUERRA, J.; MAGALHÃES, B.; GOMES, M.; FONSECA, R. **Materiais de construção II: coberturas**. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010. Disponível em: <http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Construcoes/Coberturas.pdf>. Acesso em: 08 agosto 2016.

INO, A.; PINTO, E. M. A segurança contra incêndio e habitação em madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 8, 2002, Uberlândia. **Anais** em CD-ROM. Uberlândia, 2002.

INO, A.; SHIMBO, I. A madeira de reflorestamento como alternativa sustentável para a produção de habitação social. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais do VI EBRAMEM**. Florianópolis, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Tratamento e secagem da madeira**. Piracicaba, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmicas: manual de execução**. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

_____. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT; Secretária do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo; Sinduscon-SP, 2003.

LOGSDON, N.B. **Estrutura de madeira para cobertura, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

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

MORESCHI, J. C. **Métodos de tratamento da madeira**. 4. ed. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2013, v. 3.

OLIVEIRA, C. F. de. **Autoconstrução em madeira: estudo de caso Florianópolis/SC**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SACCO, M. **Madeira de reflorestamento na construção civil: Pegada de carbono**. São Paulo, 2016.

SILVA, A. J. da C. e. **Cobertura**. Recife, 2004.

SOBRAL, L.; VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; AZEVEDO, T.; SMERALDI, R. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém, 2002.

SZÜCS, C. P. **Autoconstrução em madeira**. Florianópolis, 1992.

**ANEXO – PROJETO DA ESTRUTURA DE MADEIRA PARA COBERTURA –
TRADICIONAL E INDUSTRIALIZADO**

PLANTA DE COBERTURA
LOCAÇÃO DAS TRELIÇAS E TERÇAS DO TELHADO
 ESCALA 1:50

PLANTA DE COBERTURA
LOCAÇÃO DOS CUIBROS DO TELHADO
 ESCALA 1:50

TRILHAS (SABO)
 ESCALA 1:50

CORTE AA
 ESCALA 1:50

CORTE BB
 ESCALA 1:50

DETALHE 1: ESCALA 1:10

DETALHE 2: ESCALA 1:10

DETALHE 3: ESCALA 1:10

DETALHE 4: ESCALA 1:10

DETALHE 5: ESCALA 1:10

DETALHE 6: ESCALA 1:10

DETALHE 7: ESCALA 1:10

DETALHE 8: ESCALA 1:10

DETALHE 9: ESCALA 1:10

DETALHE 10: ESCALA 1:10

DETALHE 11: ESCALA 1:10

DETALHE 12: ESCALA 1:10

DETALHE 13: ESCALA 1:10

DETALHE 14: ESCALA 1:10

DETALHE 15: ESCALA 1:10

LEGENDA (ESCALA 1:10)

- TERÇAS
- CUIBROS
- TRILHAS
- VIGAS
- ESQUINAS
- RELIQUAS
- TRAVES
- TABEIRAS

NOTA: MEDIDAS EM CENTIMETROS

SEGMENTO - PÓLO ECONÓMICO

TELHADO

LOCALIZAÇÃO E DETALHAMENTO

2102

RB

