

REGINAL FERREIRA DA COSTA FILHO

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM MADEIRA: MODELO DE REFERÊNCIA
PARA HABITAÇÃO NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

C837s
2017
Costa Filho, Reginal Ferreira da, 1986-
Sistema construtivo em madeira : modelo de referência para
habitação na Zona da Mata de Minas Gerais / Reginal Ferreira da
Costa Filho. – Viçosa, MG, 2017.
xv, 89f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.81-82.

1. Casas de madeira. 2. Estruturas de madeira (Construção civil). 3. Arquitetura de habitação. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. II. Título.


CDD 22 ed. 694.1

REGINAL FERREIRA DA COSTA FILHO


**SISTEMA CONSTRUTIVO EM MADEIRA: MODELO DE REFERÊNCIA
PARA HABITAÇÃO NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de maio de 2017.



Andressa Carmo Pena Martinez
(Coorientadora)



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Coorientador)



Marcos Oliveira de Paula



Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por me conceder sabedoria e discernimento.

Aos meus pais, Sindalva Teófilo e Reginal Ferreira, pelo apoio e por todo o amor, por tudo que me ensinaram e contribuíram para o meu percurso acadêmico.

Aos meus irmãos Rodrigo e Évellyn, que me apoiaram e estiveram ao meu lado para realização deste trabalho.

Ao meu primo Rejian Junior (*In memoriam*), pelo companheirismo e incentivo para a busca de um novo conhecimento.

Ao meu tio Jaltair Teófilo, pela oportunidade de convívio e aprendizado sobre a tecnologia construtiva em madeira que despertaram em mim o interesse investigativo por este tema.

Ao meu orientador, Prof. Antônio Tibiriçá, por todo o tempo que disponibilizou em prol deste trabalho e o conhecimento transmitido. Seus ensinamentos transcenderam a busca de conhecimento técnico científico e foi uma lição de vida, sendo fundamental para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores que transmitiram seus conhecimentos nas disciplinas, contribuindo efetivamente para a realização deste trabalho.

Aos professores Leonardo Pedroti e Andressa Martinez pela disposição para correção e pela contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento da Engenharia Florestal, por meio do Professor Marcos Oliveira de Paula, pelo apoio e ajuda para aprimorar este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, por meio do Marcel Alves, aluno de doutorado, que gentilmente atualizou os dados climáticos da cidade de Viçosa, sendo fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo de pesquisa TAUMA (Tecnologias em Arquitetura, Urbanismo e Meio Ambiente), pelos conhecimentos compartilhados e pelas oportunidades de trabalho enriquecedoras.

A Renata Soares, companheira de mestrado e sempre disponível em compartilhar seus conhecimentos, contribuindo desde o início para o desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários da Diretoria do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, que foram atenciosos e educados para o agendamento das reuniões de orientação e me incentivaram em todo o percurso para concretização da dissertação.

Aos amigos Marshall Victor e Fábio Zamboni, por compartilharem Vossos conhecimentos e a companhia durante o mestrado.

À FAPEMIG, pela concessão de bolsas de estudo por um ano, o que possibilitou a execução deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFV, pela oportunidade de ingressar na carreira científica, especialmente ao coordenador Túlio Tibúrcio e ao secretário Déulio Coutinho, que desde a inscrição para o processo seletivo foram determinantes para o bom convívio no departamento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 Uso da Madeira para Fins Construtivos	7
2.1.1 Influência do clima nas características da madeira	9
2.2 Condições de Exposição Higrotérmica na Microrregião de Viçosa.....	10
2.2.1 Sistema de classificação climática de Köppen-Geiger.....	10
2.2.2 Classificação de Köppen-Geiger para o zoneamento climático da Mesorregião Zona da Mata do Estado de Minas Gerais	10
2.2.3 Dados climatológicos Viçosa-MG	12
2.2.4 Classes de umidade	13
2.3 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	14
2.3.1 Classes de resistência das madeiras dicotiledôneas	17
2.4 Processos e procedimentos para construção em madeira	18
3. METODOLOGIA	23
3.1 Condições de exposição higrotérmica	24
3.2 Levantamento e características de madeiras dicotiledôneas para uso na construção de edificações habitáveis na microrregião de Viçosa-MG.....	25
3.3 Sistema construtivo em madeira.....	25

4. PROCEDIMENTOS PARA O BENEFICIAMENTO, COMERCIALIZAÇÃO E USO DA MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA E REGIÃO 27	
4.1 Conclusão estudo de caso	39
5. SISTEMA CONSTRUTIVO EM MADEIRA COM COMPONENTES ESTRUTURAIS TIPO VIGA E PILAR E PRANCHAS DE PAREDE COM ENCAIXE MACHO-FÊMEA	40
5.1 Taxonomia dos Subsistemas de Estrutura Portante, Vedação Vertical e Vedação Horizontal (Elementos e Componentes).....	40
5.2 Ligação e fixação entre os elementos	51
5.3 Cuidados, tratamento e produtos preservantes	56
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6.1 Diretrizes construtivas utilizando o zoneamento bioclimático brasileiro.....	59
6.2 Proposição de modelo de referência para habitação em sistema construtivo em madeira com possibilidade de ampliação horizontal e vertical	61
6.3 Projeto de montagem de construção em madeira tipo viga e pilar	70
7. CONCLUSÃO	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia para usar o conceito de desempenho.	8
Figura 2 – Zoneamento climático da mesorregião da zmm, classificação climática de köppen-geiger.....	11
Figura 3 – Direção de crescimento das fibras.	15
Figura 4 – Solicitação de esforços por compressão (a) paralela;(b) normal/perpendicular as fibras	15
Figura 5 – Solicitação de esforços por tração (a) paralela (b) normal as fibras.....	16
Figura 6 – Cisalhamento horizontal	16
Figura 7 – Flexão simples	17
Figura 8 – Matérias-primas extraídas a serem transportadas para serraria (a) colheita; (b) transporte; (c) serraria.	19
Figura 9 – Desdobro das toras em madeira numa serraria com serra fita.	19
Figura 10 – Processo de beneficiamento da madeira em elementos construtivos funcionais: (a) aparelhamento; (b) paredes de vedação.....	20
Figura 11 – Elementos construtivos pré-fabricados armazenados em galpão: (a) em condições para aplicação; (b) transporte para o uso final na construção.....	20
Figura 12 – Início da montagem do subsistema de estrutura portante.....	21
Figura 13 – Processo de montagem do subsistema de vedação vertical .. (a) ligação entre parede e pilar; (b) preenchimento das paredes nos canais dos pilares.	21
Figura 14 – Subsistemas estrutural e de vedações vertical e horizontal concluídos: (a) vista externa; (b) vista interna	22
Figura 15 – Madeiras dicotiledôneas comercializadas na microrregião de viçosa, identificadas através de seis fornecedores. Fonte: autor.	28
Figura 16 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvcc como viga para construção.	30
Figura 17 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvcc como pilar.	31
Figura 18 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvcc como caibro.	31
Figura 19 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvcc como ripa.	31
Figura 20 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvcc como forro.	33

Figura 21 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvc como rodaforno e rodapé..	32
Figura 22 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvc como marco.	33
Figura 23 – Espécies de madeiras comercializadas na mrvc como assoalho.....	34
Figura 24 – Condições de armazenagem da madeira na empresa a.	36
Figura 25 – Condições de armazenagem da madeira na empresa c.	36
Figura 26 – Madeiras armazenadas com espaçadores entre as peças na empresa c.	36
Figura 27 – Condições de armazenagem na empresa d.	37
Figura 28 – Condições de armazenagem na empresa f.	37
Figura 29 – Desdobramento sistêmico da edificação.....	41
Figura 30 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante para piso no nível do solo.	41
Figura 31 – (a) baldrame; (b) sapata isolada; (c) radier.	42
Figura 32 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante para nível acima do solo..	42
Figura 33 – (a) pilar e viga primária; (b) viga secundária ; (c) assoalho em madeira. ...	42
Figura 34 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante.....	43
Figura 35 – Subsistema de estrutura portante: viga horizontal e pilar.....	43
Figura 36 – Subsistema de estrutura portante: viga inclinada.	44
Figura 37 – Subsistema de estrutura portante.	44
Figura 38 – Tipologia pilares e ou montantes para o encaixe das peças de vedação.....	45
Figura 39 – Taxonomia do subsistema de vedação vertical.....	46
Figura 40 – Peças de vedação com encaixe macho e fêmea.	46
Figura 41 – Contraventamento dos pilares por meio das peças de parede.....	47
Figura 42 – Batentes de esquadrias com abertura para encaixe das peças de paredes....	47
Figura 43 – Batentes de esquadrias encaixados nas peças de vedação.	48
Figura 44 – Taxonomia do subsistema de vedação horizontal.	48
Figura 45 – Detalhe da cobertura dos elementos que compõem a trama.....	49
Figura 46 – Apoio do vigamento da cumeeira.	49
Figura 47 – Acabamento interno num forro do subsistema de vedação horizontal (cobertura-forro).....	49
Figura 48 – Detalhe interno da tesoura.	50
Figura 49 – A cobertura vista numa imagem parcial interna de uma edificação em madeira, totalmente montada e concluída, com seus subsistemas constituintes integrados.	50

Figura 50 – Apoio das ligações (a) primeiro gênero; (b) segundo gênero; (c) terceiro gênero	51
Figura 51 – Classificação das ligações segundo a rigidez.	51
Figura 52 – Sistema construtivo viga-pilar e detalhes de ligações segundo a rigidez: (a; c; d) semirrígida; (b) rígida.	53
Figura 53 – Transmissão de esforços através de ligações do sistema construtivo em madeira: (a) transmissão direta; (b) transmissão indireta; (c) transmissão por justaposição.	54
Figura 54 – Conexões com pinos metálicos.....	54
Figura 55 – Conexões com cavilhas.....	55
Figura 56 – Conexão com anel metálico utilizado nas ligações de vigas principais e secundárias	55
Figura 57 – Encontro da base de concreto com o pilar de madeira	55
Figura 58 – Uma abordagem sistêmica para o processo de projeção de construções habitáveis em madeira.	58
Figura 59 – Zona bioclimática 3	60
Figura 60 – Planta baixa (módulo base), com área total de 70,00m ² , sem escala (para: zb3; latitude 20°s).....	62
Figura 61 – Legenda dos elementos especificados na planta baixa.	63
Figura 62 – Procedimento de modulação dos pilares e montantes (sem escala).	63
Figura 63 – Planta baixa (módulo base com ampliação horizontal), com área total de 104,34m ² , sem escala (para: zb3; latitude 20°s).....	64
Figura 64 – Vista frontal (módulo base e ampliação horizontal).....	65
Figura 65 – Diagrama de cobertura: (a) módulo base; (b) módulo base com ampliação horizontal.....	65
Figura 66 – Planta baixa (módulo base com ampliação vertical), com área total de 80,00m ² , sem escala (para: zb3; latitude 20°s).....	66
Figura 67 – Planta baixa para construção de um pavimento superior, com área total de 69,53m ² (para: zb3; latitude 20°s).	67
Figura 68 – Diagrama de cobertura (módulo base com ampliação vertical).	68
Figura 69 – Vista frontal (módulo base com ampliação vertical).....	68
Figura 70 – Planta baixa do módulo base com ampliações simultâneas horizontal e vertical, com área total de 104,34m ² (para: zb3; latitude 20°s).....	69

Figura 71 – Projeto de montagem de pilares e montantes (módulo base).	71
Figura 72 – Projeto de montagem das paredes de vedação com encaixe macho e fêmea (módulo base).	72
Figura 73 – Detalhe dos oitões.	72
Figura 74 – Corte aa	73
Figura 75 – Corte bb	73
Figura 76 – Detalhe de montagem de paredes de vedação e pilar de canto por meio de encaixe.	74
Figura 77 – Detalhe de montagem de batente de esquadria e paredes de vedação por meio de encaixe.	74
Figura 78 – Detalhe de montagem de guarda-corpo (corrimão).	74
Figura 79 – Detalhe de montagem de janela com caixilho para vidro, de duas bandeiras pivotantes centrais, abrindo para dentro, e duas bandeiras fixas nas laterais.	75
Figura 80 – Detalhe de montagem de janela dupla com caixilho para vidro, de duas bandeiras pivotantes centrais, abrindo para dentro, e duas bandeiras fixas nas laterais, e parte externa em veneziana abrindo para fora.	75
Figura 81 – Projeto de montagem: módulo base de vigamento da cobertura (cumeeira, terço, frechal e tesoura).	76
Figura 82 – Detalhe de montagem da estrutura de cobertura viga-pilar.	77
Figura 83 – Projeto de montagem dos caibros na cobertura (módulo base).	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Energia embutida de alguns materiais de construção	6
Quadro 2 – Significado da primeira letra do indicador do grupo climático da mesorregião da zmm.	11
Quadro 3 – Significado da segunda letra do indicador de tipo climático da mesorregião da zmm.	11
Quadro 4 – Significado da terceira letra do indicador de subtipo climático da mesorregião da zmm.	11
Quadro 5 – Normais climatológicas (1961-1990): médias mensais da temperatura do ar compensada (t), da umidade relativa do ar (ur) e de precipitação (p) para a microrregião de viçosa-mg.....	12
Quadro 6 – Dados climatológicos (1991-2016): médias anuais da temperatura do ar compensada (t) e da umidade relativa do ar (ur) e os totais anuais de precipitação (p) para a microrregião de viçosa-mg.	12
Quadro 7 – Classes de umidade para equilíbrio da madeira.	14
Quadro 8 – Classes de resistência das dicotiledôneas.....	18
Quadro 9 – Classes de carregamento	18
Quadro 10 – Empresas madeireiras na mrvc relacionadas no estudo de caso	27
Quadro 11 – Madeiras dicotiledôneas comercializadas em viçosa e região.	27
Quadro 12 – Madeiras apresentadas no catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil.	28
Quadro 13 – Uso final das espécies como elemento construtivo na mrvc.....	29
Quadro 14 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil pesada externa	30
Quadro 15 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil pesada interna.....	30
Quadro 16 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil leve externa e uso temporário.	32
Quadro 17 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil leve interna, decorativa.	32
Quadro 18 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil leve, em esquadrias.	32

Quadro 19 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil leve interna, de utilidade geral.....	33
Quadro 20 – Madeiras comercializadas na mrvc para o uso na construção civil, em assoalhos domésticos.....	33
Quadro 21 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico para a zona bioclimática 3.....	60
Quadro 22 – Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3.....	60
Quadro 23 – Tipos de vedações externas, transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para a zona bioclimática 3.....	61
Quadro 24 – Medidas de esquadrias de portas e janelas.....	63
Quadro 25 – Classe de resistência dos elementos que compõem o sistema construtivo em madeira.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MRVC – Microrregião de Viçosa

ZMM – Zona da Mata Mineira

ZB3 – Zona Bioclimática Três

AEC – Engenharia Arquitetura e Construção

PAF – Potencial de Ataque Fúngico

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

OMM – Organização Meteorológica Mundial

URA – Umidade Relativa do Ar

TUE – Teor de Umidade de Equilíbrio

P_{acum} – Precipitação acumulada

RESUMO

COSTA FILHO, Reginal Ferreira da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017. **Sistema construtivo em madeira: modelo de referência para habitação na Zona da Mata de Minas Gerais.** Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Coorientadores: Leonardo Gonçalves Pedroti e Andressa Carmo Pena Martinez.

Para a concepção e o desenvolvimento de projeto para edificação em madeira é fundamental uma análise sistêmica das partes que constituem o sistema construtivo e das condições de exposição higrotérmica ao qual será submetido. Assim, optou-se por desenvolver esta pesquisa com foco em construções habitáveis em madeira, tendo-se Viçosa-MG como base de referência quanto a dados climáticos. Considerando-se tais aspectos, foi possível identificar os procedimentos de comercialização da madeira com levantamentos em seis empresas do comércio varejista em madeira na microrregião de Viçosa, assim como investigar os elementos que constituem o sistema construtivo em madeira tipo viga-pilar com pranchas de vedação em sistema de encaixe macho-fêmea como solução arquitetônica, apoiando-se nos conceitos e procedimentos de modulação, padronização e acoplabilidade dos subsistemas que compõem a edificação. Para isso, foram analisados dados de variáveis climáticas coletados na Microrregião de Viçosa por meio do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e usado o sistema de classificação de Koppen-Geiger para obtenção das condições de equilíbrio da madeira com o meio ambiente. Para análise da madeira, dados tecnológicos foram obtidos no catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil, o qual menciona novas espécies no mercado, sendo considerada a classificação geral de usos, pesada e leve, conforme os critérios da NBR 7190:1997-Projeto de estrutura em madeira, a qual estabelece parâmetros avaliativos para o processo de projeto. É apresentado um conjunto de recomendações como estratégias construtivas para a Zona da Mata Mineira, recorrendo-se à NBR 15220-3-Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Tais informações contribuíram para estabelecer uma sistematização do conjunto de critérios para o uso da madeira e contribuir para o processo de projeção dos elementos que constituem o sistema construtivo tipo viga-pilar com pranchas de vedação em sistema de encaixe, macho-fêmea, visando a qualidade, durabilidade e estabilidade dimensional das peças. O estudo permitiu identificar procedimentos inadequados e insuficientes do setor madeireiro, os

quais dificultam a obtenção do melhor desempenho do material, aspectos que contribuem para uma baixa segurança e qualidade da edificação. O resultado final deste trabalho consistiu numa expressão taxonômica do binômio elementos-componentes de uma habitação e na proposição de um modelo de referência para habitação em madeira por meio do projeto de montagem dos subsistemas da edificação, com ênfase nas ligações entre os elementos e componentes que se integram e garantem as condições estáticas e de segurança das partes constituintes do sistema construtivo, o que permite um conjunto de critérios para o processo de projeção e o uso responsivo de cada componente como parte integrante de um sistema construtivo.

ABSTRACT

COSTA FILHO, Reginal Ferreira da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017. **Construction system in wood: reference model for housing in the Zona da Mata de Minas Gerais.** Adviser: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Co-advisers: Leonardo Gonçalves Pedroti and Andressa Carmo Pena Martinez.

A systemic analysis of the parts that make up the constructive system and the hygrothermal exposure conditions to which it is to be submitted is essential for designing and developing a project for wood building. Thus, it was decided to develop this research with a focus on habitable wood constructions, with Viçosa-MG being the reference base for climatic data. Keeping in mind these aspects, it was possible to identify the commercialization of wood by surveying six companies in the timber retail trade in the Viçosa microregion, as well as to investigate the elements that constitute the construction system in beam-pillar wood with planks sealing system, male-female as an architectural solution, based on the concepts and procedures of modulation, standardization and coupling of the subsystems that make up the building. For this, the climatic variables were analyzed in the Micro-region of Viçosa through INMET (National Institute of Meteorology) and the classification system of Koppen-Geiger to obtain the conditions of equilibrium of the wood with the environment. For the analysis of the wood, technological data were obtained in the catalog of Brazilian woods for the civil construction, which establishes new species in the market, being considered the general classification of uses, heavy and light according to the criteria of NBR 7190: 1997-Design of structure in which establishes evaluative parameters for the design process. A set of recommendations was presented as constructive strategies in the Zona da Mata Mineira, through NBR 15220-3-Brazilian bioclimatic zoning and constructive guidelines for single-family dwellings of social interest. Such information contributed to establish a systematization of the set of criteria for the use of wood and contribute to the design process of the elements that constitute the beam-pillar type construction system with planks of sealing in a male-female docking system aiming at the quality, durability and dimensional stability of parts. The study allowed to identify inadequate and insufficient procedures of the timber sector to obtain the best performance of the material, contributing to the low safety and quality of the building. The final result of this work consisted in the generation of a taxonomy of the components and a

proposition of reference model for wood housing with the design of the building subsystems, with emphasis on the connections between the elements that integrate and guarantee the static and safety of the parts that make up the construction system, which allows a set of criteria for the design process and the responsive use of the component as an integral part of a construction system.

1. INTRODUÇÃO

A madeira, recurso natural renovável, é matéria que pode ser utilizada como combustível, alimento ou para fins de abrigo para os seres humanos. Na condição de material utilizável na construção civil, diferentemente de outros materiais cuja obtenção da matéria prima requer processos industriais altamente poluidores, o uso consciente da madeira em edificações não tem se mostrado um fator prejudicial ao meio ambiente, desde que providenciada a respectiva reposição.

Sua incorporação de modo permanente em construções civis como material natural aplicável em sistemas construtivos, racionalizados ou não, pode ser uma forma de reduzir resíduos de outros materiais altamente poluidores e impactantes do meio ambiente.

Para aplicação como material construtivo, é preciso conhecer as propriedades físicas e mecânicas de cada espécie de madeira e o estabelecimento de critérios para o seu uso final. Sendo as propriedades da madeira condicionadas por sua estrutura anatômica, com variação dentro das espécies devido a fatores genéticos e ambientais, é necessário o conhecimento da densidade básica, resistência, rigidez e umidade para aplicação do material como sistema construtivo.

Enquanto material que pode ser extremamente resistente e durável frente às mais variadas solicitações e condições de exposição, mesmo quando usado praticamente *in natura*, a madeira é em muitos países material preferido para fins de construção, necessitando apenas de tratamento contra fungos, cupins e umidade.

Considerando-se a extensão territorial e as condições climáticas do Brasil, o uso da madeira em edificações habitáveis pode ser um modo de induzir a preservação e expansão de suas reservas florestais. Nesse sentido, a obtenção da madeira usada pode ter como origem:

1. florestas plantadas, com a finalidade de produzir matéria-prima para as indústrias, ou
2. florestas nativas, exploradas para atender o mercado de duas formas (IPT, 2009, p. 17):
 - a) por meio de manejo florestal ou
 - b) por meio de:
 - exploração planejada e controlada da mata nativa;

- exploração extrativista, fazendo-se o uso comercial apenas das espécies com valor de mercado, sem projeto de manejo.

O aproveitamento das florestas naturais, ou das plantadas, de acordo com projeto de manejo florestal aprovado pelo IBAMA, é a forma correta de utilizar esses recursos naturais em construções civis, conforme os princípios de sustentabilidade (IPT, 2009, p. 17).

A escolha da madeira a ser usada em edificações habitáveis está associada:

1. às propriedades desse material e
2. aos critérios requeridos para a determinação:
 - a) da resistência dos componentes da obra de edificação e
 - b) do teor de umidade apropriado às condições higrotérmicas do local em que se vai utilizar edificações em madeira.

O delineamento sistêmico de critérios para o uso da madeira em projetos de arquitetura é um passo importante para fins de construtibilidade e habitabilidade. Particularmente em projetos com predominância de uso da madeira em múltiplos subsistemas da edificação, um documento de referência em termos de classificação de resistência e de propriedades da madeira estruturalmente é a NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeiras (ABNT, 1997).

Outra consideração para se usar a madeira em edificações habitáveis refere-se à sua anatomia, aspecto que leva a classificá-las como coníferas e dicotiledôneas. As coníferas são consideradas madeiras macias, devido a sua baixa resistência, provenientes de árvores gimnospermas; as dicotiledôneas, chamadas de madeiras duras, ou madeiras de lei, pela sua maior resistência, são provenientes de árvores angiospermas. Consequentemente, seu uso nas distintas partes da edificação com a função de vedação ou de elemento estrutural vai variar de acordo com as necessidades, solicitações demandadas e disponibilidades da madeira como material de construção.

Pensando-se no potencial uso da madeira como material incorporado de forma permanente em múltiplos subsistemas constituintes de uma mesma edificação, esta pesquisa foi direcionada para um aprofundamento e integração de conhecimentos sobre o sistema construtivo baseado em componentes de madeiras dicotiledôneas, encaixes tipo macho-fêmea, para aplicação em edificações higrotermicamente habitáveis em locais com similaridades climáticas a Viçosa-MG.

Norteou a pesquisa o delineamento do que se faz necessário para processos de projeto e construção de edificações em sistema construtivo em madeira.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estabelecer uma sistematização do processo de projeção dos elementos/componentes que constituem o sistema construtivo com pranchas de parede, encaixe macho-fêmea para aplicação intensiva e racional da madeira em construções higrotermicamente habitáveis para a microrregião de Viçosa-MG.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Entender os agentes ambientais relevantes, as condições de exposição e os mecanismos higrotérmicos intervenientes na habitabilidade em construções em madeira.
2. Identificar requisitos, critérios e medidas preservantes para o beneficiamento, comercialização e uso da madeira como componente da construção de empresas do comércio varejista encontradas em Viçosa e região.
3. Compor uma taxonomia para o processo de projeção de construções habitáveis em madeira através do sistema construtivo com componentes estruturais tipo viga e pilar e paredes em pranchas com encaixe macho-fêmea para identificar e analisar a funcionalidade das partes que constituem a edificação.
4. Estabelecer um modelo de referência para habitação em sistema construtivo em madeira que possibilite sua ampliação vertical e horizontal, juntamente com o projeto de montagem dos componentes que integram o sistema construtivo em madeira.

1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

Tratando-se de um material renovável que contribui para retenção de carbono atmosférico e com pouca energia embutida para a sua aplicação, a utilização consciente da madeira é uma excelente alternativa para atender a sociedade com construções habitáveis que causem menos impacto ao meio ambiente. Além disso, contribuir para o controle de extração com projeto de manejo florestal e incentivar o crescimento das

florestas plantadas representa melhoria da qualidade do ar, visto que a madeira poderá se tornar uma fonte de matéria prima construtiva no Brasil.

No entanto, o uso da madeira requer cuidados e critérios para sua aplicação, pois quanto menos se conhece sobre comportamento e propriedades do material nos processos de projeto, mais comprometido fica o seu uso final em sistemas construtivos. Tal fato refere-se a produção e comercialização desse material sem os devidos procedimentos avaliativos que influem na qualidade final da edificação.

Para Meirelles (2007), edificações realizadas com técnicas construtivas inadequadas e sem avaliações do material para aplicação no ambiente construído têm feito com que construções em madeira se tornem sinônimas de sub-habitação ou de pouca durabilidade. Em parte, essa ideia advém do fato de cada empresa utilizar padrões de fabricação diferentes uma das outras e sem estudo preliminar da madeira utilizada.

Para o processo de projeto em madeira, faz-se necessário compreender a funcionalidade de cada elemento e inter-relacionar as partes como um todo, com abordagem de natureza sistêmica, visando a durabilidade, a segurança e o conforto ambiental da edificação.

Nesse contexto, a construtibilidade no desenvolvimento de projetos para o uso da madeira deve ser incentivada na formação profissional, pois assim os seus benefícios serão valorizados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para uma melhor compreensão, o trabalho foi estruturado em capítulos de acordo com os objetivos traçados. Num primeiro capítulo é realizada uma introdução ao trabalho, a justificativa e relevância do tema e os objetivos. A presente pesquisa está estruturada em sete capítulos:

No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica para compreensão dos fatores intervenientes na aplicabilidade da madeira como material construtivo e desenvolvida sobre os seguintes temas: Uso da madeira para fins construtivos, condições de exposição higrotérmica em Viçosa e região, classes de umidade, classes de resistência e o processo e procedimentos para construção em madeira com as etapas de extração, beneficiamento e montagem dos componentes.

O terceiro capítulo foi estabelecido os procedimentos metodológicos adotados, de forma detalhada para o desenvolvimento de todas as etapas da pesquisa.

O quarto capítulo foca-se nos procedimentos para o beneficiamento, comercialização e uso da madeira para construção, elaborada a partir do conhecimento obtido na revisão bibliográfica. Portanto, foi realizado um estudo de caso em Viçosa e região para identificar os cuidados e critérios para: comercialização das espécies; uso final da madeira como elemento construtivo; procedimentos para fabricação e avaliação da umidade; condições de armazenagem; tratamentos preservantes e materiais para conexão entre as peças de madeira.

O quinto capítulo, apresenta o sistema construtivo em madeira com componentes estruturais tipo viga-pilar e pranchas de parede com encaixe macho-fêmea. Este capítulo foi dividido em três subitens: (1) Taxonomia dos subsistemas da edificação, no qual se buscou identificar os componentes da estrutura portante, vedação vertical e vedação horizontal para compreender a funcionalidade e ligação entre as partes que constituem o sistema; (2) Ligação e conexão entre os elementos, em que é compreendido os tipos de apoios e ligação segundo a rigidez, como também as conexões através de pinos metálicos, cavilhas e chapas metálicas, demonstrando os espaçamentos adequados para sua fixação; (3) Cuidados, tratamentos e produtos preservantes para aplicação de tintas e vernizes conforme a exposição aos intempéries e uso final na construção dos componentes.

O sexto capítulo traz considerações do resultado e discussão com uma análise sistêmica do controle de qualidade através de requisitos e critérios para o uso da madeira como alternativa construtiva. Com isso, propõem-se um projeto de habitação em sistema construtivo em madeira, através de uma tipologia que possibilita sua ampliação vertical e horizontal com facilidade no manuseio e flexibilidade das peças no sistema de encaixe entre os elementos que compõem os subsistemas da edificação. Além disso, é apresentado o projeto de montagem para a concepção do sistema construtivo, no qual buscou-se aplicar os cuidados e critérios que nortearam o desenvolvimento da pesquisa para o uso da madeira na construção com as melhores condições de habitabilidade.

O sétimo e último, são expostas as conclusões do trabalho, resgatando os objetivos específicos e demonstrando de que modo eles foram atendidos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A história e o desenvolvimento do uso da madeira como estrutura são, desde os tempos mais remotos, voltados para a construção de moradia, pontes, máquinas, máquinas de guerra e barcos. Como material de construção, a madeira possui excelentes atributos, tais como elevada resistência, fácil manuseio para fabricação de componentes e ser esteticamente agradável (AUGUSTIN, 2008).

Na conferência mundial Rio-92, países como França, Finlândia e Alemanha consideraram a aplicação da madeira na construção como um fator importante para o desenvolvimento sustentável (MEIRELLES *et al.*, 2007).

O Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA (2008) argumenta que os principais parâmetros para definir uma construção sustentável são: aproveitamento passivo dos recursos naturais; eficiência energética; gestão e economia de água; gestão dos resíduos gerados pelos usuários; gestão da obra; qualidade do ar e do ambiente interior; conforto termoacústico; uso de ecoprodutos em todas as instâncias da obra; redução do uso ou não utilização de materiais como PVC, amianto, chumbo e alumínio.

Usar a madeira para construção é uma forma de atender as exigências de moradia da sociedade e, comparado a outros materiais (Quadro 1), reduzir os impactos ambientais causados pela energia embutida e geração de resíduos. Além disso, o tempo de construção é mais rápido, devido ao alto grau de pré-fabricação dos componentes na fábrica (AUGUSTIN, 2008).

Quadro 1 – Energia embutida de alguns materiais de construção

Material	Conteúdo de energia (MJ/kg)
Areia e cascalho	0,042
Madeira	0,430
Concreto leve/aerado	2,186
Chapas de gesso	4,57
Tijolo	5,117
Cimento	9,537
Vidro	25,819
Plástico	43,030
Aço	44,660
Chumbo	60,240
Cobre	68,850
Alumínio	240,740

Fonte: Ching, 2010

Gauzim Muller (2005) ressalta que “uma iniciativa direta para a diminuição do efeito estufa é aumentar o uso da madeira na construção dos edifícios, pois se diminuiria a quantidade de CO₂ emitida na atmosfera”.

No entanto, para se empregar a madeira em construções, não se pode ignorar que se trata de um material heterogêneo: ha variação entre as espécies de árvores que apresentam diferentes composições celulares e teor higroscópico várias propriedades são afetadas pelo teor de água presente e a sua natureza biológica submete-a aos diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza (ZENID, 1997).

2.1 Uso da Madeira para Fins Construtivos

A NBR 7190 (ABNT, 1997) menciona que no desenvolvimento do projeto de uma estrutura de madeira é preciso assegurar uma durabilidade mínima compatível com sua finalidade e com o investimento a ser realizado, pois os componentes de uma construção de madeira podem estar expostos a diferentes classes de risco de biodeterioração em função dos organismos xilófagos presentes no local e das condições ambientais que possam favorecê-los a atacar a madeira.

Na execução das estruturas de madeira, a norma reforça que devem ser empregadas espécies que apresentem boa resistência natural à biodeterioração, boa permeabilidade aos líquidos preservativos e que sejam submetidas a tratamentos preservativos adequados e seguros para as estruturas. Em específico, destaca que as classes de resistência das madeiras coníferas e dicotiledôneas têm por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais. A utilização de classes de resistência da madeira elimina a necessidade da especificação da espécie e colabora para o uso adequado das madeiras como material de construção (IPT, 2009).

Nesse sentido, o manual ‘Biodeterioração de madeiras em edificações’ (IPT, 2001) preconiza quatro medidas preventivas tradicionais para o uso da madeira na construção civil: escolha das madeiras; controle de qualidade da madeira *in natura*; tratamento preservante da madeira; e, tratamento químico do solo no entorno da edificação para impedir o ataque dos xilófagos às estruturas e a outros componentes de madeira. Essa recomendação é importante ser ressaltada pelo fato de que os componentes em madeira necessários para realização do sistema construtivo com constituintes de vedação, encaixe macho-fêmea (paredes; pilares; montantes; terças e

cumeeiras; caibros; ripas; forro; esquadrias; corrimão; rodapé; roda-forro; filete; ½ tábua; assoalho), exercem diferentes esforços e estão submetidos a diferentes condições de exposição que devem ser analisados.

Uma necessidade multidisciplinar em processos de projeção de ambientes construídos habitáveis é o conhecimento e a ação a respeito da constituição do sistema edificação e das suas partes assim como dos agentes ambientais e das condições de exposição, seja quanto à construção ou ao uso da edificação (Figura 1). Para a configuração de ambientes habitáveis, a organização espacial e a constituição material são fatores básicos para o desempenho global do edifício e o conforto dos usuários.

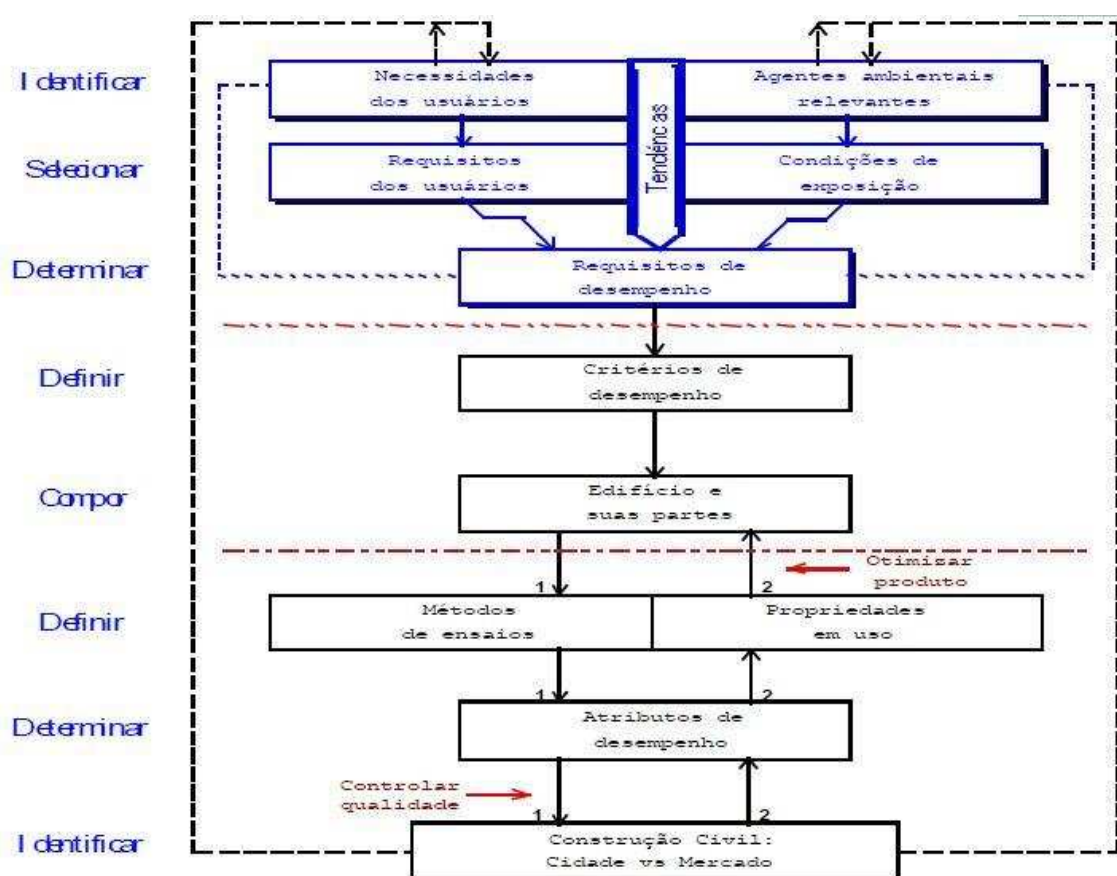


Figura 1 – Metodologia para usar o conceito de desempenho.
 Fonte: Tibiriçá (1993)

Para efetivar esse contexto, chave é a relação conceito-partido, uma vez que na viabilização do edifício (técnica, econômica e ambientalmente) uma das escolhas e decisões primárias refere-se às possibilidades que envolvem a estreita inter-relação sistema construtivo e material base para a edificação.

2.1.1 Influência do clima nas características da madeira

O zoneamento climático é de extrema importância para subsidiar a implantação e o planejamento da arquitetura bioclimática (SÁ JUNIOR, 2009).

O conhecimento dos dados climáticos condicionantes do uso final da madeira e do nível de desempenho requerido para o ambiente construído é necessário para se saber as condições de exposição desse material. Um dos fatores que mais influenciam no desempenho e durabilidade das construções em madeira é a não observância das variáveis do clima. Ou seja, a compreensão das condições higrotérmicas de exposição da madeira e o conhecimento de suas propriedades é fundamental para o processo de projeção em madeira.

Com tal compreensão e o estabelecimento e uso de critérios apropriados, pode-se promover a redução das trocas de umidade da madeira com a umidade do ar e, conseqüentemente, a diminuição das ocorrências de defeitos causados pela variação dimensional. O fato é que a madeira apresenta elevados riscos de deterioração biológica quando exposta a condições de alta umidade (IPT, 2001).

O teor de umidade da peça de madeira está diretamente relacionado com sua densidade. Madeiras com maior densidade possuem menor volume de vazios que podem ser preenchidos com água livre. Portanto, a escolha de espécies de madeira inadequadas, de baixa densidade e sem tratamentos podem provocar danos à estrutura (MEIRELLES, 2010).

Manifestações patológicas devidas a desequilíbrios no teor de umidade da madeira são os efeitos mais recorrentes quando se trata não apenas nos sistemas de piso e vedação em madeira, mas também no subsistema de cobertura. Teor de umidade não compatível com a capacidade funcional-operacional necessária para a madeira no local da obra de edificação prejudica os seus componentes e elementos, afetando as condições de desempenho para uma casa ou um edifício (RAMALHO, 2014, p.2).

Quanto à secagem da madeira, Silva e Oliveira (2003) dizem que o processo resulta em contrações lineares diferenciadas, manifestadas nos três planos fundamentais de estudo da madeira: longitudinal, tangencial e radial. E, também, que existe uma situação em que a madeira não perde nem absorve água do ambiente, ou seja, a umidade da madeira está em equilíbrio com a umidade relativa do ar, o que é chamado de umidade de equilíbrio da madeira.

2.2 Condições de Exposição Higrotérmica na Microrregião de Viçosa

Por ser a madeira um material higroscópico, o clima é o grande condicionante das trocas térmicas da madeira com o ambiente, e isso se dá principalmente pela mudança de temperatura e de umidade, podendo causar a degradação e instabilidade dimensional das peças.

A análise das condições climáticas é um agente importante a ser levado em consideração na concepção do projeto para aplicação do material, influenciando na qualidade e na durabilidade da edificação. Torna-se essencial, portanto, a análise das condições de exposição higrotérmica para que a madeira possa estar em condições de equilíbrio com o meio e assim, minimizar as ocorrências de frestas, empenamento e travamento das esquadrias.

2.2.1 Sistema de classificação climática de Köppen-Geiger

A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen e aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 por Rudolf Geiger, sendo, assim, denominada de Köppen-Geiger. Nesse sistema de classificação, são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação.

A caracterização do clima é identificada através de um código com letras maiúsculas e minúsculas. Essas letras possuem significados diferentes e a combinação entre elas definem o clima.

A classificação é dividida em 5 grandes grupos e composta por até três letras, sendo a primeira maiúscula de “A” até “E” que definem a característica geral do clima de uma região. A segunda letra minúscula estabelece o tipo de clima dentro do grupo com as particularidades do regime pluviométrico, exceto as letras “B” e “E”, a segunda letra é também maiúscula. E a terceira letra minúscula utiliza-se para distinguir climas com diferentes variações de temperatura do ar.

Para o presente estudo, foram identificadas as letras e o seu significado do zoneamento climático da mesorregião Zona da Mata Mineira (ZMM).

2.2.2 Classificação de Köppen-Geiger para o zoneamento climático da Mesorregião Zona da Mata do Estado de Minas Gerais

A última atualização climática de Köppen-Geiger foi realizada por Sá Júnior (2009), sendo possível identificar a ZMM.

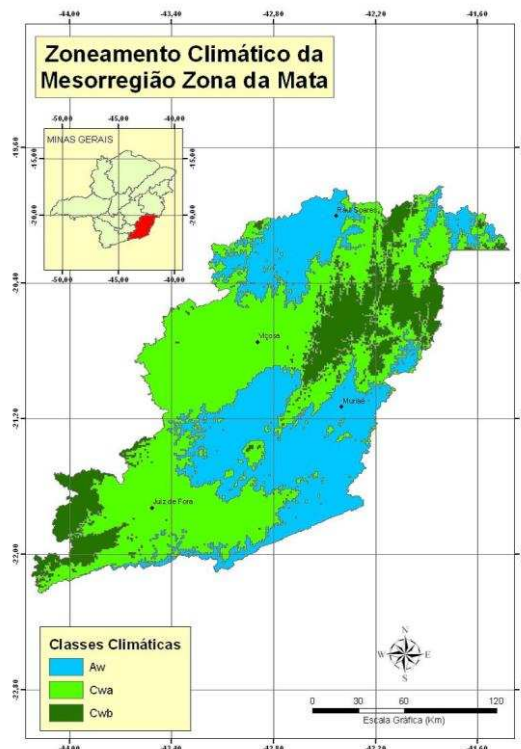


Figura 2 – Zoneamento climático da Mesorregião da ZMM, classificação climática de Köppen-Geiger.
Fonte: Sá Junior (2009)

De acordo com Sá Junior (2009), a classe climática com maior representatividade dentro de Minas Gerais foi a classe Aw, com cerca de 67% da área total do Estado, seguido das classes Cwa com 21% e Cwb com 11%.

Quadro 2 – Significado da primeira letra do indicador do grupo climático da mesorregião da ZMM.

Código	Tipo	Descrição
A	Clima tropical	<ul style="list-style-type: none"> - Climas megatérmicos - Temperatura média do mês mais frio do ano > 18°C - Estação invernal ausente - Forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual)
C	Clima temperado ou Clima temperado quente	<ul style="list-style-type: none"> - Climas mesotérmicos - Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios - Temperatura média do mês mais quente > 10°C - Estações de verão e inverno bem definidas

Fonte: Sá Junior (2009)

Quadro 3 – Significado da segunda letra do indicador de tipo climático da mesorregião da ZMM.

Código	Tipo	Descrição
w	Clima tropical	<ul style="list-style-type: none"> - Climas desértico - Precipitação anual total média < 250mm

Fonte: Sá Junior (2009)

Quadro 4 – Significado da terceira letra do indicador de subtipo climático da mesorregião da ZMM.

Código	Tipo	Descrição
a	Verão quente	- Temperatura média do ar no mês mais quente > 22°C
b	Verão temperado	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C - Temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes > 10°C

Fonte: Sá Junior (2009)

A combinação da primeira, segunda e terceira letras dos códigos de Köppen-Geiger caracteriza os seguintes tipos climáticos para a ZMM: **Aw**: clima tropical com estação seca de inverno; **Cwa**: clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; **Cwb**: clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Sá Junior, 2009).

2.2.3 Dados climatológicos Viçosa-MG

Por meio do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia foi possível identificar as normais climatológicas, como temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação de Viçosa (Quadro 5). A organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais como valores médios calculados para um período mínimo de 30 anos.

As informações aqui apresentadas referem-se ao período 1961-1990 de coleta de dados na estação meteorológica de Viçosa, código (OMM): 83642, computadas pelo INMET em 1992 e disponibilizadas pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO). Com base na fonte de dados da INMET e apoio do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa para a parametrização das informações por meio de um programa de meteorologia aplicada, foi possível atualizar os dados climáticos referentes ao período 1991-2016 (Quadro 6). A cidade de Viçosa está localizada na Zona da Mata no Estado de Minas Gerais (20°45’S e 40°38’W).

Quadro 5 – Normais climatológicas (1961-1990): médias mensais da temperatura do ar compensada (T), da umidade relativa do ar (UR) e de precipitação (P) para a microrregião de Viçosa-MG.

Mês	T(°C)	UR (%)	P _{acum} (mm)
Janeiro	22,1	81,5	180,8
Fevereiro	22,2	80,6	142,2
Março	21,8	81,7	102,3
Abril	19,7	83,0	47,4
Maio	17,2	83,3	29,3
Junho	15,9	84,0	17,1
Julho	15,5	81,9	26,3
Agosto	16,9	76,6	17,4
Setembro	18,5	76,2	54,3
Outubro	20,2	76,7	128,7
Novembro	21,1	80,6	208,6
Dezembro	21,5	82,8	211,0
Ano	19,4	80,7	1165,5

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (1990).

Quadro 6 – Dados climatológicos (1991-2016): médias anuais da temperatura do ar compensada (T) e da umidade relativa do ar (UR) e os totais anuais de precipitação (P) para a microrregião de Viçosa-MG

Ano	T(°C)	UR (%)	P _{acum} (mm)
1991	20,0	81,2	1595,0
1992	20,0	84,1	1456,0

(continua)

Quadro 6 – Dados climatológicos (1991-2016): médias anuais da temperatura do ar compensada (T) e da umidade relativa do ar (UR) e os totais anuais de precipitação (P) para a microrregião de Viçosa-MG

Ano	T(°C)	UR (%)	P_{acum}(mm)
1993	20,0	81,7	884,0
1994	19,0	81,8	959,0
1995	20,0	78,5	1109,0
1996	20,0	79,1	1138,0
1997	20,0	76,1	631,0
1998	20,0	80,6	1145,0
1999	20,0	78,2	1208,0
2000	20,0	83,4	1138,0
2001	21,0	78,0	1160,0
2002	21,0	78,3	1274,0
2003	20,0	78,2	1141,0
2004	20,0	81,2	1798,0
2005	20,0	82,3	1436,0
2006	20,0	84,2	1203,0
2007	20,0	78,2	1010,0
2008	20,0	81,2	1690,0
2009	21,0	79,9	1567,0
2010	20,0	76,5	1352,0
2011	20,0	78,2	1434,0
2012	20,0	78,4	1290,0
2013	20,0	79,9	1324,0
2014	20,0	73,3	825,0
2015	21,0	76,9	1167,0
2016	21,0	77,5	1192,0
Média	20,12	79,56	1237,26

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Analisando-se as normais climatológicas mensais do Quadro 5, observa-se que num período de 30 anos as médias mensais compensadas de temperatura do ar oscilaram de 15,5°C a 22,2°C, com média anual de 19,4°C, as médias mensais de umidade relativa do ar oscilaram de 76,2% a 84,0%, com média anual de 80,7%, e a precipitação média acumulada anual foi de 1.165,5mm. No Quadro 6, os dados climatológicos são de 26 anos com média anual de: 20,12°C para a temperatura do ar, 79,56% para a umidade relativa do ar e 1.237,26mm para a precipitação acumulada.

Os dados coletados nos períodos 1961-1990 e 1991-2016 dão indícios de que a variação climática identificável nos quadros não deve ser fator que possa influenciar e/ou alterar para a classificação de umidade da madeira.

2.2.4 Classes de umidade

Para utilização da madeira como componente na construção, deve-se analisar sua umidade relacionando-a com as variáveis climáticas do ambiente antes da sua aplicação final (Quadro 7). Para aplicação estrutural da madeira, a NBR 7190:1997 estabelece a umidade de 12% como referência para realização dos cálculos estruturais.

Quadro 7 – Classes de umidade para equilíbrio da madeira.

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

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

A aplicação das classes de umidade para o uso da madeira possibilita o seu equilíbrio com o meio e, assim, pode-se minimizar sua movimentação natural para manter suas características dimensionais, além de diminuir os riscos pela presença de insetos xilófagos. Portanto, conforme apresentado anteriormente (Quadros 5 e 6), as condições que possibilitam o equilíbrio da madeira em Viçosa e região encontram-se na classe 3, a qual estabelece o seu uso com 18% de umidade para ambientes entre 75% a 85% de umidade relativa do ar (Quadro 7). Tais informações são necessárias para correlacionar o clima com o uso da madeira e suas propriedades para as melhores condições de sua utilização como sistema construtivo.

2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira

As fichas tecnológicas de madeiras do manual ‘Madeira: uso sustentável na construção civil’ (IPT, 2009) e do ‘Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil’ (IPT, 2013) disponibilizam: nomes popular e científico; características sensoriais e descrição anatômica macroscópica; durabilidade natural e tratabilidade química; características de processamento (trabalhabilidade, secagem); propriedades físicas (densidade de massa, contrações); propriedades mecânicas (flexão estática, compressão axial, choque, cisalhamento, dureza Janka, tração normal às fibras, fendilhamento).

Tratando-se das peculiaridades da madeira, sua resistência difere nos três eixos: longitudinal; radial e tangencial (Figura 3). As propriedades estruturais na direção longitudinal apresentam diferenças consideráveis em relação às direções radial e tangencial. A norma brasileira NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeiras (ABNT, 1997) define as propriedades na direção paralela às fibras (longitudinal, 0°) e no sentido perpendicular às fibras (radial e tangencial, 90°) (MEIRELLES, 2010).

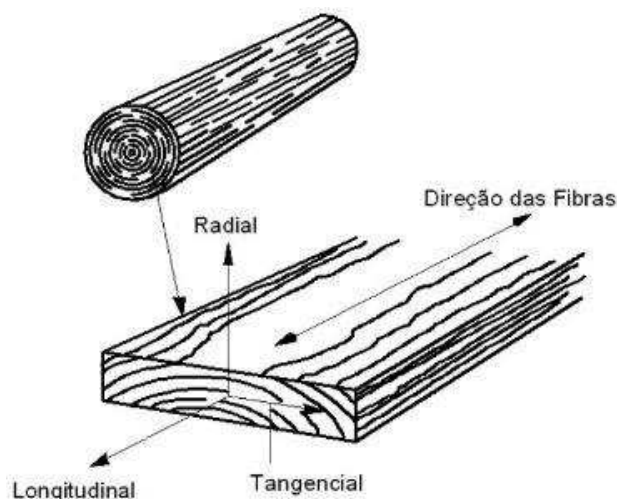


Figura 3 – Direção de crescimento das fibras.
 Fonte: Meirelles (2010).

O conhecimento das propriedades e do comportamento do material utilizado é essencial para a aplicação da madeira como parte integrante da edificação e para a decisão do tipo de ligação entre os componentes, pelo fato de a madeira poder estar sujeita a variações dimensionais e solicitações, como, por exemplo, de compressão, tração, cisalhamento, flexão e torção.

As forças atuantes por compressão podem ser do tipo normal/perpendicular ou paralela. A resistência da madeira por compressão paralela às fibras (Figura 4, a), condição em que as forças internas agem paralelamente ao comprimento das células, permite uma excelente resistência da madeira à compressão. Quando os elementos estruturais são solicitados por compressão normal (Figura 4-b), ou seja, perpendicularmente às fibras da madeira, os valores de resistência são menores quando comparados à compressão paralela (MEIRELLES, 2010; SZÜCS, 2015).

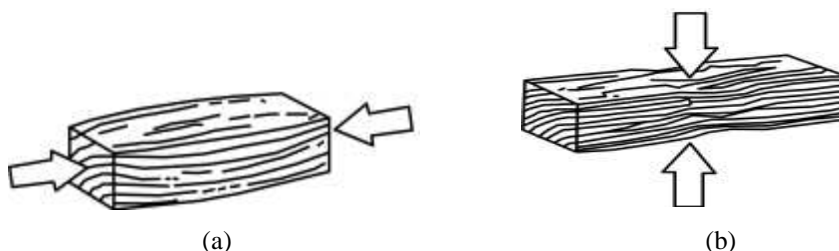


Figura 4 – Solicitação de esforços por compressão (a) paralela; (b) normal/perpendicular as fibras
 Fonte: Ritter (1990) *apud* Meirelles (2010).

No caso da tração na madeira, ela pode ocorrer de duas formas: paralela ou normal às fibras. Na tração paralela (Figura 5, a), a ruptura ocorre com baixos valores de deformação e com elevados valores de resistência; na tração normal (Figura 5, b), as

forças agem na direção normal ao comprimento das fibras, podendo separá-las, afetando a integridade estrutural. Esse tipo de sollicitação deve ser evitado devido à baixa resistência apresentada pela madeira (MEIRELLES, 2010).

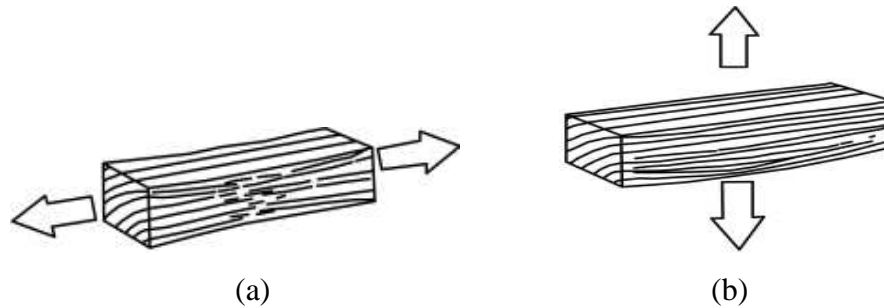


Figura 5 – Sollicitação de esforços por tração (a) paralela (b) normal as fibras.
Fonte: Ritter (1990) *apud* Meirelles (2010).

Quanto ao cisalhamento, poderá ocorrer perpendicular ou longitudinal às fibras da madeira. No cisalhamento vertical, o carregamento ocorre no sentido perpendicular; nesse caso, a sollicitação de esforços não é crítica, pois a peça antes de romper apresentará a deformação para os ajustes necessários. Segundo Meirelles (2010) e Szücs (2015), o carregamento aplicado no sentido longitudinal, chamado de cisalhamento horizontal (Figura 6) deverá ser evitado, pois as células da madeira poderão escorregar e provocar o rompimento da peça.

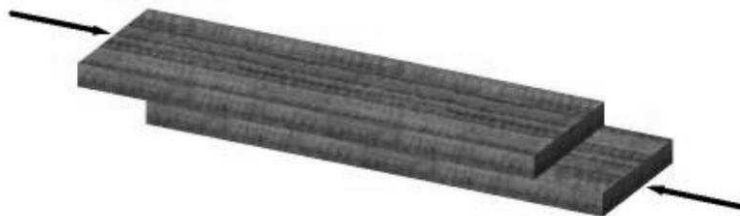


Figura 6 – Cisalhamento horizontal
Fonte: Meirelles, 2010.

Na flexão, a força atuante ocorre na direção perpendicular as fibras, porém os esforços internos ocorrem paralelo às fibras da madeira (Figura 7), o que possibilita uma maior resistência do material utilizada como elemento vertical (MEIRELLES, 2010).

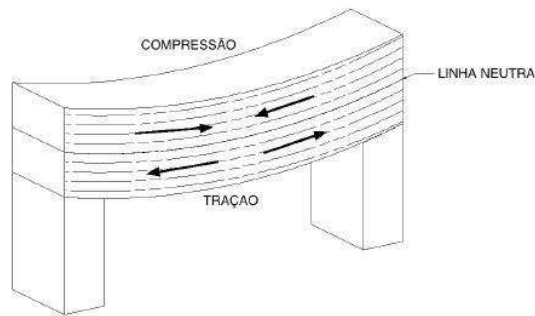


Figura 7 – Flexão simples
Fonte: Meirelles, 2010.

Na ocorrência de torção, a norma NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeiras (ABNT, 1997) recomenda evitá-la em peças de madeira, devido ao risco de ruptura por tração normal às fibras da madeira.

Portanto, para o dimensionamento das ligações, é necessário considerar os esforços que influenciam no comportamento do material. Para Oliveira (2011), cada componente deve exercer a capacidade de suportar os esforços atuantes e as deformações ocorridas devido aos esforços.

2.3.1 Classes de resistência das madeiras dicotiledôneas

Para a elaboração de um projeto estrutural em madeira, a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece as classes de resistência das madeiras dicotiledôneas com o objetivo de padronizar as propriedades do material para utilização em cada subsistema da edificação. São estabelecidas quatro classes de resistência para as madeiras dicotiledôneas: C20, C30, C40 e C60.

A utilização da indicação das classes de resistência da madeira (Quadro 8) elimina a necessidade da especificação da espécie da madeira, pois em um projeto estrutural desenvolvido de acordo com essa norma bastará a verificação das propriedades de resistência de um lote de peças de madeira com a classe de resistência especificada no projeto. Pela classe de resistência, a madeira passa a ser utilizada com propriedades padronizadas. Assim, cada classe representa um conjunto de espécies, agrupando-as conforme suas características (IPT, 2009).

Nas classes de resistência da madeira, são consideradas propriedades físicas e mecânicas: a resistência à compressão paralela às fibras, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, a densidade básica e aparente.

Quadro 8 – Classes de resistência das dicotiledôneas

Valores na condição padrão de referência U=12%					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente,m}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

O agrupamento das espécies facilita para os engenheiros e arquitetos a escolha do material para o desenvolvimento de projetos estruturais. Deve-se levar em conta que o estabelecimento das classes de resistência possibilita o uso de espécies regionais e promove maior sustentabilidade da matéria-prima (IPT, 2009).

No projeto de estrutura em madeira, é necessário considerar a classe de carregamento (Quadro 9), que pode ser definida como: permanente; duração longa, média ou curta; e, duração instantânea.

Quadro 9 – Classes de carregamento

Classe de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

O carregamento é especificado pelo conjunto de ações que devem ser combinadas de diferentes maneiras, relacionando-as com a duração acumulada prevista para a ação variável tomada como a ação variável principal na combinação considerada (NBR 7190: 1997).

2.4 Processos e Procedimentos para Construção em Madeira

Para uma abordagem responsiva com vistas a projeção, construção, uso e manutenção de ambientes construídos em madeira, também é importante que se apresentem as etapas para aquisição (Figura 8), desdobro e montagem do sistema construtivo com componentes estruturais tipo viga e pilar e pranchas de parede com encaixe macho-fêmea.



Figura 8 – Matérias-primas extraídas a serem transportadas para serraria (a) colheita; (b) transporte; (c) serraria.

Fonte: Autor.

O aproveitamento das florestas naturais ou plantadas, de acordo com projeto de manejo florestal aprovado pelo IBAMA, é a forma correta de utilizar esses recursos naturais em construções civis, conforme os princípios de sustentabilidade (IPT, 2009).

Para o desdobro da madeira (Figura 9), utiliza-se a serra fita e o auxílio manual, transformando-as em pranchas para serem comercializadas. A largura de cada prancha é conforme o diâmetro da tora, podendo haver variações. Após esse procedimento, as pranchas são encaminhadas para o beneficiamento em elementos construtivos.



Figura 9 – Desdobro das toras em madeira numa serraria com serra fita.

Fonte: Autor.

O desenvolvimento de componentes pré-fabricados em madeira (Figura 10) atualmente tem sido realizado para atender a produção de ciclo aberto, o que possibilita a sua utilização para engradamento de telhado, piso, esquadria e acabamentos em geral, interligados com outros materiais construtivos.



(a)



(b)

Figura 10 – Processo de beneficiamento da madeira em elementos construtivos funcionais:

(a) aparelhamento; (b) paredes de vedação.

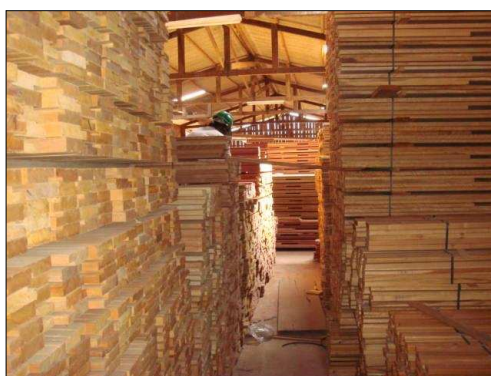
Fonte: Autor

Para Fernandes (2009), a industrialização não utiliza a mão de obra artesanal e sim o uso de máquinas manuseadas por operários especializados, resultando na redução dos custos, prazos e aumento da produtividade e qualidade do produto final.

A melhoria da qualidade na fabricação e controle da produção são alguns benefícios gerados pela pré-fabricação dos elementos construtivos.

Com o *deficit* habitacional brasileiro, Vivan, Paliari e Novaes (2010) entendem que a Indústria da Construção Civil precisa inserir no processo de fabricação uma produção em larga escala que vai ao encontro das necessidades demandadas e dos objetivos da produção seriada.

Como mostrado na Figura 11, o armazenamento correto das peças após a fabricação, com espaçamentos, permite uma ventilação adequada, enquanto amarrar as peças facilita o manuseio e transporte.



(a)



(b)

Figura 11 – Elementos construtivos pré-fabricados armazenados em galpão:

(a) em condições para aplicação; (b) transporte para o uso final na construção.

Fonte: Autor.

Usar a madeira para construção é uma forma de atender as exigências de moradia da sociedade com a utilização de matérias renováveis e, comparado a outros materiais, reduzir os impactos ambientais causados pela geração de resíduos. Além disso, o tempo de construção é mais rápido, devido ao alto grau de pré-fabricação dos elementos na fábrica (AUGUSTIN, 2008).

No sistema construtivo com paredes de encaixe macho-fêmea, os pilares e as vigas possuem a função estrutural (Figura 12) e as paredes somente de vedação (Figura 13). Trata-se de uma estrutura que dispensa o uso de pregos e colas nas ligações entre os subsistemas estrutural e de vedação vertical, proporcionando maior durabilidade, flexibilidade e facilidade de manutenção. Com isso, o sistema construtivo possibilita a desmontagem do madeiramento e facilita sua locomoção para outro ambiente e permite seu aproveitamento conforme os princípios da sustentabilidade.



Figura 12 – Início da montagem do subsistema de estrutura portante.
Fonte: Autor.



(a)



(b)

Figura 13 – Processo de montagem do subsistema de vedação vertical
(a) ligação entre parede e pilar; (b) preenchimento das paredes nos canais dos pilares.
Fonte: Autor.

Para a realização de uma habitação em madeira, deve-se levar em consideração o menor tempo para se construir, sem desperdícios do material, pois as peças já chegam padronizadas na obra para compor o sistema construtivo e no projeto já está definido o seu local de instalação (Figura 14).



(a)

(b)

Figura 14 – Subsistemas estrutural e de vedações vertical e horizontal concluídos: (a) vista externa; (b) vista interna.

Fonte: Autor.

A utilização de sistemas construtivos de madeira com componentes padronizados possibilita uma linha de montagem organizada no canteiro de obras com custo reduzido e um padrão de qualidade superior ao processo tradicional (SILVA; BASSO, 2000).

Vivan, Paliari e Novaes (2010) ressaltam que a produção de conjuntos habitacionais com repetição da construção de um único modelo reproduzido em diferentes ambientes caracteriza uma produção habitacional seriada, possibilitando a padronização dos elementos que compõem os subsistemas da edificação.

A pré-fabricação dos elementos e a racionalização do processo construtivo não limitam o processo criativo do arquiteto e colaboram para se obter qualidade, conforto, produtividade e sustentabilidade, se usadas corretamente (FERNANDES, 2009).

3. METODOLOGIA

A linha de base da pesquisa foi configurada, e consolidou-se, por meio de exploração, compreensão, sistematização e integração de conhecimentos disponíveis nas áreas de arquitetura, engenharia e construção (AEC). Durante todo o percurso, o foco esteve nos seguintes termos e conceitos referenciais: edificações em madeira, construtibilidade, habitabilidade, projetos bioclimáticos. O estudo e geração de casos envolveu sistemas construtivos em madeira, do que resultou um corpo de conhecimentos aplicável em projetos e processos de AEC.

Para facilitar a compreensão e aplicação do proposto, foi utilizada a microrregião de Viçosa (MRVC) como instrumento de estudo para o desenvolvimento de critérios para o uso da madeira em construções higrotermicamente habitáveis. Tem-se como ponto de partida o levantamento do estágio de conhecimento sobre a temática. Assim, a fase de revisão foi realizada por pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos científicos, livros, manuais, normas e correlatos.

A revisão bibliográfica destinou-se à obtenção de conhecimentos científicos e informações tecnológicas sobre madeiras dicotiledôneas e requisitos e critérios para utilizá-las como material de construção, e à análise do conjunto de elementos e componentes constituintes de um sistema construtivo em madeira, com paredes de vedação no sistema de encaixe macho e fêmea. A aplicabilidade das madeiras dicotiledôneas deu-se devido à disponibilidade das espécies para aquisição na região da pesquisa, identificadas no comércio varejista em madeira de Viçosa e região.

Foram estudadas e analisadas normais climatológicas geradas a partir de dados coletados na estação meteorológica de Viçosa-MG, com destaque para as variáveis precipitação, temperatura e umidade relativa do ar. O resultado desses estudos e análises é passo importante para as diretrizes construtivas na projeção e a aplicabilidade de medidas preservantes referentes ao desempenho higrotérmico da madeira.

Reforçou o processo de revisão da literatura, a compreensão e interpretação de conceitos e processos sobre a construção racionalizada e a industrializada, assim como procedimentos de modulação, padronização e acoplabilidade em sistema construtivo com pranchas de parede, encaixe macho-fêmea. Para os demais passos, a pesquisa foi realizada de acordo com o que se apresenta nas próximas seções.

3.1 Condições de Exposição Higrotérmica

Estabelecer as condições de exposição higrotérmica a que uma edificação fica sujeita é um dos passos a serem tratados no processo de projeção para ambientes habitáveis para fins humanos. Fundamentalmente, a abordagem térmica está atrelada à caracterização dos agentes ambientais relevantes, ao que se associam as condições de exposição e de desempenho ambiental da edificação e ao conhecimento da geometria e das propriedades em uso das partes constituintes de uma obra edificada. Duas publicações referenciais para uma abordagem conjunta para edifícios habitacionais até cinco pavimentos são a NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), que apresenta recomendações e estratégias para desempenho térmico, e a NBR 15575 (ABNT, 2013), que apresenta diretrizes, requisitos e critérios de natureza construtiva para desempenho dos seguintes subsistemas da edificação: estrutural, de vedações verticais, de instalações hidrossanitárias, de cobertura e de pisos internos.

Para adequação da edificação às condições climáticas do local de sua implantação, pensando-se em habitabilidade e conforto higrotérmico, as estratégias e recomendações para um projeto termicamente responsivo podem ser orientadas segundo o zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220 – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ABNT, 2005), em concomitância com a NBR 15575:3-4-5 (ABNT, 2013).

Tendo-se o referencial dessas duas publicações, foi possível aplicar as condições de aberturas para ventilação e sombreamento, tipos de vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo para adequação climática do sistema construtivo em madeira na microrregião de Viçosa-MG.

Informações climatológicas da microrregião de Viçosa foram obtidas dos dados coletados e processados pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Viçosa-MG.

O conhecimento das normais climatológicas, dentre elas a umidade relativa do ar, possibilitou a aplicabilidade das classes de umidade de equilíbrio da madeira ao longo do tempo para o seu uso como material de construção de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997). Esse procedimento possibilita condições para que as trocas de umidade da madeira com o ar sejam reduzidas ao mínimo.

Além do que consta no zoneamento climático da NBR 15220-3:2005, também foi utilizado para as condições climáticas da microrregião de Viçosa o sistema de classificação de Köppen-Geiger. Este sistema considera médias mensais de precipitação pluvial e temperatura do ar como elementos meteorológicos essenciais para a sua classificação. O modelo de Köppen-Geiger compreende um conjunto de letras para definir os grupos climáticos, os subgrupos ou, ainda, as subdivisões que indicam características especiais sazonais. Para aplicação desse método, recorreu-se à última atualização climática de Minas Gerais, realizada por Sá Junior (2009).

A sistematização dessas informações possibilitou identificar as estratégias construtivas para o condicionamento térmico da edificação, como também o teor de equilíbrio higroscópico da madeira, no que diz respeito à sua variação dimensional.

3.2 Levantamento e Características de Madeiras Dicotiledôneas para Uso na Construção de Edificações Habitáveis na Microrregião de Viçosa-MG

Para esta fase, as fontes bibliográficas e documentais para embasamento científico e técnico da pesquisa foram, em particular, do banco de dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT.

Uma referência que também deu suporte para as informações sobre as madeiras dicotiledôneas foi a norma NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeiras (ABNT, 1997). Nessa norma, estão estabelecidas quatro classes de resistência, sendo consideradas as propriedades físicas, mecânicas e de rigidez.

O conhecimento das propriedades da madeira possibilitou a delimitação de requisitos e critérios para a projeção do sistema construtivo para o clima da microrregião de Viçosa, considerando-se, portanto, a classe de risco de deterioração biológica a que a madeira estará exposta, de acordo com seu uso final na edificação.

3.3 Sistema Construtivo em Madeira

Nessa parte da pesquisa, foi dada especial atenção a uma taxonomia para construções habitáveis em madeira e o estabelecimento de requisitos e critérios para o processo construtivo pré-fabricado.

Nesse sentido, foi realizado um estudo de caso em seis empresas madeireiras da microrregião de Viçosa que fornecem madeira serrada como ou para componentes da construção. Isso também permitiu investigar os procedimentos adotados para a

comercialização dos componentes (madeira utilizada; identificação do teor de umidade; cuidados e tratamentos preservantes).

Um desdobramento após o estudo de caso foi a análise de elementos e componentes que constituem o sistema construtivo pré-fabricado em madeira com pranchas de parede, encaixe macho e fêmea, visando à qualidade, durabilidade e estabilidade dimensional das peças.

Do conjunto de informações processadas, foi proposto um modelo de referência para habitação em sistema construtivo em madeira com possibilidade de ampliação horizontal e vertical juntamente com o projeto de montagem.

Nesse contexto, com uma abordagem sistêmica para o processo de projeção, buscou-se ajustar requisitos, critérios e procedimentos para o potencial uso da madeira como um sistema construtivo na microrregião de Viçosa.

4. BENEFICIAMENTO, COMERCIALIZAÇÃO E USO DA MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA E REGIÃO

O público alvo da pesquisa foram as empresas do comércio varejista de madeiras e artefatos (Quadro 10). Para aplicação do estudo de caso, foi elaborado um questionário com o total de quatorze perguntas relacionadas com as espécies comercializadas até o seu uso final na construção.

Foram identificadas no presente estudo, as espécies de madeiras comercializadas em Viçosa e região (MRVC), como também os procedimentos e cuidados para o beneficiamento, comercialização e a utilização da madeira.

Quadro 10 – Empresas madeireiras na MRVC relacionadas no estudo de caso

Questionário	Empresa	Local
Nº 001/2016-2	A	Viçosa
Nº 002/2016-2	B	Viçosa
Nº 003/2016-2	C	Viçosa
Nº 004/2016-2	D	Teixeiras
Nº 005/2016-2	E	Ubá
Nº 006/2016-2	F	Ubá

Fonte: Autor.

Foi relacionado um total de seis empresas fornecedoras (A;B;C;D;E;F) que comercializam madeiras e artefatos, exceto a empresa (E) que é representante e construtora de edificação em madeira.

A seguir, as perguntas e análise dos dados de comercialização de madeira coletados nas seis empresas.

- 1) Qual o nome popular das espécies de madeiras comercializadas (Quadro 11), e qual o uso final da madeira fornecida pela empresa como elemento construtivo (Quadro 13).

Quadro 11 – Madeiras dicotiledôneas comercializadas em Viçosa e região.

Espécies de madeiras identificadas	Empresas pesquisadas					
	A	B	C	D	E	F
(a) Angelim amargoso (<i>Vatairea sp.</i>)	x	x	x	x		x
(b) Angelim pedra (<i>Hymenolobium petraeum Ducke</i>)	x	x	x	x	x	x
(c) Jatobá (<i>Hymenaea spp.</i>)	x	x	x			x
(d) Cumaru (<i>Dipteryx odorata (Aublet.) Willd.</i>)		x	x			x
(e) Tauari (<i>Couratari oblongifolia</i>)			x			

continua

Quadro 11 – Madeiras dicotiledôneas comercializadas em Viçosa e região.

Espécies de madeiras identificadas	Empresas pesquisadas					
	A	B	C	D	E	F
(f) Roxinho (<i>Peltogyne spp.</i>)		x		x		
(g) Paraju / Maçaranduba (<i>Manilkara spp.</i>)					x	x
(h) Cedro (<i>Cedrela spp.</i>)					x	
(i) Ipê (<i>Tabebuia spp.</i>)					x	

■ Madeiras disponíveis para extração com projeto de manejo florestal (IPT, 2013).

■ Madeiras a serem substituídas por espécies similares, visando o projeto de manejo.

Fonte: Autor.

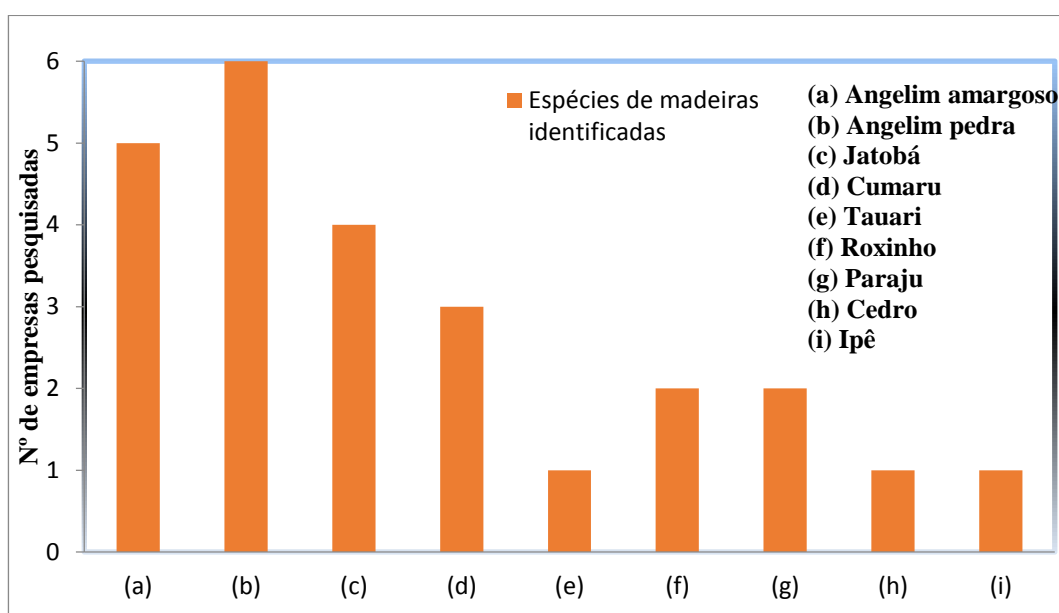


Figura 15 – Madeiras dicotiledôneas comercializadas na microrregião de Viçosa, identificadas através de seis fornecedores. Fonte: Autor.

O ‘Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil’ (IPT, 2013) apresenta vinte espécies (Quadro 12) que podem ser substituídas por outras já difundidas no mercado. Dentre as madeiras do catálogo, identificou-se nas empresas fornecedoras (Quadro 11) a comercialização de cinco espécies na MRVC: angelim margoso, angelim pedra, jatobá, cumaru e tauari.

Quadro 12 – Madeiras apresentadas no catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil.

Espécie	Nome botânico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Angelim-vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>
Cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>

continua

Quadro 12 – Madeiras apresentadas no catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil.

Espécie	Nome botânico
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>
Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>
Mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i>
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>
Oiticica-amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
Pau-roxo	<i>Peltogyne spp</i>
Piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>
Quaruba	<i>Vochysia maxima</i>
Tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i>
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
Tuari	<i>Couratari oblongifolia</i>
Tuari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>
Uxi	<i>Endopleura uchi</i>

Fonte: IPT (2013).

As espécies identificadas têm elevada aquisição por parte dos fornecedores na MRVC, o que sugere um controle de extração com projeto de manejo florestal devido à potencialização de madeiras até então não utilizadas. As informações técnicas sobre as vinte madeiras relacionadas encontram-se nos Anexos A, B.

Durante a visita às empresas nas quais foi possível coletar os dados, pôde-se inferir que é possível ampliar a oferta de madeiras para comercialização, de maneira sustentável, usando-se espécies não conhecidas que podem substituir outras já utilizadas, desde que suas propriedades sejam semelhantes (IPT, 2013).

Assim, como forma de contribuir para extração de madeiras com projeto de manejo, as cinco espécies comercializadas na MCRV (v. Quadro 13) e identificadas com o catálogo de madeiras brasileiras foram analisadas e relacionadas no desenvolvimento da pesquisa para o emprego final na construção, como habitação.

Quadro 13 – Uso final das espécies como elemento construtivo na MRVC.

	Espécies de madeiras identificadas	Uso final na construção pelas empresas identificadas							
		Viga	Marco	Pilar	Caibro	Ripa	Forro	Rodapé, rodaforno	Assoalho
(a)	Angelim amargoso (<i>Vatairea sp.</i>)	X	X	X	X	X	X	X	
(b)	Angelim pedra (<i>Hymenolobium petraeum Ducke</i>)	X	X	X	X		X	X	
(c)	Jatobá (<i>Hymenaea spp.</i>)	X		X			X		X
(d)	Cumaru (<i>Dipteryx odorata (Aublet.) Willd.</i>)	X		X				X	X
(e)	Tuari (<i>Couratari oblongifolia</i>)	X		X	X	X		X	

Fonte: Autor.

Para o uso final das espécies na construção, faz-se necessário analisar as propriedades, dimensões, formas e nível requerido de desempenho da madeira. Nesse sentido, foi analisado nos fornecedores o uso final das espécies de madeiras utilizadas na MRVC e identificadas no catálogo de madeiras brasileiras com projeto de manejo florestal para aplicação como componente na edificação.

A adequação das madeiras para o uso final na edificação foi organizada em uma classificação geral de usos na construção civil (IPT, 2013), como se pode observar nos Quadros 14 a 20 e nas Figuras 16 a 23.

a) Construção civil pesada

- Externa - Estruturas pesadas, cruzetas, estacas, escoras, pontaletes, portas, pranchas, ripas, vigas.

Quadro 14 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil pesada externa

Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>

Fonte: IPT (2013).

- Interna - Carpintaria resistente em geral, tesouras, terças, vigas, treliças, estruturas, colunas, cruzetas, tábuas, caibros, ripas.

Quadro 15 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil pesada interna

Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Tauari	<i>Couratari spp</i>

Fonte: IPT (2013).

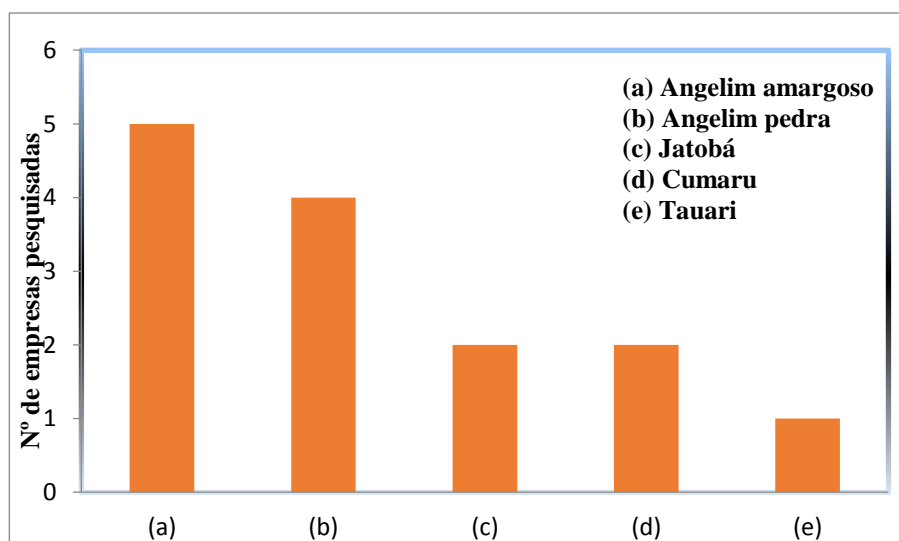


Figura 16 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como viga para construção.
Fonte: Autor.

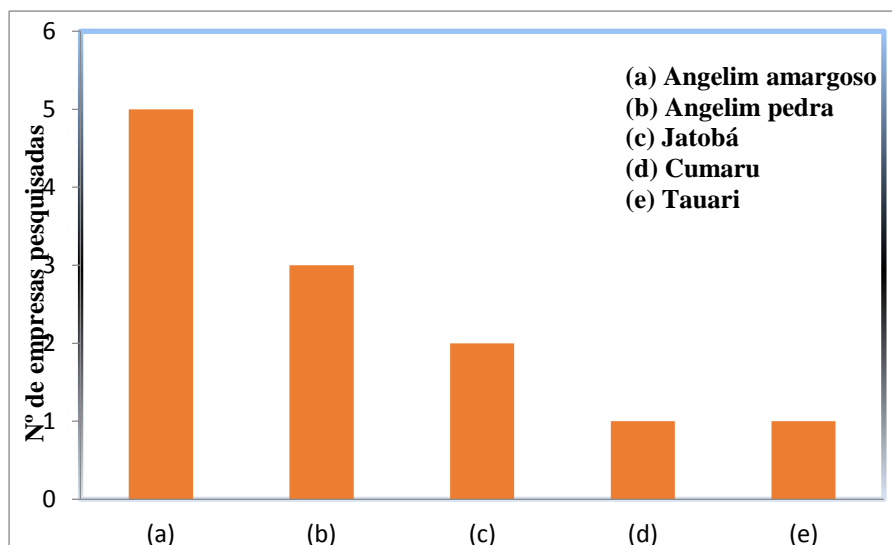


Figura 17 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como pilar.
Fonte: Autor.

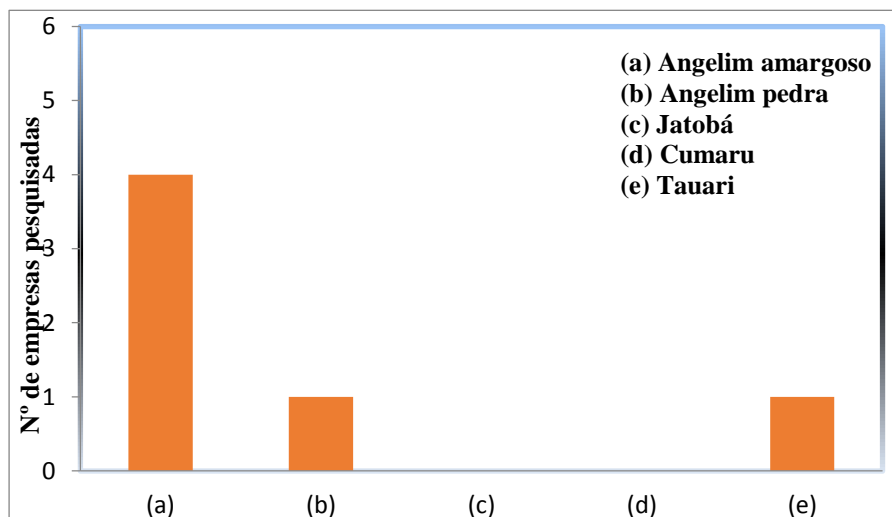


Figura 18 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como caibro.
Fonte: Autor.

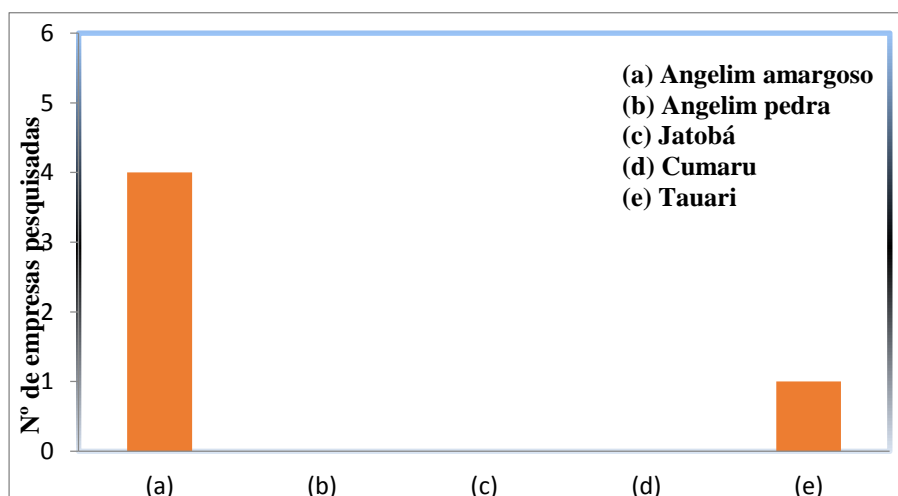


Figura 19 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como ripa.
Fonte: Autor

b) Construção civil leve

- Externa e uso temporário - Moirões, pontaletes, andaimes, vigas, tábuas, caibros, caixilhos, guarnições, ripas, sarrafos, formas para concreto.

Quadro 16 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil leve externa e uso temporário.

Nome popular	Nome científico
Angelim-amargoso	<i>Vatairea sp</i>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Tauari	<i>Couratari spp</i>

Fonte: IPT (2013).

- Interna Decorativa - Tábuas, lambris, painéis, molduras, perfilados, guarnições, rodapés, sarrafos.

Quadro 17 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil leve interna, decorativa.

Nome popular	Nome científico
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>

Fonte: IPT (2013).

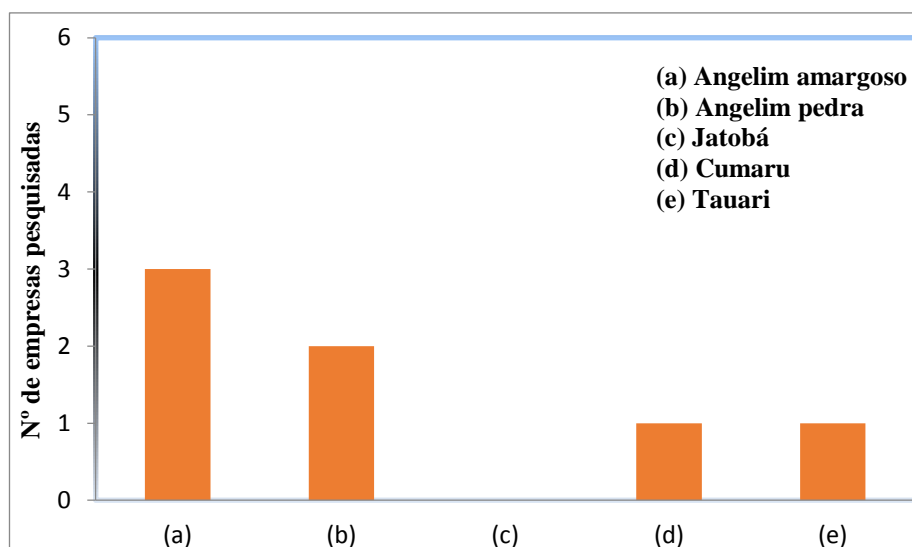


Figura 20 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como rodaforno e rodapé.

Fonte: Autor.

- Esquadrias - Portas, folha de porta, venezianas, caixilhos, batentes, janelas, sarrafos.

Quadro 18 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil leve, em esquadrias.

Nome popular	Nome científico
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>
Tauari	<i>Couratari spp</i>

Fonte: IPT (2013).

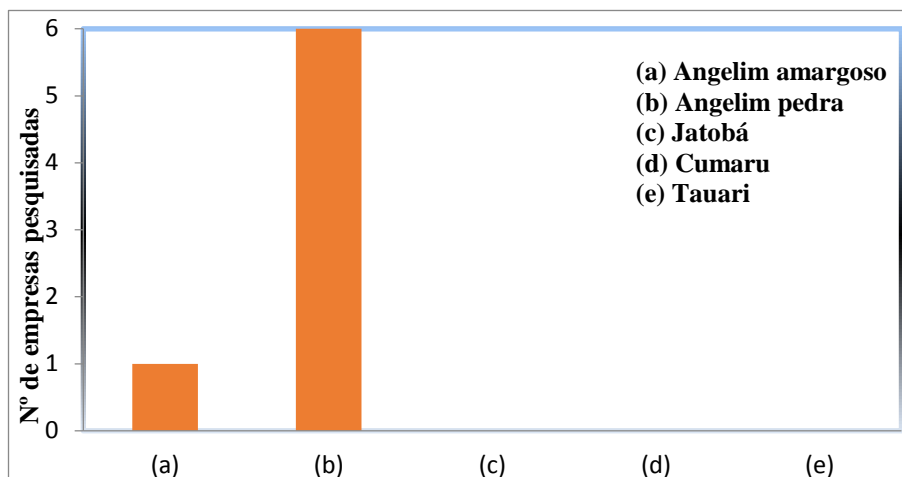


Figura 21 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como marco.
Fonte: Autor.

Utilidade geral - Tábuas, sarrafos, ripas, cordões, forros, guarnições, arremate meia cana, rodapés, corrimãos.

Quadro 19 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil leve interna, de utilidade geral.

Nome popular	Nome científico
Tauari	<i>Couratari spp</i>

Fonte: IPT (2013).

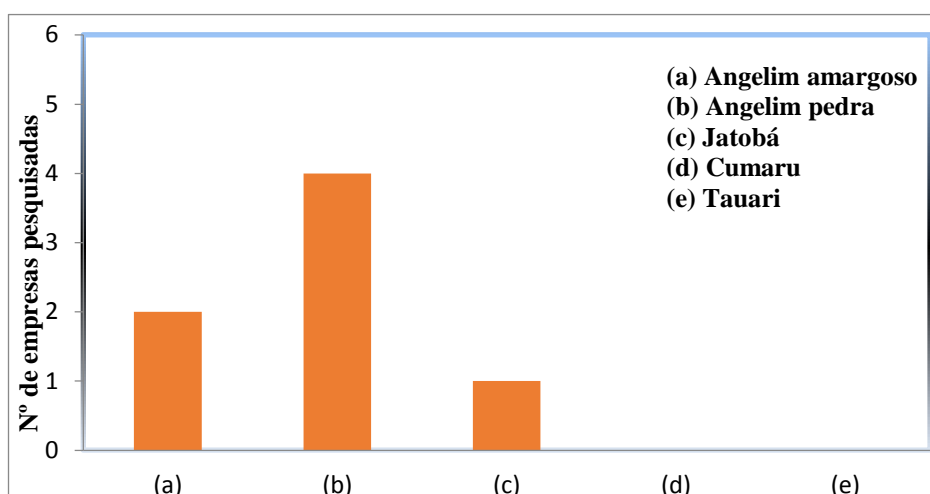


Figura 22 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como forro.
Fonte: Autor

c) Assoalho – Tacos, tábuas, parquet, blocos, estrado.

Quadro 20 – Madeiras comercializadas na MRVC para o uso na construção civil, em assoalhos domésticos.

Nome popular	Nome científico
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>

Fonte: IPT (2013).

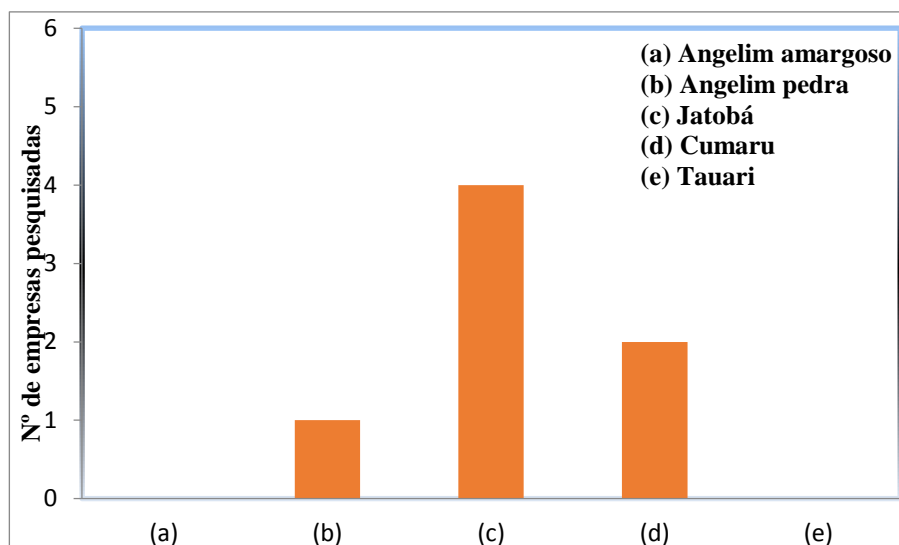


Figura 23 – Espécies de madeiras comercializadas na MRVC como assoalho.
Fonte: Autor.

De acordo com a classificação geral de usos da madeira (IPT, 2013), foi identificado nas empresas visitadas o emprego correto das espécies angelim amargoso, angelim pedra, jatobá, cumaru e tauari, que se enquadram nos critérios para o uso final como elemento construtivo na edificação.

- 2) Qual a metragem cúbica em madeira adquirida mensalmente pela empresa para atender a demanda?

As empresas A e F fazem aquisição de duas cargas mensais (cerca de 50m³). As empresas B, C, D, E e G uma carga mensal (cerca de 25m³). Tais informações permitem inferir veículos adequados e suas especificações e capacidade para o transporte rodoviário dessas cargas.

- 3) O beneficiamento/processamento da madeira para o seu uso na construção ocorre de qual maneira?

Foram identificados nas empresas A, B, C, D e F o mesmo procedimento de compra e beneficiamento. As empresas fazem aquisição da madeira já desdobrada (serrada) e realizam o aparelhamento/sarrafeamento em sua sede (fábrica). Exceto a empresa E, que já recebe a madeira beneficiada em peças pré-fabricadas, prontas para a utilização como sistema construtivo.

- 4) Qual a cidade e/ou o estado de origem da madeira e, se possível, os procedimentos para compra?

Os fornecedores da matéria-prima para as empresas visitadas na MRVC localizam-se nos estados de Rondônia e Pará, tendo as cidades de Jarú-RO e

Paragominas-PA como potencial fonte de origem. Não foram identificadas serrarias para o desdobro de madeiras nativas na MRVC devido à escassez da matéria-prima na região.

- 5) Na chegada da madeira é realizado algum procedimento para avaliar a umidade em que se encontra o material? SIM ou NÃO [Se sim, quais os métodos utilizados?]

Nas empresas A, B, D, E e F não foi identificado nenhum procedimento para avaliar a umidade da madeira em sua chegada e antes do beneficiamento. A empresa C controla e determina a umidade de 13% para realizar o aparelhamento das peças.

- 6) Na venda da madeira, é avaliado o estado de umidade em que se encontra o material? SIM ou NÃO. [Se sim, quais são os cuidados e informações ao comprador?]

As empresas A, B, D, E e F permanecem sem avaliar o estado de umidade da madeira após o seu beneficiamento/aparelhamento, neste caso já pronta para o uso.

Identifica-se a falta de cuidados/critérios para a comercialização/utilização como material construtivo. A empresa C realiza o controle de umidade para comercializar as peças para marco (batente), assoalho (piso) e esquadrias (portas e janelas).

- 7) Tratando-se de um material natural, a madeira está sujeita a alterações dimensionais. A empresa adota algum procedimento para evitar tal ocorrência? SIM ou NÃO. [Se sim, quais são os procedimentos/cuidados?]

Identificou-se como cuidado para evitar as alterações dimensionais da madeira a estocagem em local coberto. Considera-se este procedimento necessário, porém insuficiente, pois tratando-se de um material anisotrópico é importante analisar as condições de armazenagem a qual será submetido.

- 8) Quais são as condições de armazenagem da madeira?

Todas as empresas visitadas armazenam a madeira em local coberto (galpão). Verifica-se a falta de cuidado para estocar as madeiras (Figuras 24, 27 e 28), não sendo possível uma ventilação natural adequada. Tal procedimento de armazenagem influencia nas características dimensionais das peças e compromete o seu uso final como elemento da edificação. Na empresa C, as condições de armazenagem (Figuras 25 e 26) são adequadas quanto ao alinhamento e espaçamento entre as peças, que são separadas por bitolas, favorecendo assim a ventilação natural.

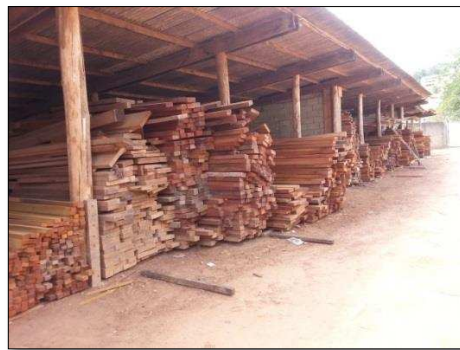


Figura 24 – Condições de armazenagem da madeira na empresa A.
Fonte: Autor.



Figura 25 – Condições de armazenagem da madeira na empresa C.
Fonte: Autor.



Figura 26 – Madeiras armazenadas com espaçadores entre as peças na empresa C.
Fonte: Autor.



Figura 27 – Condições de armazenagem na empresa D.
Fonte: Autor.



Figura 28 – Condições de armazenagem na empresa F.
Fonte: Autor.

- 9) O manuseio é realizado manualmente ou por meio de maquinários? [Por exemplo, empilhadeira.]

Identificou-se que a utilização de maquinários está relacionada na organização de estocagem da madeira, conforme apresentada na questão 8. Para utilização de empilhadeira, é necessário as madeiras estarem separadas por bitolas, amarradas e espaçadas, com condições adequadas para o manuseio.

- 10) Em média, quanto tempo as madeiras ficam no estoque, da sua chegada até a transferência (venda):

Nas empresas A e D, a permanência das madeiras no estoque é da ordem de 90 dias. Nas empresas B e F, de 45 dias. Na empresa E, o procedimento é o seguinte: dez dias após a chegada da madeira é iniciada a fabricação e, após esse prazo, a madeira é encaminhada para o canteiro de obra, e sua utilização é de 15 dias. Somente a empresa C não realiza esse controle e não teve condições de responder.

- 11) A empresa realiza algum tipo de tratamento fungicida na madeira antes, durante ou após o processo de fabricação? SIM ou NÃO. [Se sim, quais são os produtos e procedimentos.]

Identificou-se que nas empresas não se faz aplicação de nenhum tratamento ou produto preservante na madeira. Tratando-se de espécies dicotiledôneas, conhecidas como madeiras duras ou de lei, não é comum o tratamento fungicida para sua comercialização. Porém, é necessária atenção às condições de exposição a que o material estará submetido, para aplicação adequada de produtos preservativos.

- 12) Havendo a necessidade de emendar peças de madeira, a empresa realiza algum tipo de corte/rasgo para ligação?

As empresas visitadas não realizam corte nas peças para ligação. Na necessidade de realizar emendas, essa função é atribuída aos carpinteiros responsáveis pela instalação. Nesse caso, deve-se atentar para a segurança do profissional carpinteiro para o uso de ferramentas, como também sua habilidade e domínio para o corte correto com a direção das fibras das madeiras entre as peças de ligação.

- 13) A empresa comercializa materiais para fixação entre as peças de madeira, tais como pregos, cavilhas, parafusos, chapas metálicas ou similares? SIM ou NÃO. [Se sim, quais são os materiais de fixação e as recomendações para utilização.]

Exceto as empresas B e E, os demais comercializam materiais de fixação entre as peças de madeira. Porém, não há recomendações por parte do vendedor, sendo de responsabilidade do comprador e ou carpinteiro quanto a aquisição e aplicação.

- 14) Após a entrega do material ao cliente comprador de peças de madeira na empresa, é recomendado algum tipo de cuidado referente a preservação/manutenção das peças em madeira? SIM ou NÃO. [Se sim, quais são as recomendações.]

Identificou-se que as empresas recomendam algum tipo de cuidado para preservação/manutenção da madeira. As empresas D e F recomendam armazená-las em local coberto, o que, por si só, não é suficiente por se tratar de um material higroscópico e anisotrópico. As empresas A, B, C e E recomendam o uso de verniz e selador, o que também não se mostra suficiente, pois deve-se levar em consideração o teor de umidade em que se encontra esse material e o tipo de verniz adequado em função do uso da peça (por exemplo: ambiente interno protegido e ambiente externo exposto a intempéries).

4.1 Conclusão do Estudo de Caso

Por meio do estudo de caso foi possível identificar como têm sido os procedimentos adotados pelas empresas que comercializam madeira na MRVC.

Apenas considerando-se o que foi identificado por meio das visitas às empresas, observa-se que os procedimentos são inadequados e insuficientes para obtenção do melhor desempenho do material, resultando situações de peças com baixa qualidade, além do comprometimento da imagem da madeira com a falta de critérios e conhecimento para o seu uso final na construção.

Tratando-se das peculiaridades da madeira com sua adaptação natural com o meio para obter seu estado de equilíbrio, deve-se levar em consideração o teor de umidade antes do seu beneficiamento em componentes da construção. A falta de conhecimento e cuidados quanto à aplicação da madeira influencia diretamente na sua durabilidade.

Devido às condições inadequadas de armazenagem por parte das empresas A, D e F (Figuras 24, 27, 28), a permanência da madeira no estoque pode gerar alterações dimensionais nas peças, o que compromete a sua comercialização e utilização.

Para o uso de elementos de fixação nas ligações entre os componentes, depreendeu-se da visita às empresas, que a falta de conhecimento por um profissional habilitado para análise do nível requerido da madeira como material de construção pode impactar a qualidade e segurança da edificação.

O que se pôde constatar das visitas às seis empresas foi a necessidade de instruções normativas voltadas para a comercialização de madeiras em função das características das espécies, principalmente em função das condições de equilíbrio da umidade da madeira com a umidade relativa do ar dos ambientes edificados e a do ar das imediações da edificação, lembrando-se que esta está diretamente relacionada com as condições do microclima do local de implantação da edificação em madeira. Tal possibilidade vai ao encontro de o consumidor ter conhecimento do produto que está adquirindo, o que permite o uso responsivo do material madeira como parte integrante de um sistema construtivo.

5. SISTEMA CONSTRUTIVO EM MADEIRA COM COMPONENTES ESTRUTURAIS TIPO VIGA E PILAR E PRANCHAS DE PAREDE COM ENCAIXE MACHO-FÊMEA

A padronização e a produção seriada em fábrica dos componentes da edificação possibilita melhor planejamento e maior controle do processo construtivo. Dentre outros aspectos, os procedimentos industrializados baseados na mecanização e na organização permitem redução de tempo, custo e resíduos da construção. Nesse sentido, o uso sustentável da madeira beneficiada em elementos pré-fabricados para construção racionalizada contribui para os novos paradigmas da sustentabilidade.

Materiais pré-fabricados devem se integrar na racionalização de processos e mão de obra, englobando a produção e a organização em todas as etapas de projeto (FERNANDES, 2009).

Como habitação, o uso da madeira é pouco difundido no Brasil, o que contribui para o pouco domínio da técnica de projeção em madeira e conseqüentemente para a escassez de mão de obra para construções em madeira. Portanto, dar maior visibilidade aos benefícios gerados por uma edificação racionalizada em madeira, sendo esta matéria-prima uma fonte renovável e com pouca energia embutida para o seu uso final, é um estímulo para capacitação da mão de obra de carpintaria. Meirelles (2007) acrescenta que pelo predomínio da tecnologia do concreto armado ser tão marcante na sociedade brasileira, as principais escolas de arquitetura do Brasil ainda não têm dado a necessária atenção em disciplinas que abordam as estruturas de madeira em sua grade curricular.

5.1 Taxonomia dos Subsistemas de Estrutura Portante, Vedação Vertical e Vedação Horizontal (Elementos e Componentes)

O sistema construtivo em madeira com componentes estruturais tipo viga e pilar e paredes em pranchas com encaixe macho-fêmea é considerado pré-fabricado, pois seus componentes são beneficiados na fábrica, em partes e em série, para então ser transportado para o canteiro de obra.

Para compreensão do sistema construtivo como um todo, é preciso entender as partes funcionais constituintes (elementos e componentes) que se inter-relacionam e integram os subsistemas (Figura 29). O sistema construtivo, analisado separadamente por suas partes, permite compreendê-las isoladamente para, então, interpretar e agir de

modo sistêmico em todos os elementos e componentes na concepção e concretização do projeto.

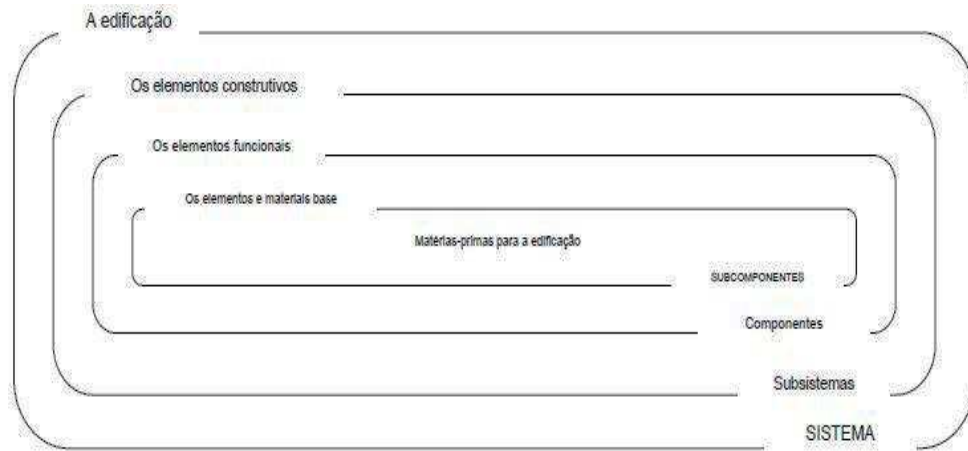


Figura 29 – Desdobramento sistêmico da edificação
 Autor: Mandolesi (1981).

Para Mandolesi (1981), a estrutura da edificação deve ser compreendida de forma global, pois o sistema é formado por um conjunto de peças e ou elementos que possuem função de integrar-se entre si e garantir as condições estáticas e de segurança.

A identificação dos elementos que compõem a edificação por meio de taxonomias dos subsistemas de estrutura portante (Figuras 30, 32 e 34), vedação vertical (Figura 39) e horizontal (Figura 44) do sistema construtivo com componentes estruturais tipo viga e pilar e pranchas de parede com encaixe macho-fêmea permite a compreensão dos elementos que se integram e garantem as condições de segurança do sistema.

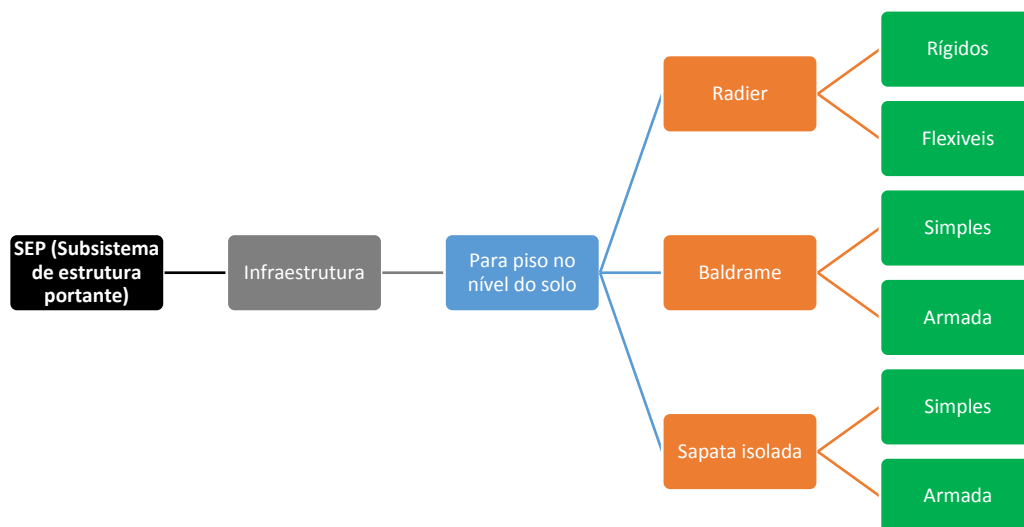


Figura 30 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante para piso no nível do solo.
 Fonte: Autor.

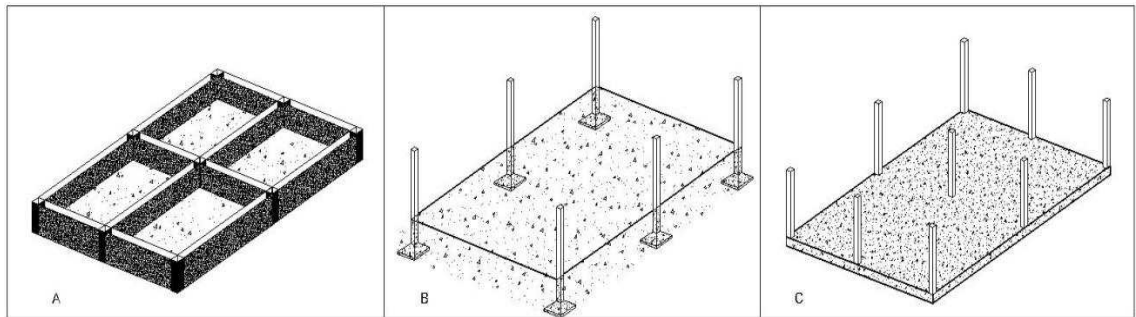


Figura 31 – (a) Baldrame; (b) Sapata isolada; (c) Radier.
Fonte: Autor.

A infraestrutura do sistema construtivo tipo viga e pilar pode ser realizada em alvenaria ou pilotis em madeira (Figuras 31 e 32). Para essas duas condições considera-se que o solo é firme e plano. Para realização em alvenaria (Figura 31), a base deverá ser impermeabilizada e elevada no mínimo 30cm acima do solo, para proteger a madeira da presença de água.

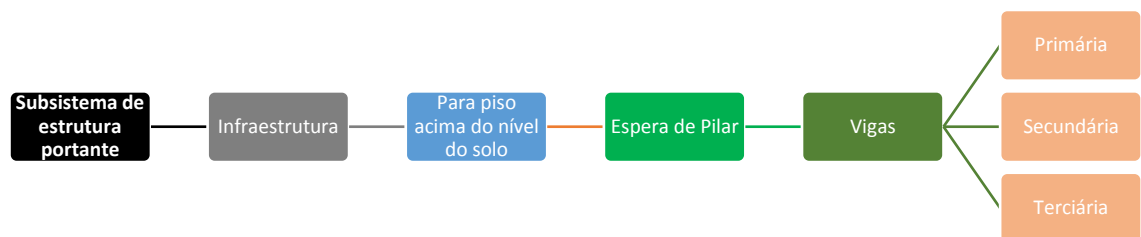


Figura 32 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante para nível acima do solo.
Fonte: Autor.

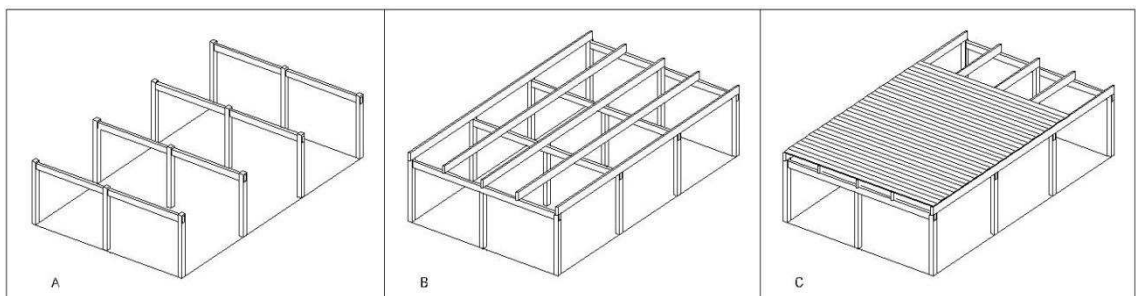


Figura 33 – (a) Pilar e viga primária; (b) viga secundária ; (c) assoalho em madeira.
Fonte: Autor.

Em quaisquer casos, é necessário realizar uma sondagem no local da construção para saber em que condições o solo se encontra.

Os componentes em madeira (vigas; pilares/montantes; paredes de vedação; caibros; ripas; forros; batentes de esquadrias; janelas; portas, corrimãos; rodapés; roda-forros; filetes; ½ tábuas e assoalhos), necessários para realização das funcionalidades do

sistema construtivo pré-fabricado, exercem forças e ficam submetidos a diferentes esforços. Analisar a função de cada parte constituinte do sistema construtivo permite maior flexibilidade na composição da edificação. Além disso, para fabricação e construção de sistema construtivo pré-fabricado em madeira, conhecer as propriedades da espécie utilizada e as ligações entre os elementos é um fator determinante para o melhor desempenho de construções habitáveis em madeira.

Construtivamente, para a montagem do subsistema estrutural (Figura 34), faz-se necessária a utilização de ripas para aprumar os pilares e montantes (Figura 35) para o contraventamento das peças e recebimento dos elementos de vedação.

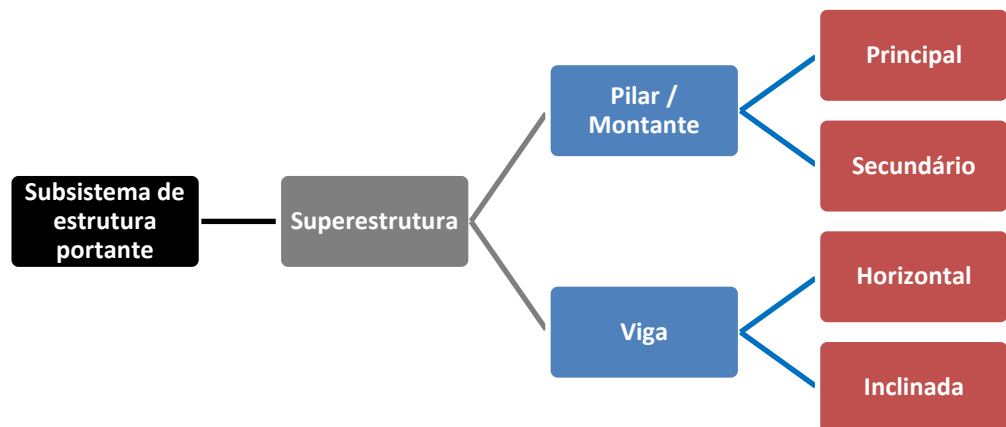


Figura 34 – Taxonomia do subsistema de estrutura portante.
Fonte: Autor.



Figura 35 – Subsistema de estrutura portante: viga horizontal e pilar.
Fonte: Autor.

Os pilares e ou montantes compreendem peças no sentido vertical (Figura 35) com alturas variáveis de acordo com a inclinação do telhado. A função desses elementos

estruturais é ser suporte para as cargas do telhado, como também receber as peças para vedação vertical por meio de rasgos nas suas extremidades e, assim, transmitir as cargas do sistema construtivo em madeira para a infraestrutura.

As vigas horizontais (Figura 35) e inclinadas (Figura 36) possuem função de receber as cargas das partes que compõem a cobertura e transmiti-las aos pilares.



Figura 36 – Subsistema de estrutura portante: viga inclinada.
Fonte: Autor.

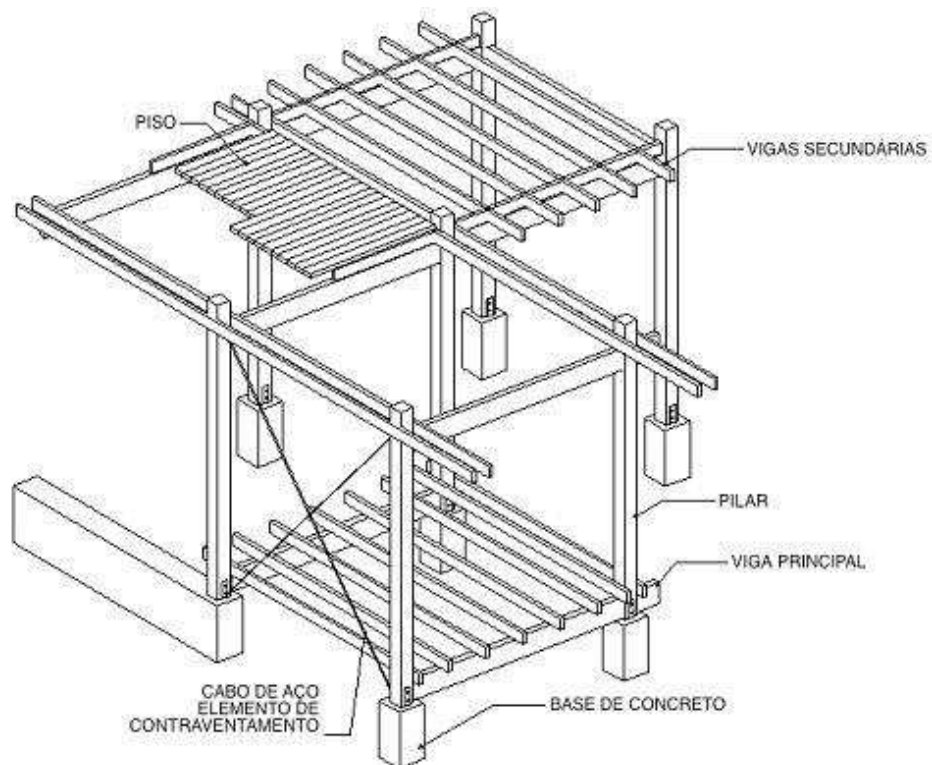


Figura 37 – Subsistema de estrutura portante.
Fonte: Meirelles (2010).

No sistema construtivo com pranchas de parede, encaixe macho e fêmea, sua estrutura (Figura 37) é independente dos elementos de vedação. Dessa forma, os pilares e vigas possuem função estrutural e as paredes função de vedação.

Há uma variação na tipologia dos pilares (Figura 38) devido a sua posição em relação à necessidade de encaixe das paredes pelos canais, o que os tornam diferentes uns dos outros, podendo ser de um canal (P1), de canto (PC2), paralelo (PP2), três canais (P3) e quatro canais (P4).

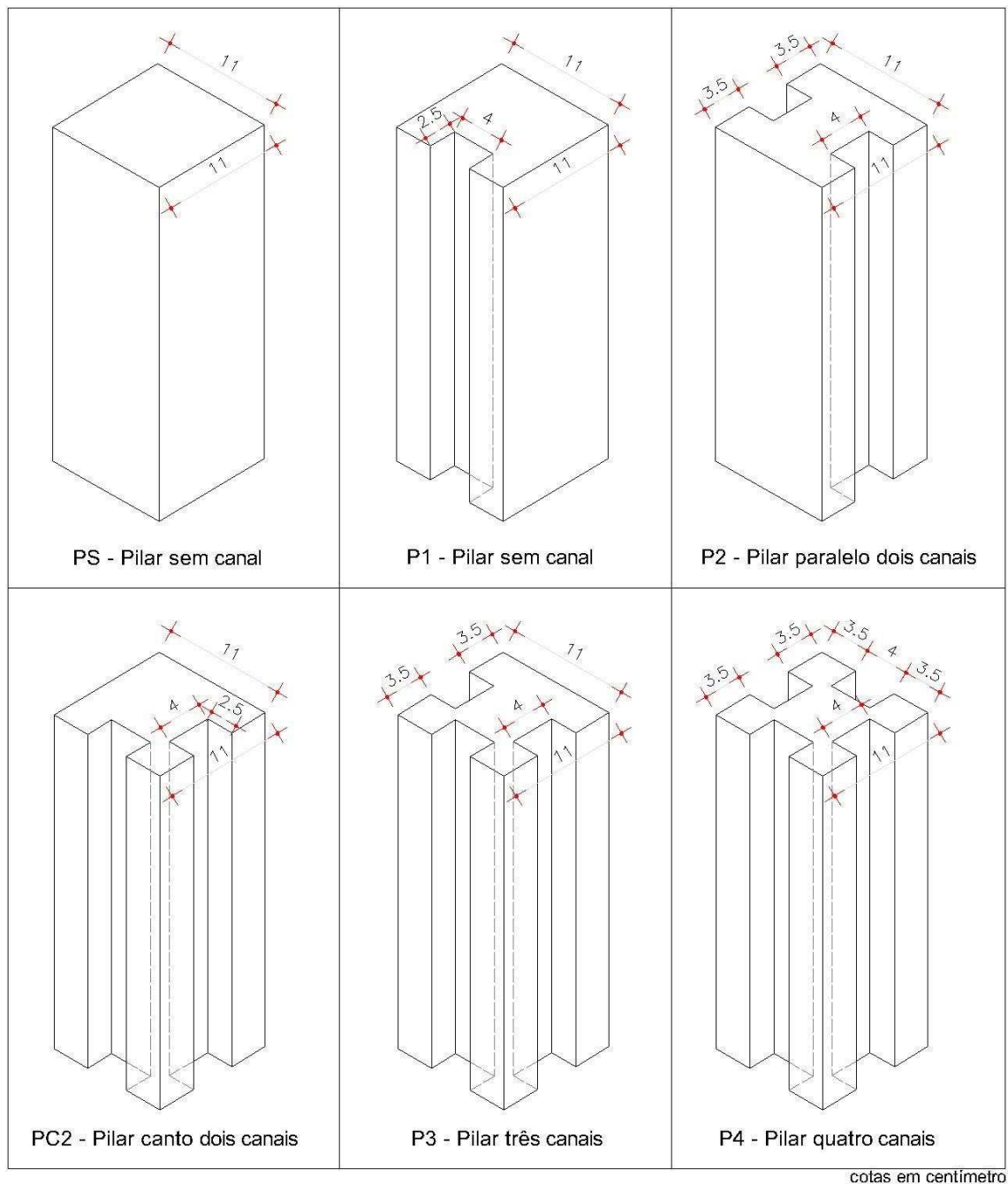


Figura 38 – Tipologia pilares e ou montantes para o encaixe das peças de vedação.

Fonte: Autor.

Na fase subsequente à realização da estrutura portante, a ligação entre os pilares e os elementos de vedação vertical ocorre sem a utilização de conectores, por meio de encaixe, sendo isto um facilitador para futuras intervenções e para maior durabilidade dos componentes.

Para o subsistema de vedação vertical (Figura 39), são consideradas as fachadas e divisões verticais como paredes, batentes de esquadrias, portas e janelas.

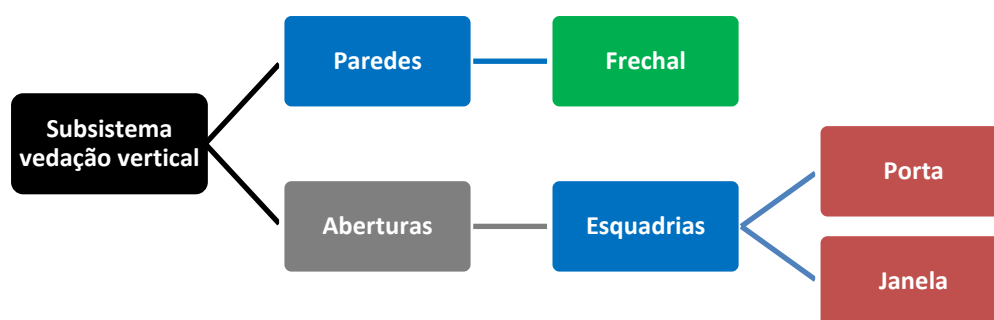


Figura 39 – Taxonomia do subsistema de vedação vertical.
Fonte: Autor.

A ligação entre as pranchas de paredes do subsistema de vedação vertical (Figura 40) é por meio de encaixe e dispensa o uso de cola ou pregos para sua fixação. De acordo com o padrão de fabricação e acoplabilidade das partes desse subsistema e a utilização de espécies dicotiledôneas, considera-se uma habitação com elevada durabilidade.

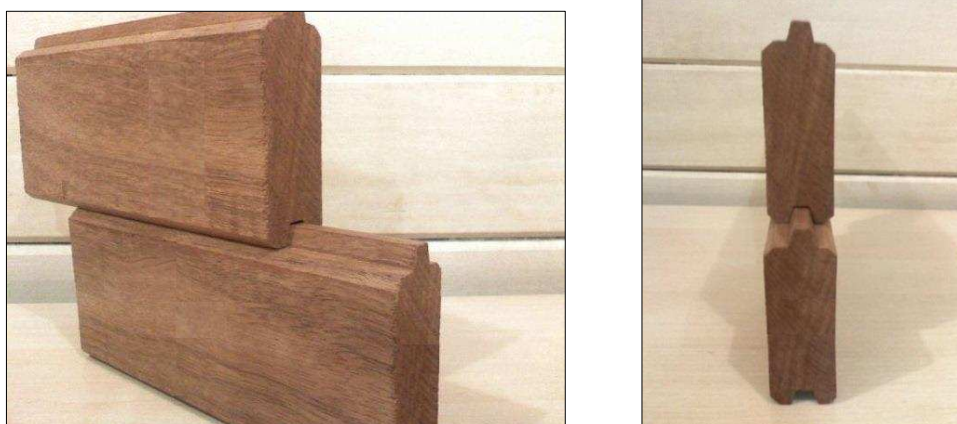


Figura 40 – Peças de vedação com encaixe macho e fêmea.
Fonte: Autor.

As paredes de vedação não possuem a função estrutural, mas têm a finalidade de realizar o contraventamento dos pilares (Figura 41) e receber as aberturas para instalação dos batentes de esquadrias para portas e janelas. Esse sistema construtivo utiliza somente o uso de madeiras maciças como elemento de vedação.



Figura 41 – Contraventamento dos pilares por meio das peças de parede.
Fonte: Autor.

Para realização das aberturas para portas e janelas, os batentes possuem rasgos para o encaixe das pranchas de parede (Figuras 42 e 43), o que permite o travamento em todas as suas extremidades.



Figura 42 – Batentes de esquadrias com abertura para encaixe das peças de paredes.
Fonte: Autor.

Para a concepção do projeto, deve-se pensar de forma sistêmica. Assim, relacionar os componentes no anteprojeto é fundamental para a compreensão do sistema edificação. Uma edificação pode ser entendida como a materialização de vários sistemas e subsistemas que devem estar relacionados e integrados entre si (CHING, 2010).



Figura 43 – Batentes de esquadrias encaixados nas peças de vedação.
Fonte: Autor.

No subsistema de vedação horizontal (Figura 44), são considerados os pisos e a cobertura. A utilização das peças que compõem a cobertura (Figuras 45 a 49) poderá variar conforme a tipologia definida e as necessidades estruturais.

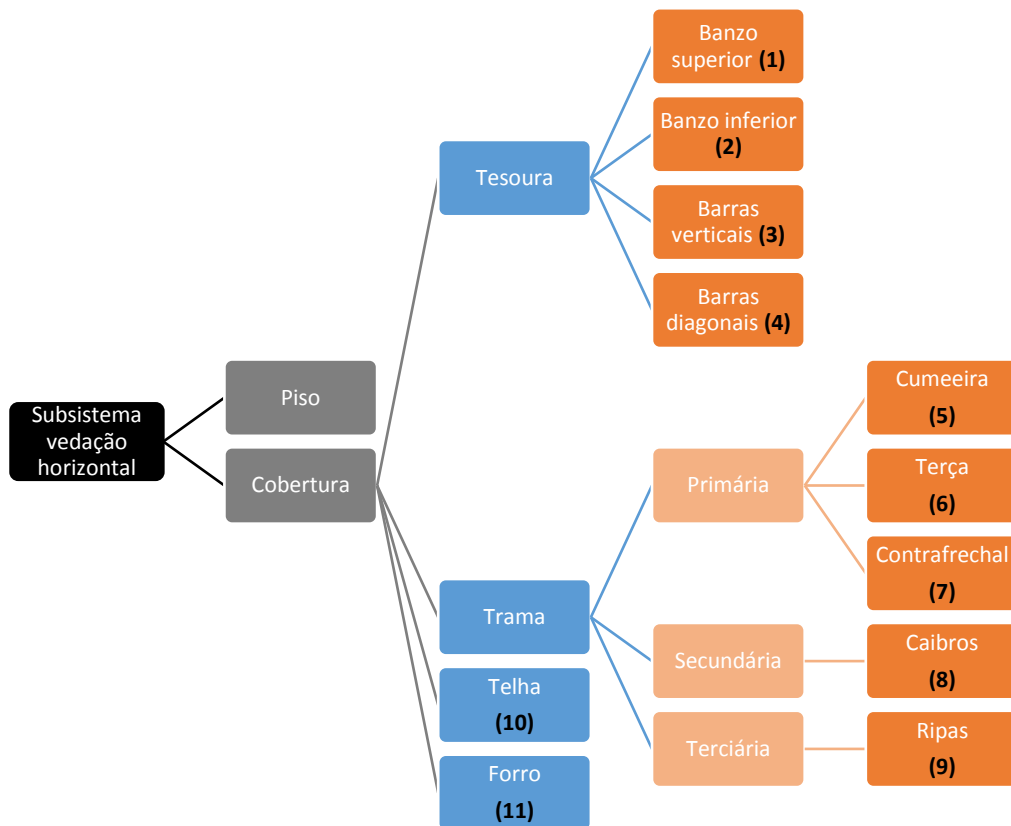


Figura 44 – Taxonomia do subsistema de vedação horizontal.
Fonte: Autor.

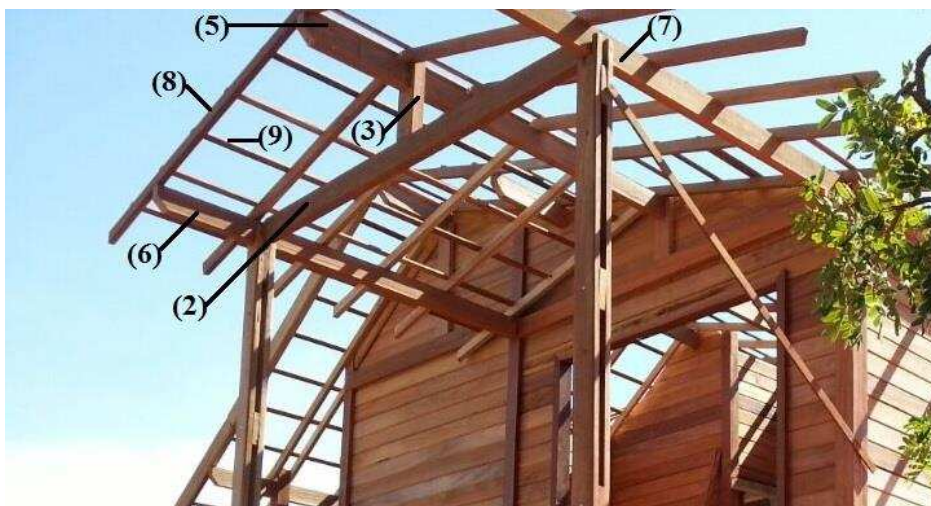


Figura 45 – Detalhe da cobertura dos elementos que compõem a trama.
Fonte: Autor.

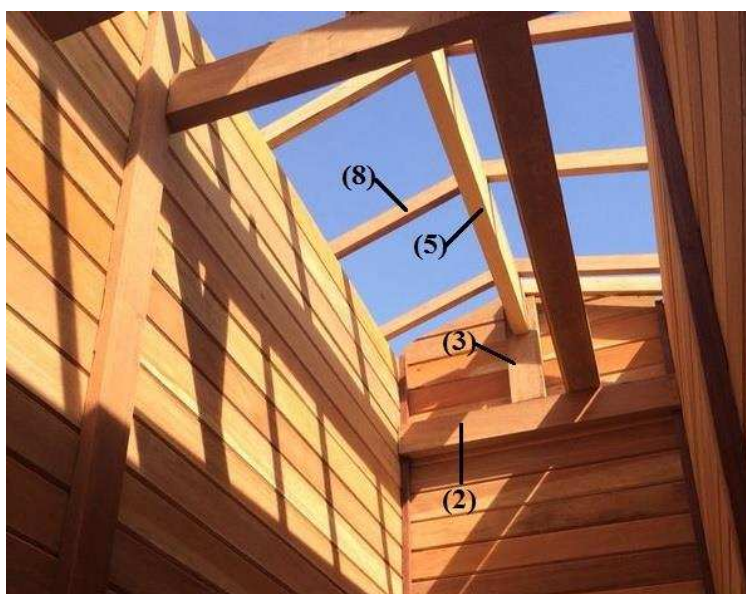


Figura 46 – Apoio do viga da cumeeira.
Fonte: Autor.



Figura 47 – Acabamento interno num forro do subsistema de vedação horizontal (cobertura-forro).
Fonte: Autor.

A tesoura (Figura 47) é o componente responsável pela estrutura da cobertura que sustentará o engradamento de madeira e também transmitir cargas e esforços para os pilares, devido o recebimento das peças que compõem a trama. Quanto à terminologia utilizada para as peças que compõem a tesoura, Moliterno (1992) diz que há diferenças entre as regiões do Brasil, e classifica-as como terminologia estrutural.

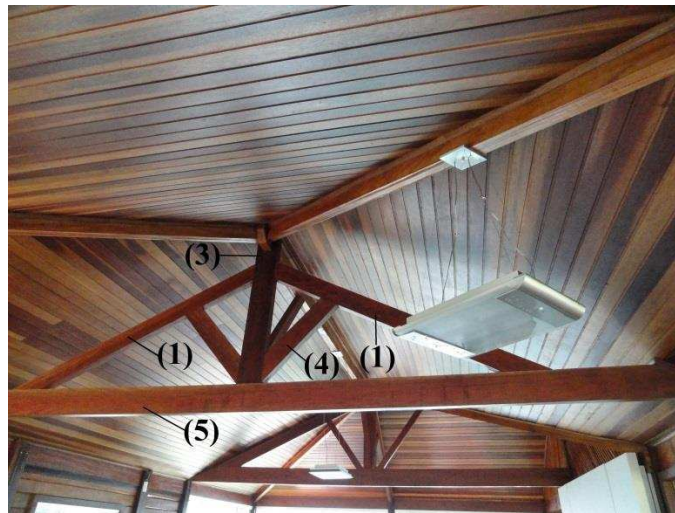


Figura 48 – Detalhe interno da tesoura.
Fonte: Autor.



Figura 49 – A cobertura vista numa imagem parcial interna de uma edificação em madeira, totalmente montada e concluída, com seus subsistemas constituintes integrados.
Fonte: Autor.

A taxonomia apresentada possibilita identificar a funcionalidade dos elementos e tipos de ligação das peças que compõem os subsistemas de estrutura portante, vedação vertical e vedação horizontal.

5.2 Ligação e Fixação entre os Elementos e Componentes

A definição dos tipos de ligações e modos de fixação entre os elementos representa uma importante funcionalidade para garantir as condições estáticas e de segurança da edificação. Faz-se necessário ao se projetar e construir uma ligação de madeira atentar-se para forças de compressão, tração e cisalhamento (item 2.3) às quais poderá estar submetida e, também, classificá-las segundo a rigidez (Figura 50) em função dos tipos de apoios entre as ligações, considerando-se os diferentes esforços nas partes constituintes do subsistema de estrutura portante.

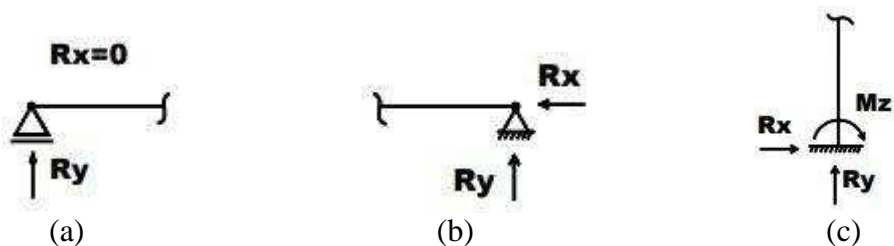


Figura 50 – Apoio das ligações (a) primeiro gênero; (b) segundo gênero; (c) terceiro gênero
Fonte: Valle; La Ravere; Pillar (2013)

A correta identificação dos tipos de apoio e das reações de apoio possibilita prover as necessárias condições de projeto e executivas quanto a deslocamentos nos pontos de ligação entre as partes, assim como quanto ao desempenho global da estrutura.

Para a concepção de projeto estrutural de uma edificação, é necessário analisar sistemicamente os requisitos que a estrutura projetada deverá cumprir. Uma das partes importantes desse processo é avaliar a confiabilidade da estrutura projetada e da capacidade de manter as características necessárias do material no período pré-determinado para sua vida útil (AUGUSTIN, 2008).

No sistema construtivo com pranchas de parede, encaixe macho-fêmea, as ligações e fixação entre vigas e pilares podem ser classificadas como articulada, semirrígida ou rígida (Figura 51).

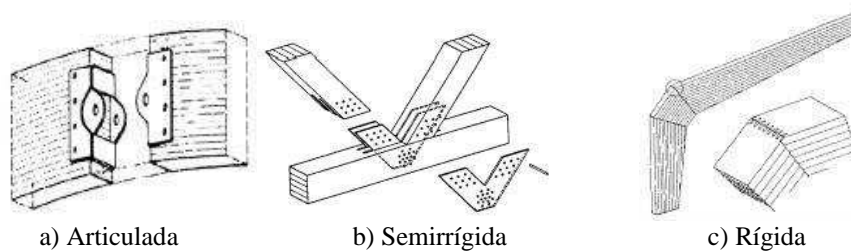


Figura 51 – Classificação das ligações segundo a rigidez.
Fonte: Valle; La Ravere; Pillar (2013)

A estrutura do sistema construtivo mostrado na Figura 52 é composta por pilares portantes e vigas principais. Esses elementos podem ser ligados em diferentes formas, pois depende das forças atuantes e das propriedades de resistência da madeira, a qual será submetida a esforços, atentando-se sempre para a direção das fibras.

Uma ligação com apoio de 3º gênero (Figura 50) é considerada rígida (Figura 52, b) quando as rotações entre os membros de ligação são restringidas ao máximo, impedindo-a de movimentar-se em termos horizontais, verticais e de rotação. Uma ligação semirrígida (Figura 52, a; c; d) é considerada um apoio de 2º gênero (Figura 50, a; c; d), no qual a movimentação entre a ligação dos elementos é restringida em dois eixos e estará totalmente livre para girar, pois não tem restrição à rotação. No caso de uma ligação articulada, sua movimentação é restringida apenas na direção normal à superfície em que o apoio se aplica. Usualmente é muito difícil obter uma ligação perfeitamente rígida ou articulada, ou seja, entre esses dois casos as ligações são consideradas semirrígidas (OLIVEIRA, 2011).

A compreensão e classificação das ligações do sistema construtivo em madeira exprimem a maneira como deve ser projetada e executada a fixação entre os elementos.

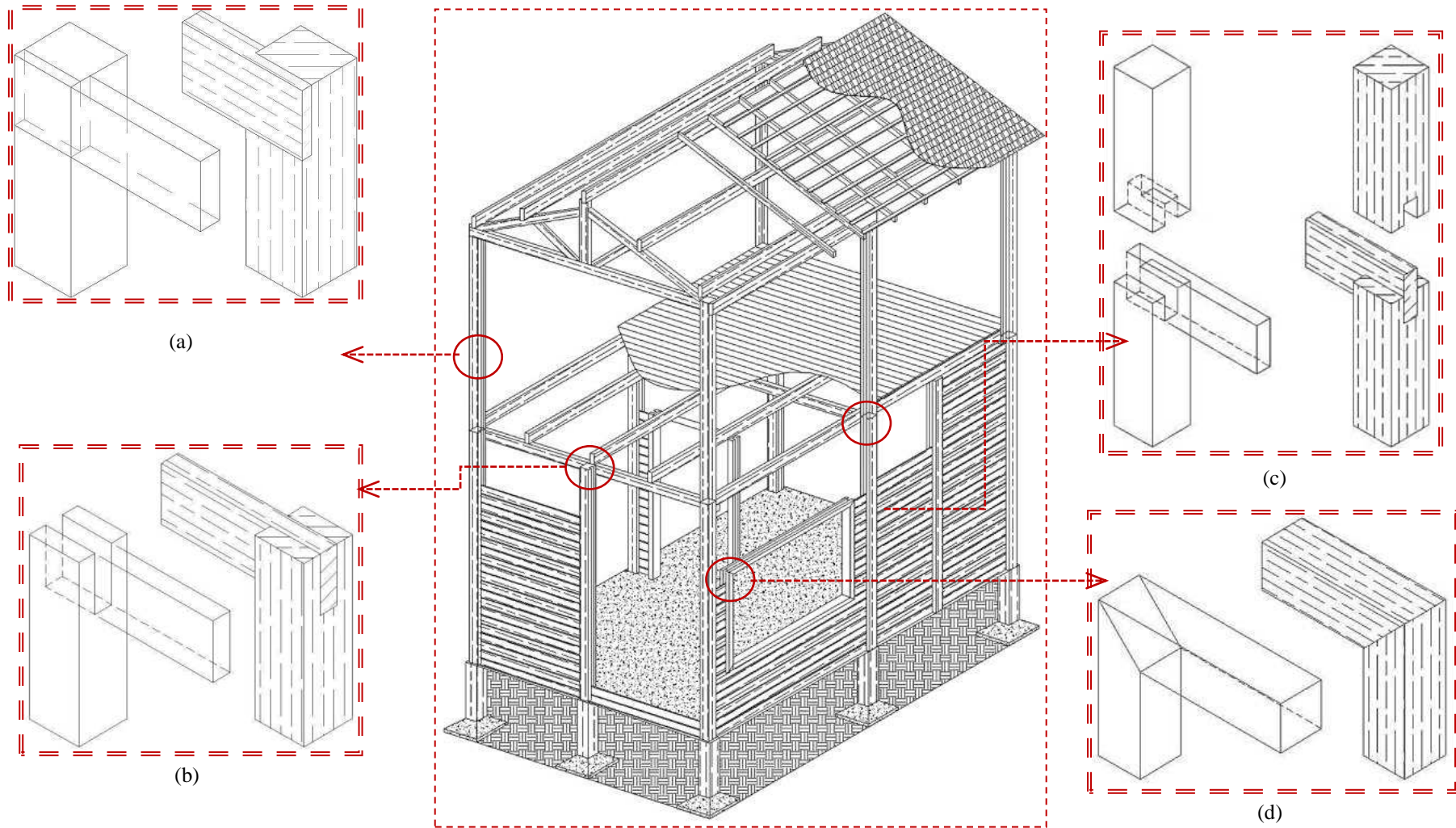


Figura 52 – Sistema construtivo viga-pilar e detalhes de ligações segundo a rigidez: (a; c; d) semirrígida; (b) rígida.
 Fonte: Autor.

Os esforços solicitantes nas ligações do sistema construtivo apresentado ocorrem: a) por transmissão direta (Figura 53, a), quando não possuem há conectores entre as peças, como é o caso dos pilares, batentes e paredes de vedações com encaixe macho e fêmea; b) por transmissão indireta (Figura 53, b), que utiliza conectores de ligação; ou c) por transmissão por justaposição (Figura 53, c), que possui uma peça intermediária de ligação e utiliza conectores para fixação (MEIRELLES, 2010; SZÜCS, 2015).

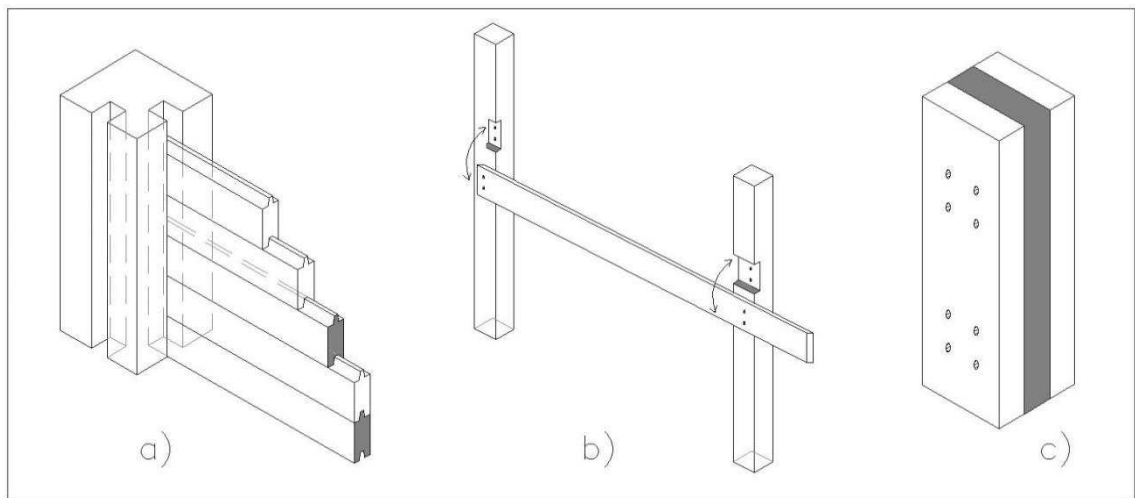


Figura 53 – Transmissão de esforços através de ligações do sistema construtivo em madeira:

(a) transmissão direta; (b) transmissão indireta; (c) transmissão por justaposição.

Fonte: Autor.

As conexões entre as peças de madeira (Figura 53 b, c) podem ser realizadas por meio de pinos metálicos (pregos ou parafusos), cavilhas (pinos de madeira torneados) e conectores (anéis metálicos ou por chapas metálicas com dentes estampados).

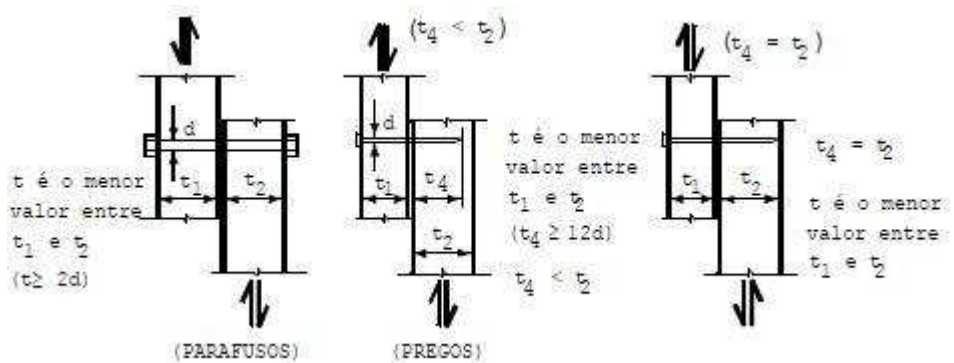


Figura 54 – Conexões com pinos metálicos

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

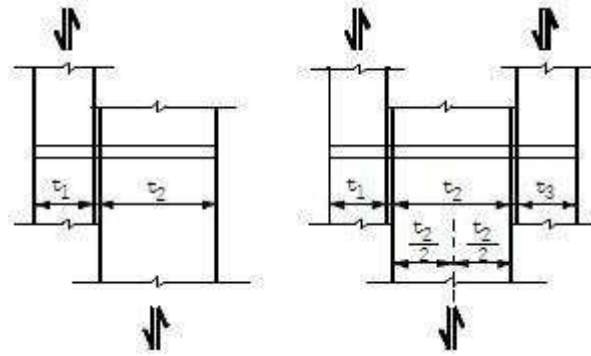


Figura 55 – Conexões com cavilhas
 Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

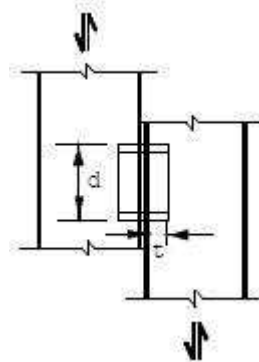


Figura 56 – Conexão com anel metálico utilizado nas ligações de vigas principais e secundárias
 Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para aplicação das conexões (Figuras, 54, 55, 56), devem ser respeitados os espaçamentos e os diâmetros de pré-furação especificada na NBR 7190:1997 para evitar o fendilhamento da madeira em virtude da presença dos elementos de união.

Para fixação dos pilares e montantes na base de concreto (Figura 57), faz-se necessária a utilização de conector metálico para sua fixação e o afastamento do solo para evitar o contato com umidade, possibilitando uma maior resistência e durabilidade da estrutura portante.



Figura 57 – Encontro da base de concreto com o pilar de madeira
 Fonte: Meirelles (2010) *apud* Dias, Alan (2008).

A identificação dos tipos de ligações e fixação do sistema construtivo em madeira com pranchas de parede, encaixe macho-fêmea, possibilitará a aplicação desta como material construtivo, proporcionando, assim, melhores condições de segurança e durabilidade.

5.3 Cuidados, Tratamento e Produtos Preservantes

Quando a madeira é exposta a intempéries, vários fatores químicos, mecânicos e energéticos contribuem para a ocorrência de manifestações patológicas. Para evitá-las ou minimizá-las, faz-se necessário proceder ao tratamento das peças de madeira.

Como medida preventiva à exposição higrotérmica, dois tipos básicos de acabamentos são usados com essa finalidade: 1º) aqueles que formam uma película ou camada protetora de recobrimento superficial (tintas e vernizes); 2º) aqueles (*stain*) que penetram na fibra da madeira (intersticial).

As tintas têm como componentes básicos resinas, pigmentos, solventes e aditivos. A resina, que é componente responsável pela formação da película, é encontrada atualmente no mercado em muitos tipos, como as poliuretanas, epoxídicas, acrílicas e vinílicas.

Os vernizes possuem muitos dos atributos de um acabamento ideal por conservar a aparência original da madeira. Trata-se de um acabamento de poro fechado, que cria uma película de proteção espessa.

O acabamento tipo *stain*, que não forma película, é constituído de pigmento sólido, algumas vezes aliado a um fungicida e hidrorrepelente. É uma boa opção decorativa por deixar aparente a grã de madeira. A maior vantagem apresentada é o fato de a manutenção ser mais simples do que no caso de tintas e vernizes e, devido à inexistência de película, o revestimento não descasca com a exposição à radiação solar e à chuva.

Internamente, em ambientes protegidos da radiação solar e da umidade, pode-se utilizar qualquer acabamento, atentando-se muito mais para o aspecto decorativo pretendido. Nas paredes externas, as tintas e vernizes brilhantes são mais resistentes que os acabamentos foscos, pois promovem reflexão de luz solar. Caso haja necessidade ou preferência por acabamentos foscos ou semi-brilhantes, é necessário se orientar com o fabricante do produto para garantir uma aplicação eficiente e se informar quanto ao

tempo de estocagem e da eficiência do produto ao longo do tempo. Alguns fabricantes recomendam a utilização de materiais com até dezoito meses após a fabricação.

Tratando-se de um material inflamável, as peças estruturais de madeira evidenciam bom desempenho ao fogo.

A carbonatação superficial das peças ocorre gradativamente dificultando assim a ruína da estrutura. Outra característica importante da madeira é o fato de não apresentar distorção quando submetida a altas temperaturas (SZÜCS, 2015).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a concepção do projeto, a utilização de normas e critérios, somada ao conhecimento dos subsistemas da edificação, e ao entendimento da funcionalidade de cada componente que integra o sistema construtivo, permitem as melhores condições de projeção com o controle de qualidade de construções habitáveis em madeira.

Tratando-se de um material em que suas propriedades físicas e mecânicas variam entre as espécies e sua condição de exposição no ambiente construído influencia na qualidade e durabilidade da edificação, faz-se necessária uma análise sistêmica do conjunto de fatores apresentado na Figura 58, para que no seu uso se verifiquem as melhores condições de habitabilidade.

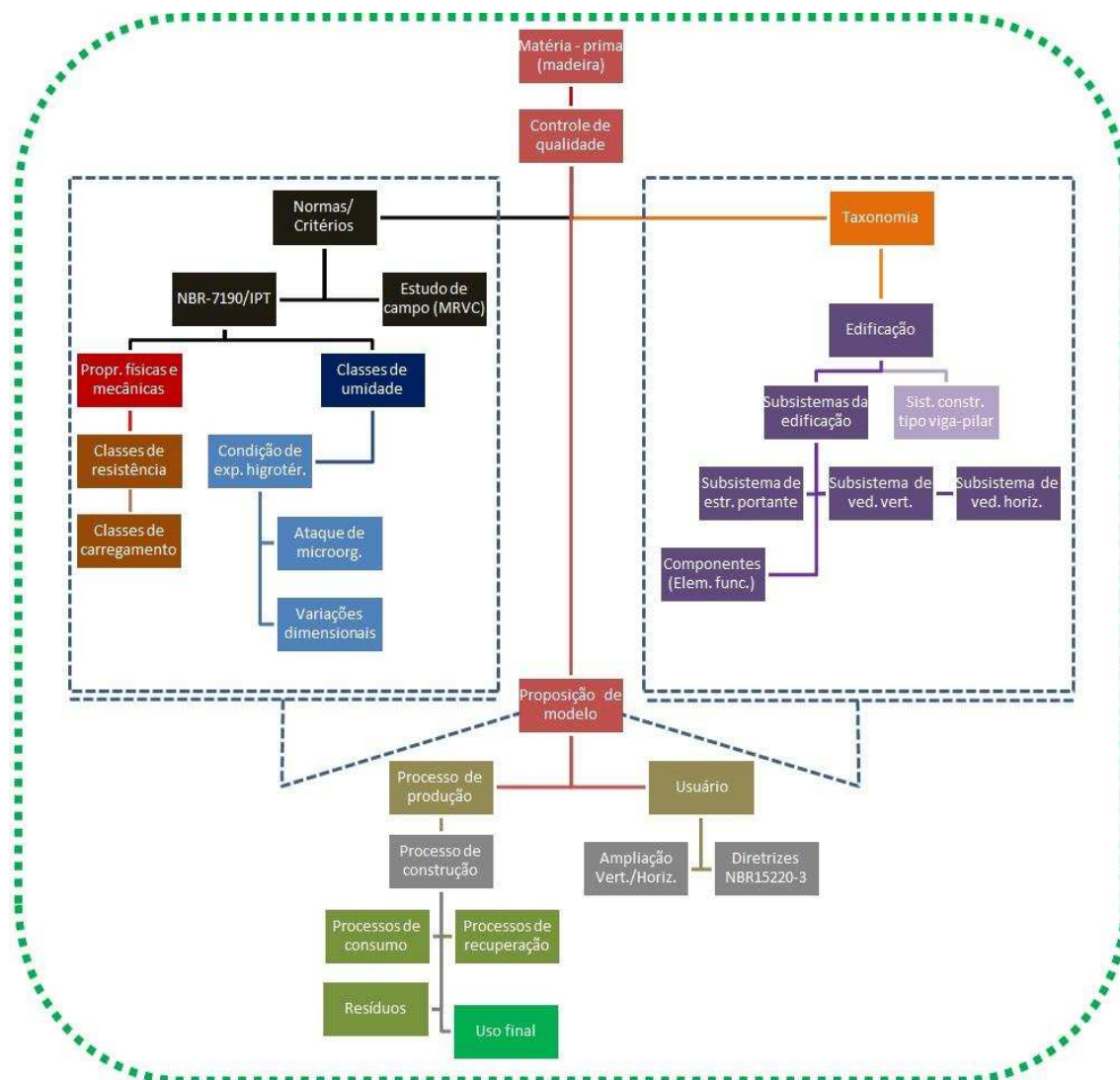


Figura 58 – Uma abordagem sistêmica para o processo de projeção de construções habitáveis em madeira.

Fonte: Autor

Em mente tais aspectos, gerou-se uma sistematização de informações para uso e controle de qualidade da madeira (Figura 58) como sistema construtivo, assim como para possíveis abordagens e contribuições para as áreas de conhecimentos relacionadas com projeção de ambientes construídos habitáveis.

Por ser um material higroscópico e anisotrópico, é indispensável a avaliação da umidade, como também o conhecimento das condições ambientais e climáticas a que as peças de madeira aplicadas em edificações estarão submetidas para que, com o passar do tempo, fiquem menos sujeitas a agravamentos no seu teor de umidade em função de suas condições de exposição e dos efeitos do meio ambiente.

Recorrendo-se a uma taxonomia, foram identificados e analisados a funcionalidade dos componentes do sistema construtivo com pranchas de paredes, encaixe macho-fêmea, juntamente com os esforços e ligações dos subsistemas estrutural, de vedação vertical e de vedação horizontal que integram e garantem as condições estáticas e de segurança da edificação em madeira. A identificação e análise dos componentes possibilitou compreender o dimensionamento das peças no que diz respeito aos esforços de tração, flexão e cisalhamento para fixação das ligações, conforme os critérios da NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeiras (ABNT, 1997).

Com tal compreensão e análise dos critérios para o uso da madeira, foi possível estabelecer uma tipologia de projeto juntamente com seu projeto de montagem e contribuir para o processo de projeção, como também incentivar a utilização do sistema construtivo tipo viga-pilar com pranchas de parede, encaixe-macho-fêmea, como uma alternativa para construção em madeira na microrregião de Viçosa-MG.

6.1 Diretrizes Construtivas Utilizando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A norma NBR 15220-3:2005 busca aprimorar a qualidade bioclimática desejável em edificações. Essa norma contém recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática. Nela, são identificadas oito zonas relativamente homogêneas no território brasileiro, cujos climas foram classificados e estratégias de condicionamento térmico foram apresentadas. Por essa norma, a Zona da Mata Mineira (ZMM) é quase integralmente enquadrada (Figura 59) na zona bioclimática três, ZB3.

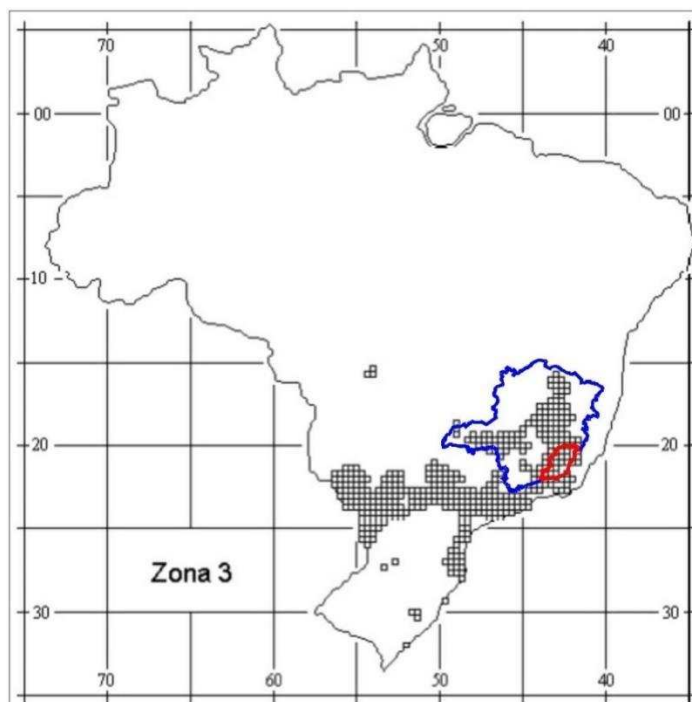


Figura 59 – Zona Bioclimática 3
 Fonte: NBR 15220:3 (ABNT, 2005).

Para a zona três, são estratégias recomendadas para condicionamento térmico: ventilação cruzada; aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas. Assim, para o melhor desempenho térmico da edificação, as estratégias estabelecidas para tomada de decisão e avaliação encontram-se nos Quadros 21, 22, 23.

Quadro 21 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico para a Zona Bioclimática 3

Estratégia	Detalhamento
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio com a incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes mediante aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
F	As sensações térmicas são melhoradas mediante desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida provendo renovação do ar interno por ar externo por meio de ventilação dos ambientes.
I e J	A ventilação cruzada é obtida promovendo circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Quadro 22 – Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3

Aberturas para ventilação	Área (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas
Médias	15% < A < 25%	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Quadro 23 – Tipos de vedações externas, transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para a Zona Bioclimática 3

Vedações externas		Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – ϕ (horas)	Fator Solar – FSo (%)
Parede	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	FSo $\leq 4,0$
Cobertura	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

6.2 Proposição de Modelo de Referência para Habitação em Sistema Construtivo em Madeira com Possibilidade para Ampliação Horizontal, Vertical e Ambas Simultaneamente

Considerando-se a possibilidade de processos de expansão de uma edificação em madeira, foi proposta uma habitação cujo projeto preliminar foi denominado módulo base, com 70,00m² (Figura 60), o qual possibilita ampliações vertical, horizontal e simultâneas e teve como diretrizes construtivas a NBR-15220-3:2005. Assim, foi possível aplicar as estratégias para condicionamento térmico em Viçosa, localizada nas coordenadas geográficas 20°45'14"S e 42°52'54"W.

As opções elaboradas foram desenvolvidas para implantação num terreno com a orientação identificada na Figura 60, e de modo a possibilitar ampliação por etapas, de um até cinco dormitórios, que as intervenções necessárias nos componentes do sistema construtivo para as etapas de ampliação proporcionem facilidade no manuseio e flexibilidade na reutilização.

Para a concepção do projeto arquitetônico em madeira, deu-se atenção para a parte estrutural, levando-se em consideração critérios que influenciam no desempenho do material e na estética final da construção, como:

- uso de modulação;
- posicionamento dos pilares e/ou montantes;
- alinhamento dos pilares e/ou montantes;
- apoio do vigamento da cobertura (tesoura, terça e cumeeira);
- comprimento das peças de paredes de vedação;
- instalação das esquadrias;
- possibilidade para futura ampliação.

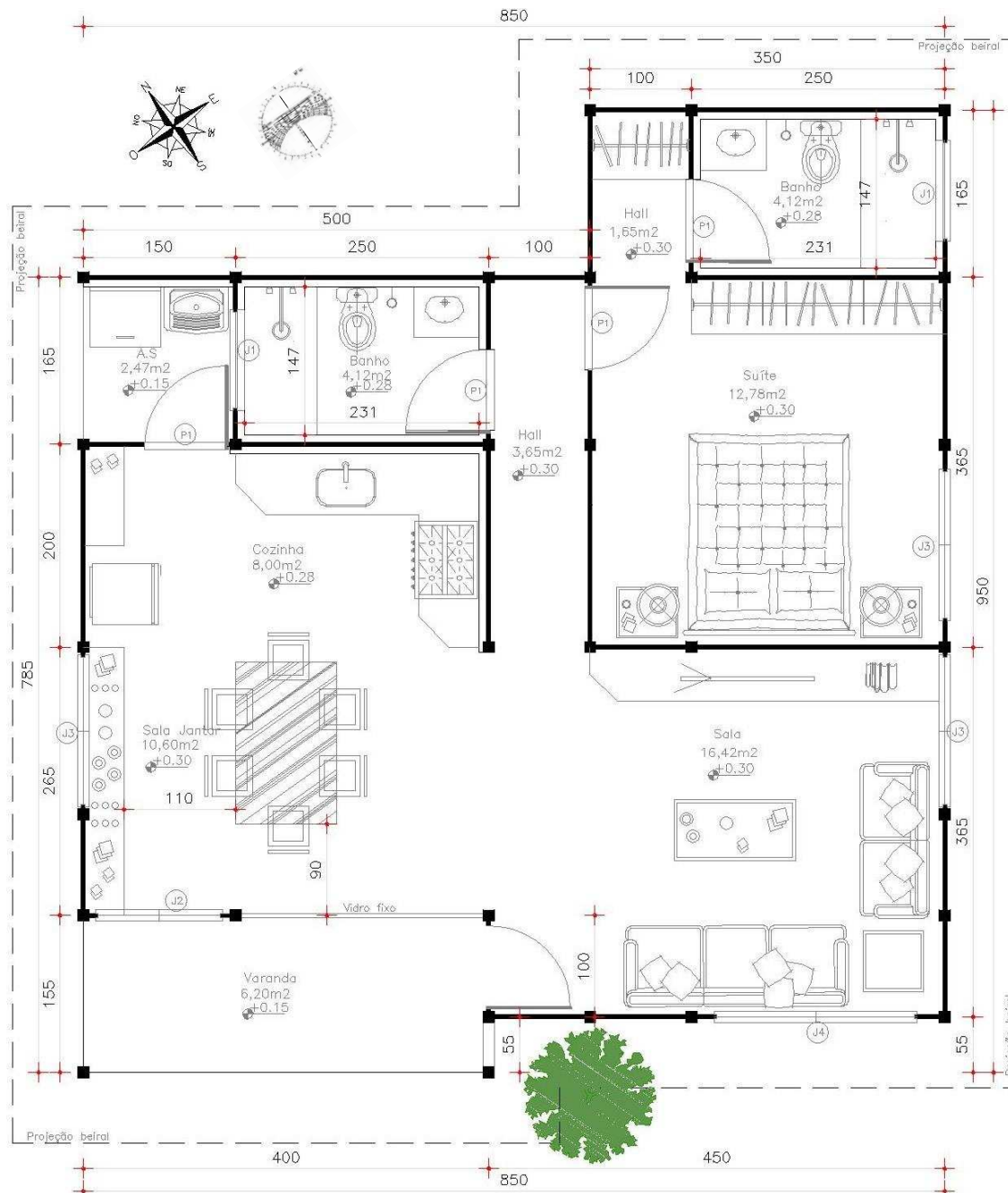


Figura 60 – Planta baixa (módulo base), com área total de 70,00m², sem escala (para: ZB3; latitude 20°S).
Fonte: Autor.

Para o condicionamento térmico, buscou-se aplicar a ventilação cruzada no posicionamento das aberturas da sala de estar, jantar e cozinha, como também o *shed* na cobertura (Figura 64). Tais decisões melhoram a sensação térmica por meio da renovação do ar e permitem sua circulação entre os ambientes, dando-se, portanto, prioridade a soluções termicamente passivas.

O posicionamento da sala tem suas aberturas (janelas) para o sudoeste e sudeste para o melhor conforto térmico e lumínico do seu interior. A abertura (janela)

da suíte está para o sudeste e a de cada banheiro e da área de serviço para o noroeste e nordeste, com maior incidência de radiação solar nos períodos matutino e vespertino, aspectos que foram considerados favoráveis por tratar-se de áreas molhadas. A cozinha e sala de jantar, com aberturas e vedação translúcida para noroeste e sudoeste, recebe incidência solar no período vespertino, o que colabora para o aquecimento no período do frio e a iluminação natural dos ambientes. O modelo de habitação desenvolvido como de referência, incluindo expansões idealizadas, está graficamente representado das figuras 60 a 70.

Quadro 24 – Medidas de esquadrias de portas e janelas

JANELAS				PORTAS		
ITEM	LARGURA	ALTURA	PEITORIL	ITEM	LARGURA	ALTURA
J1	100	50	182	P1	80	210
J2	125	150	60			
J3	150	150	60			
J4	200	100	110			

Fonte: Autor.

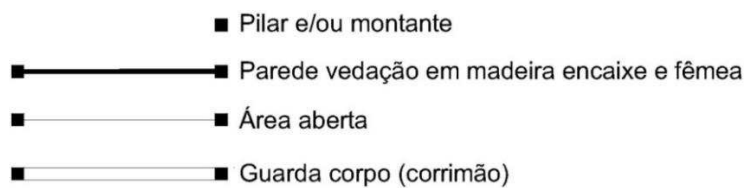


Figura 61 – Legenda dos elementos especificados na planta baixa.

Fonte: Autor.

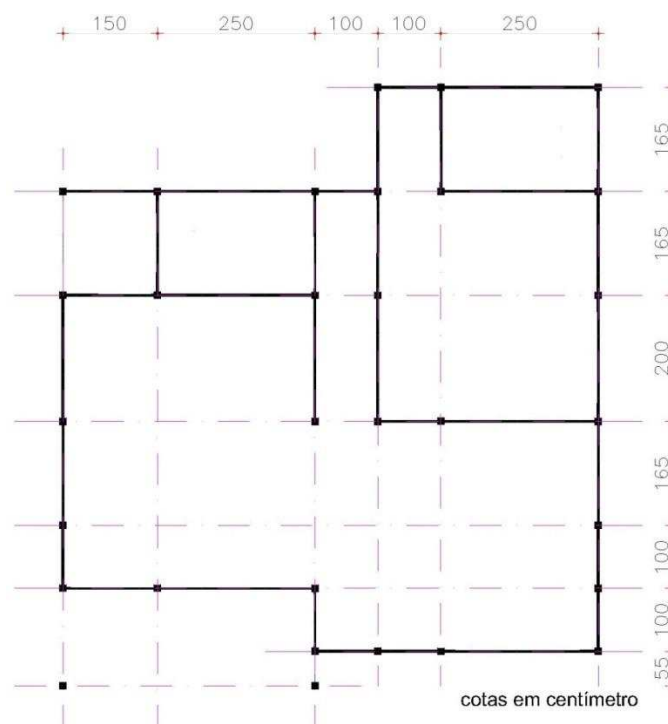


Figura 62 – Procedimento de modulação dos pilares e montantes (sem escala).

Fonte: Autor

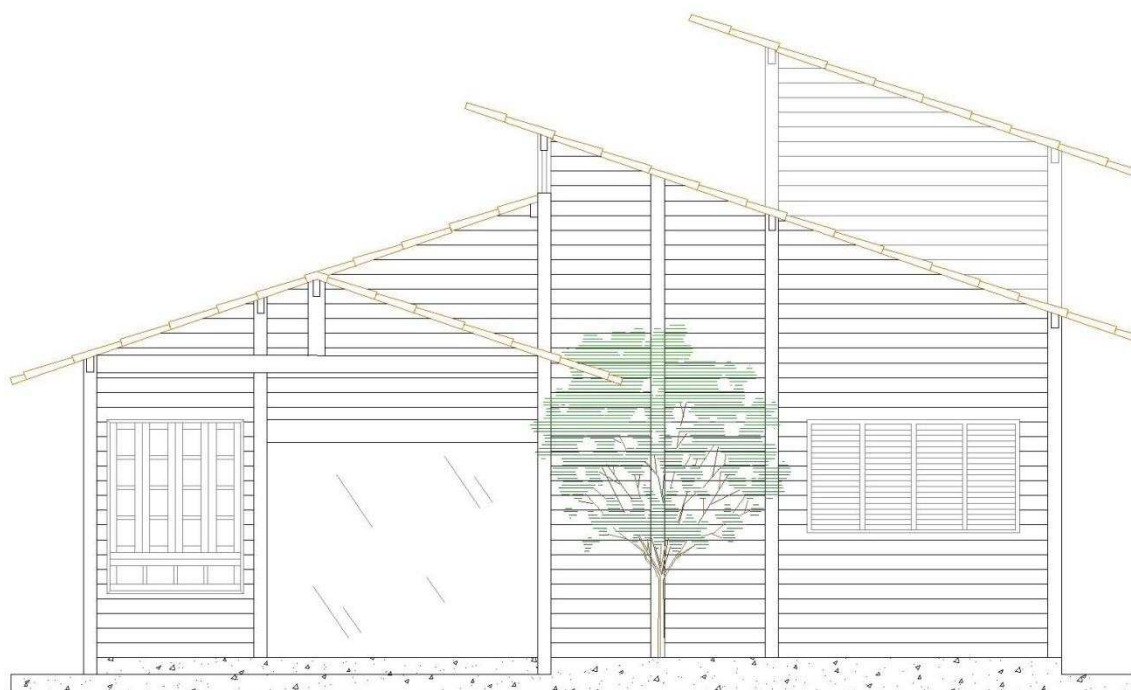


Figura 64 – Vista frontal (Módulo base e ampliação horizontal).
 Fonte: Autor.

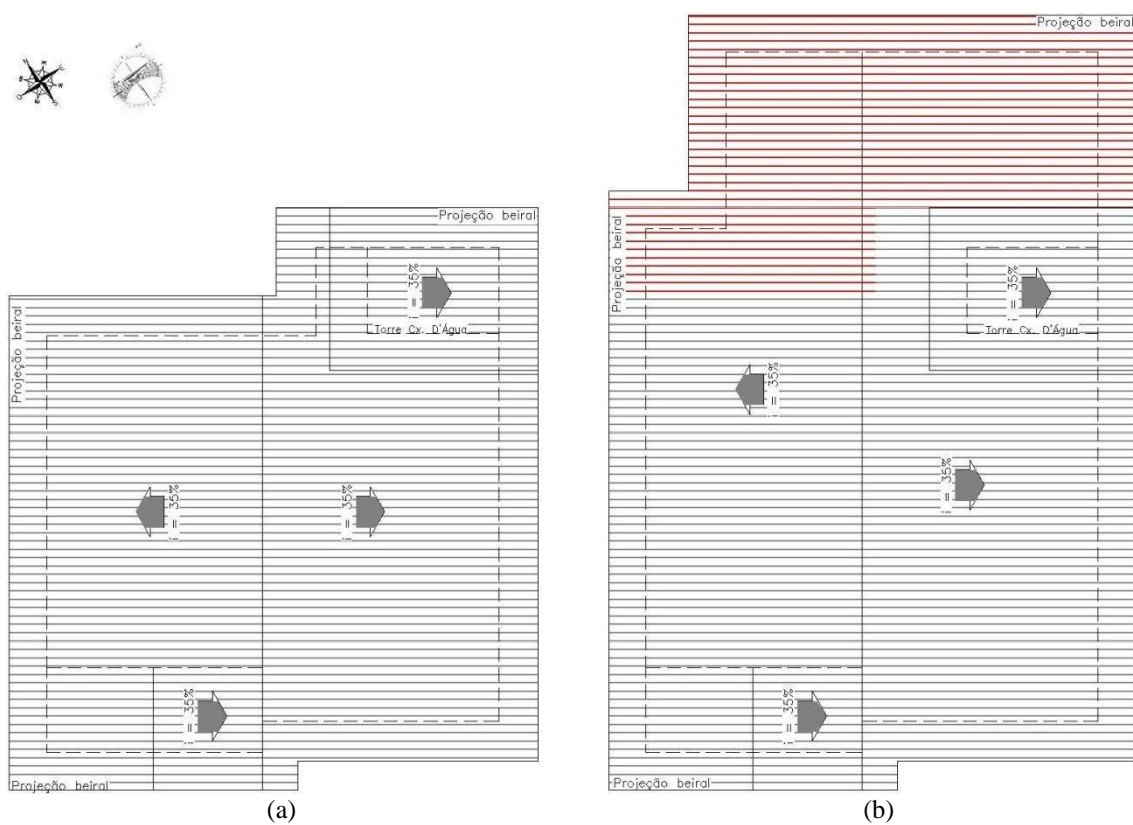


Figura 65 – Diagrama de cobertura: (a) Módulo base; (b) Módulo base com ampliação horizontal.
 Fonte: Autor.

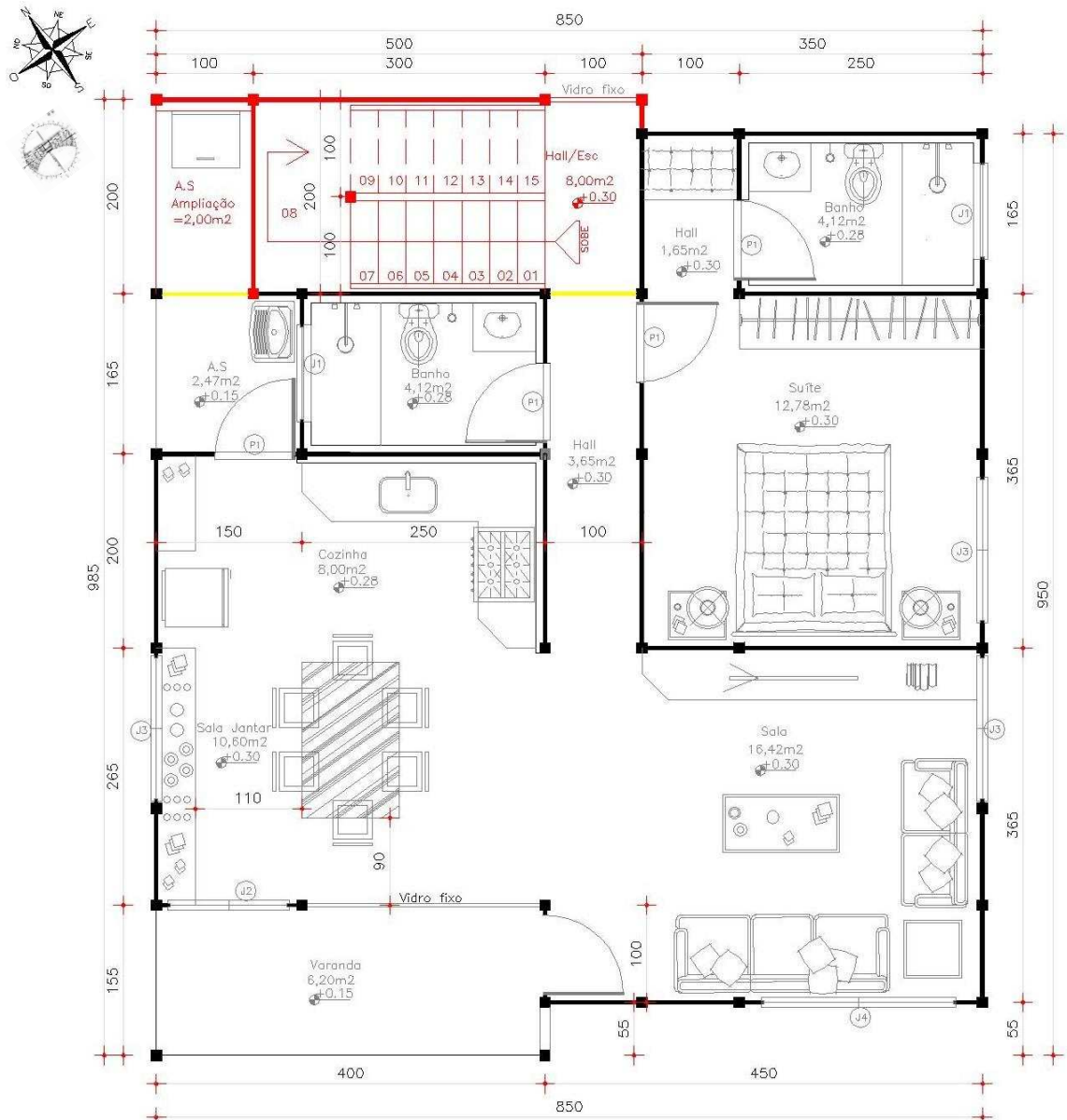


Figura 66 – Planta baixa (módulo base com ampliação vertical), com área total de 80,00m², sem escala (para: ZB3; latitude 20°S).

- Manter
- Demolir
- A construir

Fonte: Autor.

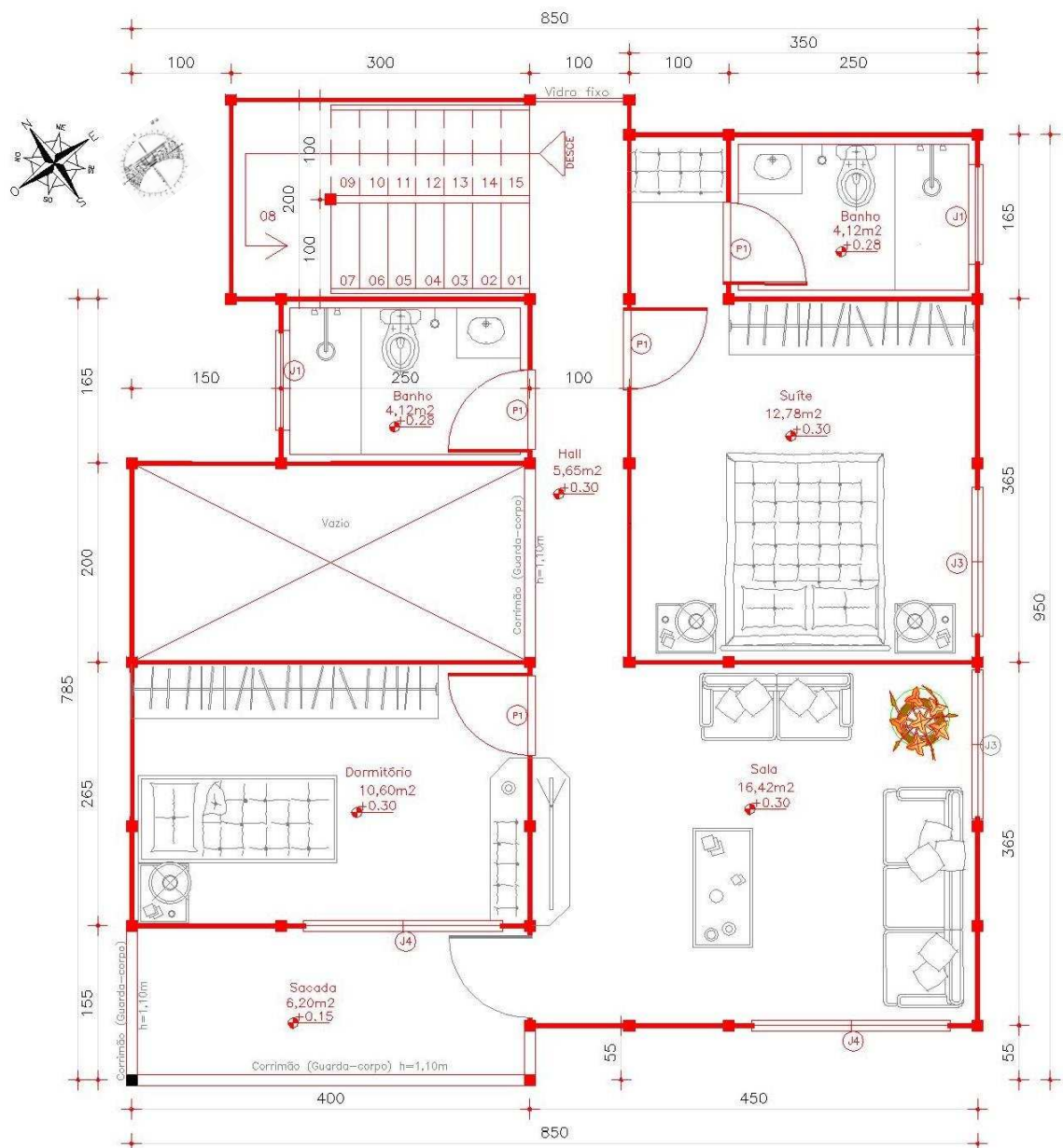


Figura 67 – Planta baixa para construção de um pavimento superior, com área total de 69,53m² (para: ZB3; latitude 20°S).

— A construir
 Fonte: Autor.

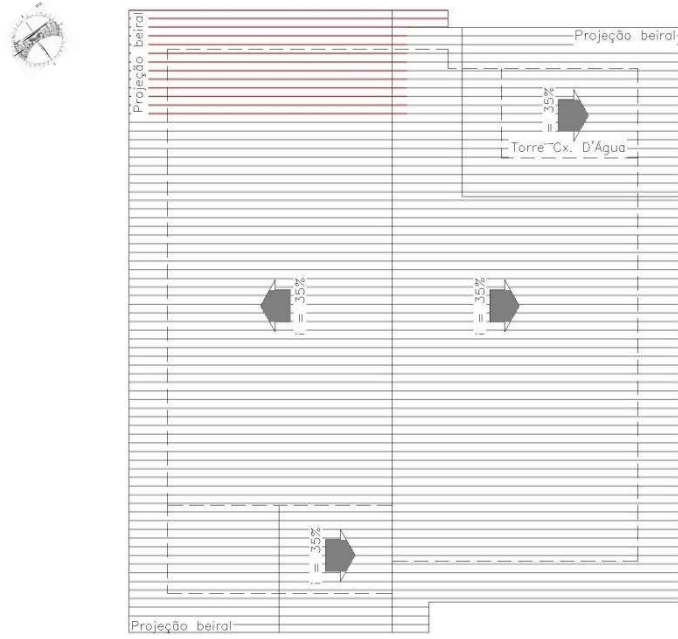


Figura 68 – Diagrama de cobertura (módulo base com ampliação vertical).
 Fonte: Autor.



Figura 69 – Vista frontal (módulo base com ampliação vertical).
 Fonte: Autor.

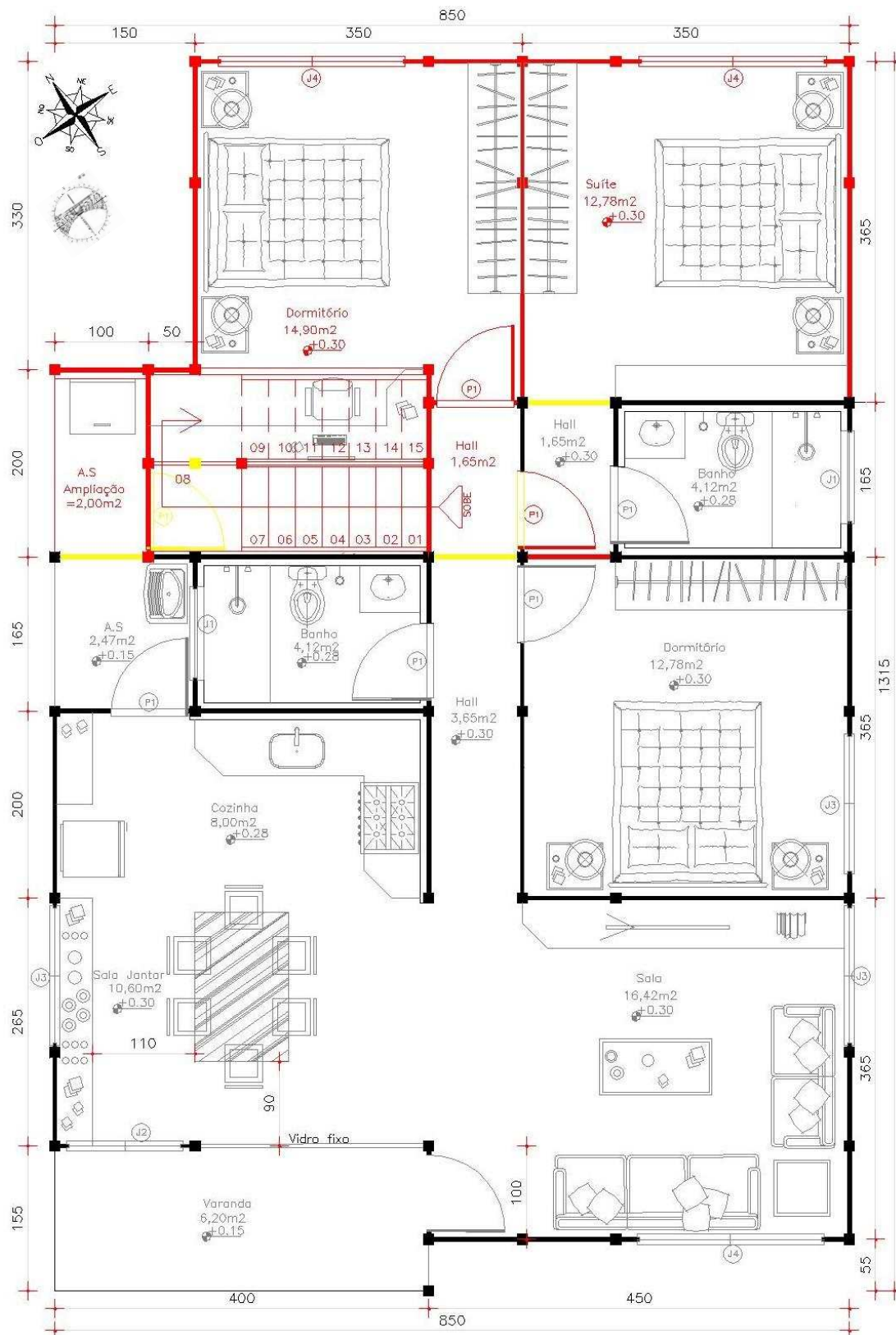


Figura 70 – Planta baixa do módulo base com ampliações simultâneas horizontal e vertical, com área total de 104,34m² (para: ZB3; latitude 20°S).

- Manter
- Demolir
- A construir

Fonte: Autor.

6.3 Projeto de Montagem de Construção em Madeira Tipo Viga e Pilar

O projeto de montagem apresentado foi realizado conforme a planta baixa denominada de ‘módulo base’, sendo esta a tipologia que possibilitou as ampliações vertical, horizontal e simultânea. Com base nesses projetos, o carpinteiro identificará e realizará a montagem dos componentes nos subsistemas, conforme a sequência apresentada.

O enquadramento dos elementos que compõem o sistema construtivo nas classes de resistência das madeiras dicotiledôneas (Quadro 25) se deu conforme os esforços submetidos e exposição da umidade devido a interface com o solo e exposição às intempéries.

Quadro 25 – Classe de resistência dos elementos que compõem o sistema construtivo em madeira

Classe de resistência das dicotiledôneas	Elementos do sistema construtivo
C 30	ripa; rodaforro; conduíte; forro
C 40	Caibro; ½ tábuas; rodapé; marco; esquadrias; corrimão
C60	Pilar/montante; viga; paredes de vedação

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

O Capítulo 5 corrobora para o entendimento dos procedimentos para montagem e a funcionalidade dos componentes estruturais do sistema construtivo tipo viga e pilar e pranchas de parede com encaixe macho-fêmea.

Para o posicionamento dos pilares e montantes (Figuras 71 e 72), recomenda-se o alinhamento entre eles com o distanciamento máximo 2,50m, sendo este o comprimento adequado para o recebimento das peças de vedação. A altura entre eles varia conforme o caimento do telhado e a sua necessidade no projeto para o apoio dos vigamentos da cobertura, com pé-direito mínimo de 2,73m.

Nas áreas molhadas, como banheiros, cozinha e lavanderia, foi utilizada uma parede estruturada em *drywall* (Figura 72), acrescentada como revestimento interno para proteção da madeira e instalações hidráulicas. Entre os tipos de *drywall* comercializados, optou-se pela placa de cor verde, por conter em suas propriedades o silicone e aditivos fungicidas para proteção.

A parede autoportante em *drywall* com espessura de 73mm acabada é composta de uma placa com 12,5mm de cada lado que são parafusadas em uma estrutura de perfis de aço galvanizado de 48mm que dispensa sua fixação na madeira.

O conjunto de peças documentais que complementa a representação do modelo de referência para habitação construída em madeira pode ser visualizado por meio das figuras 71 a 83, em adição ao que já foi apresentado nas figuras 60 a 70.

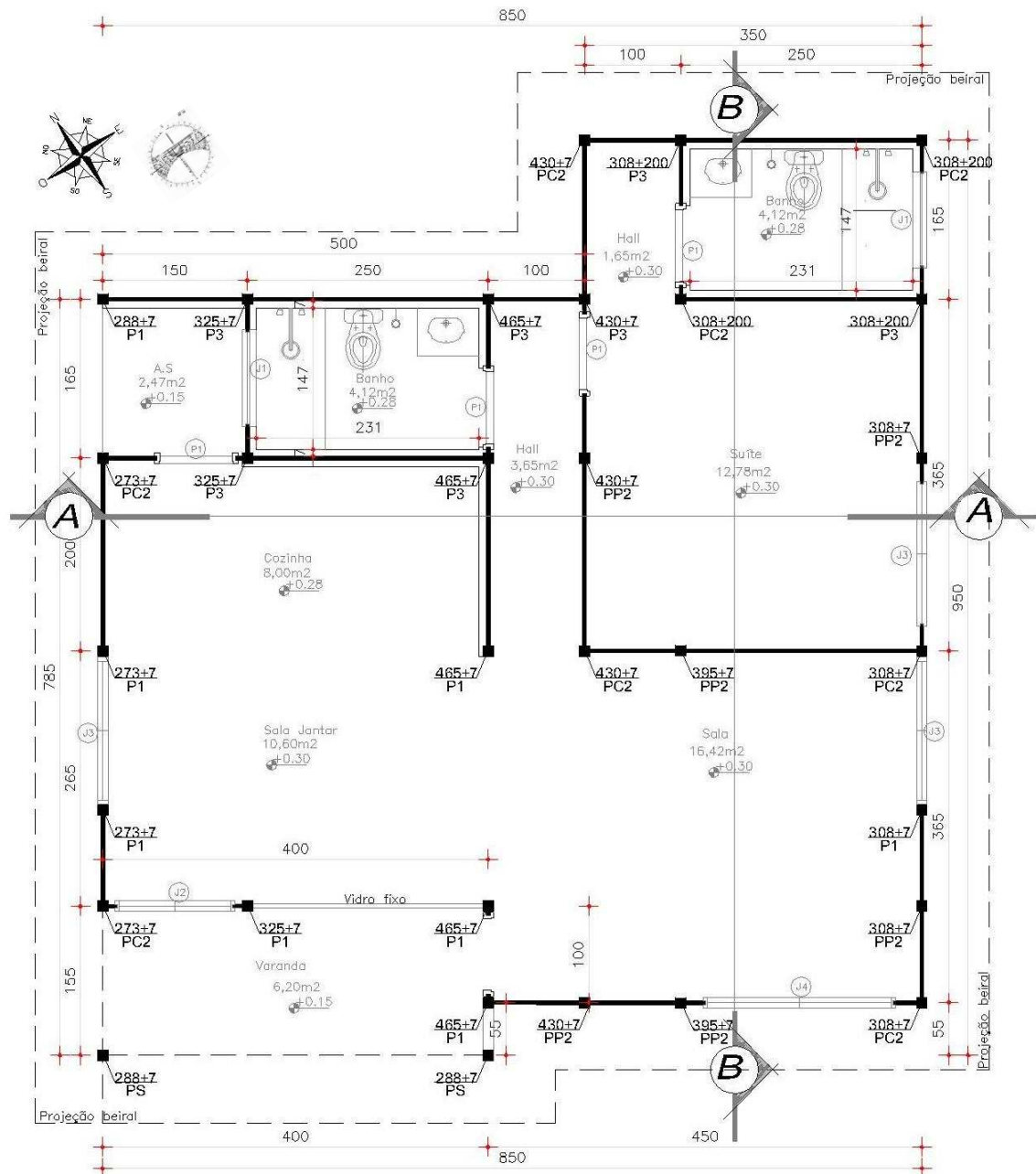


Figura 71 – Projeto de montagem de pilares e montantes (módulo base).
Fonte: Autor.

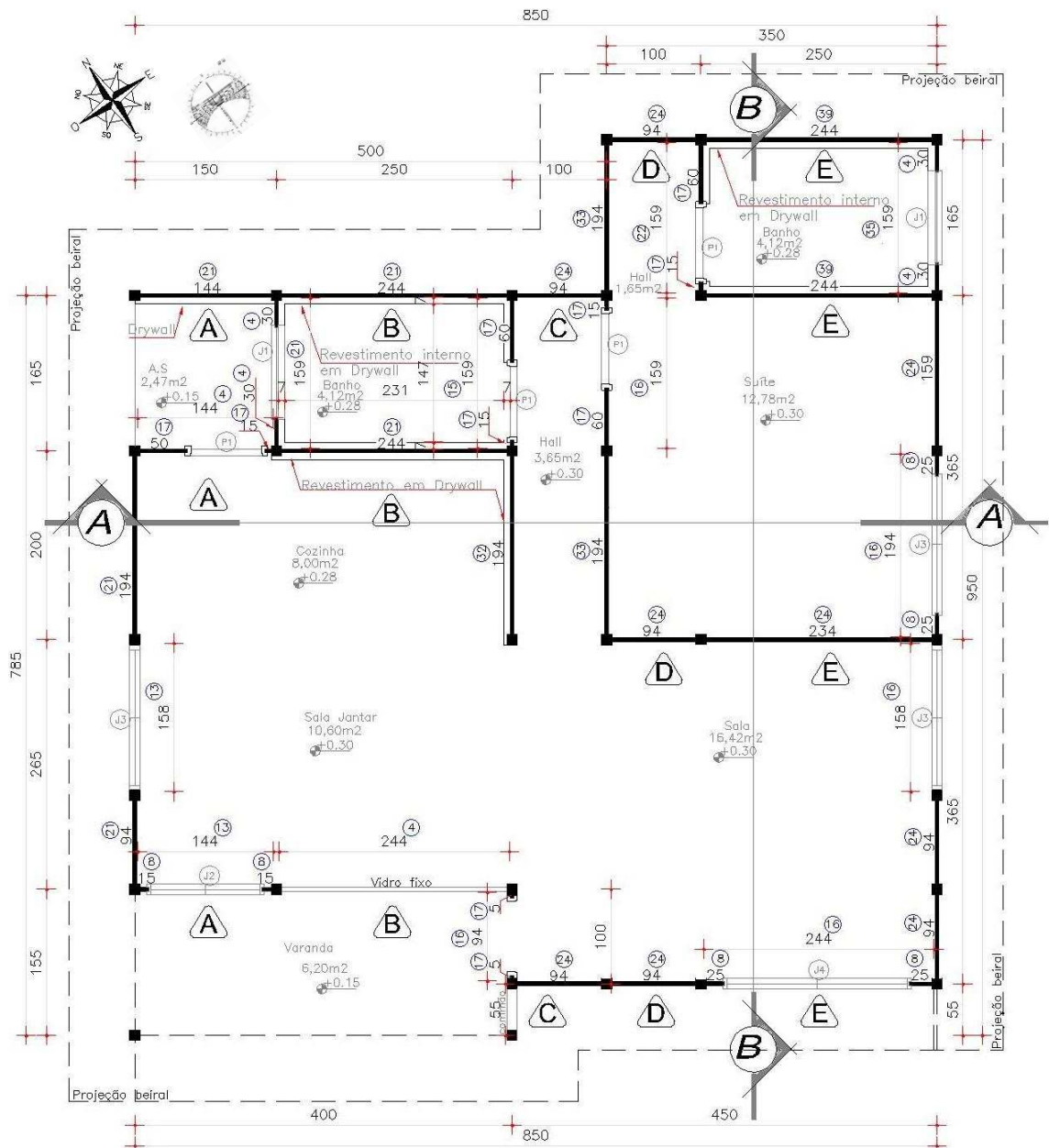


Figura 72 – Projeto de montagem das paredes de vedação com encaixe macho e fêmea (módulo base).
 Fonte: Autor.

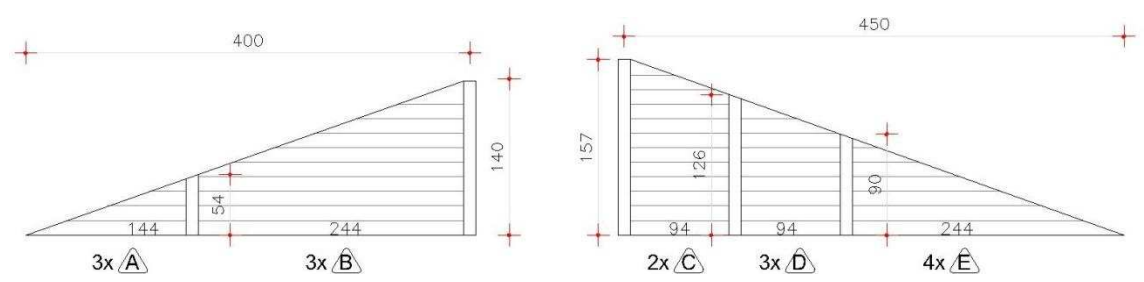


Figura 73 – Detalhe dos oitões.
 Fonte: Autor.

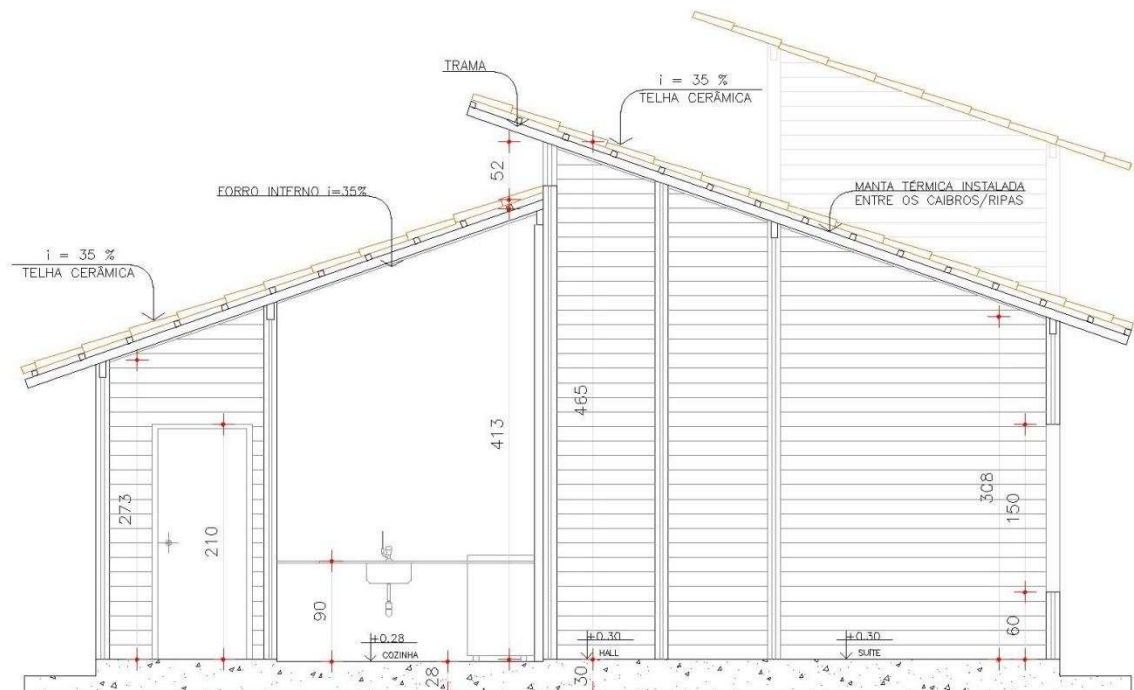


Figura 74 – Corte AA
Fonte: Autor.

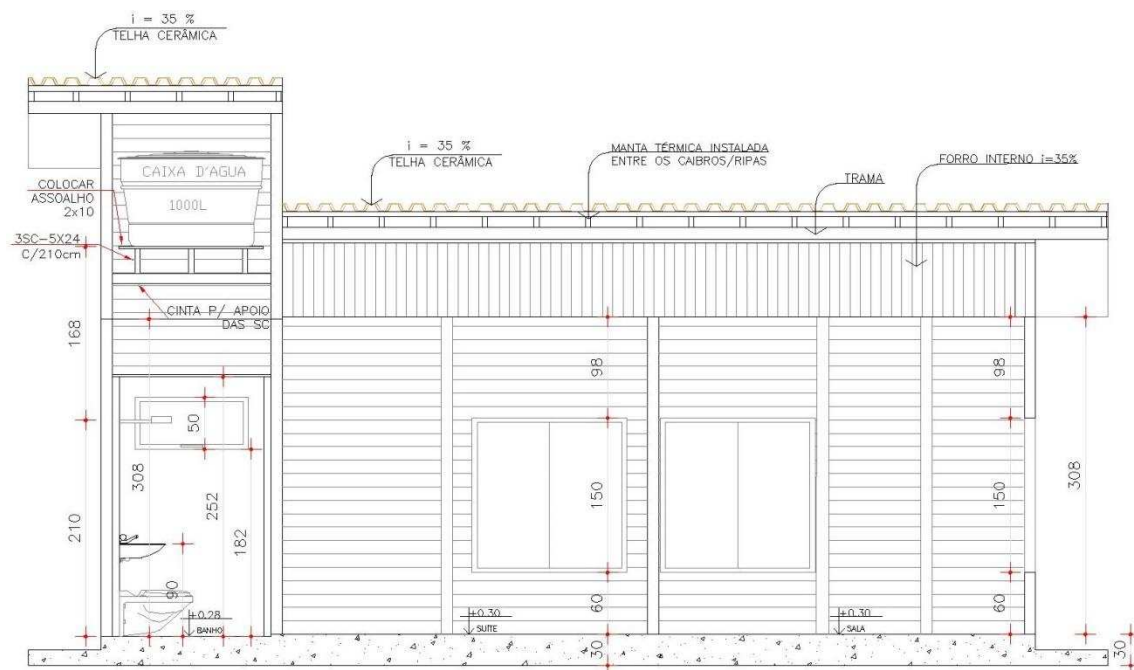


Figura 75 – Corte BB
Fonte: Autor.

Para melhorar as condições de conforto térmico da habitação com o uso do forro em madeira como acabamento interno da cobertura, recomenda-se o emprego da manta térmica para reduzir a temperatura interna da edificação.

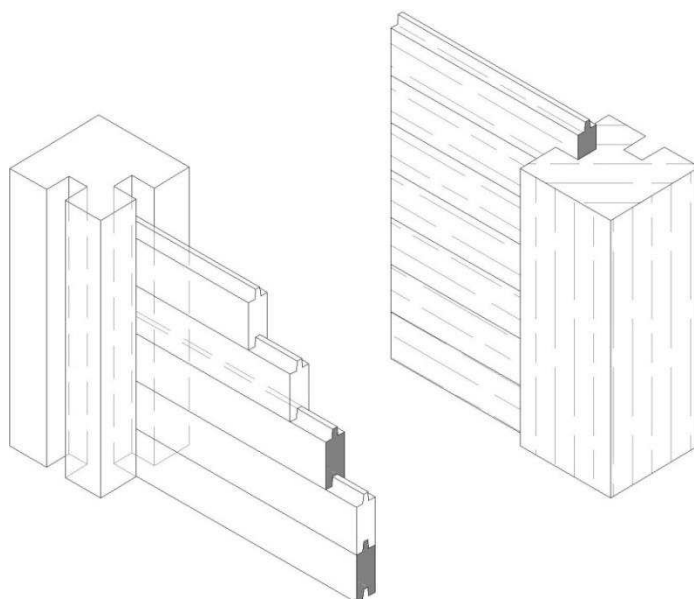


Figura 76 – Detalhe de montagem de paredes de vedação e pilar de canto por meio de encaixe.
Fonte: Autor.

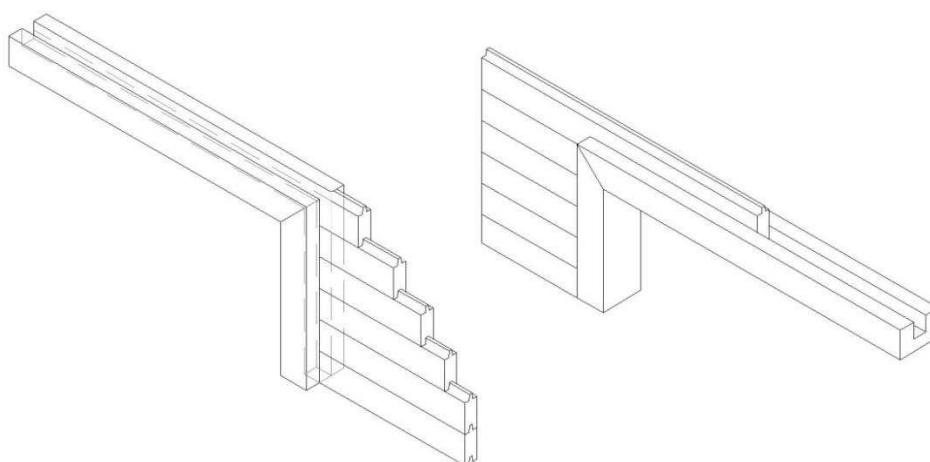


Figura 77 – Detalhe de montagem de batente de esquadria e paredes de vedação por meio de encaixe.
Fonte: Autor.

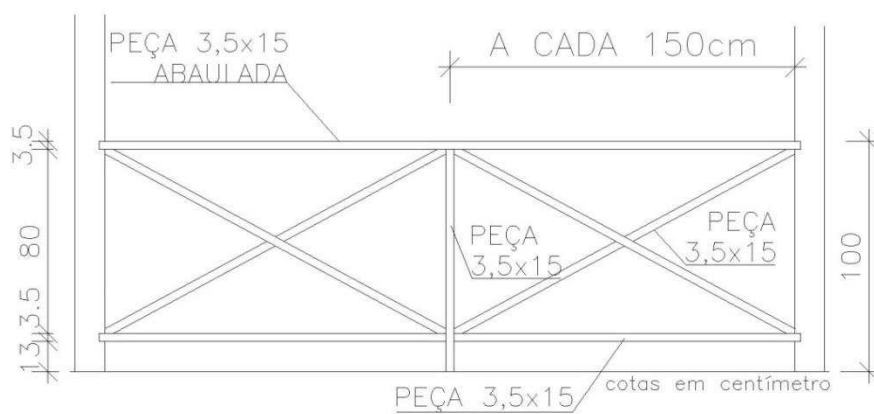


Figura 78 – Detalhe de montagem de guarda-corpo (corrimão).
Fonte: Autor.

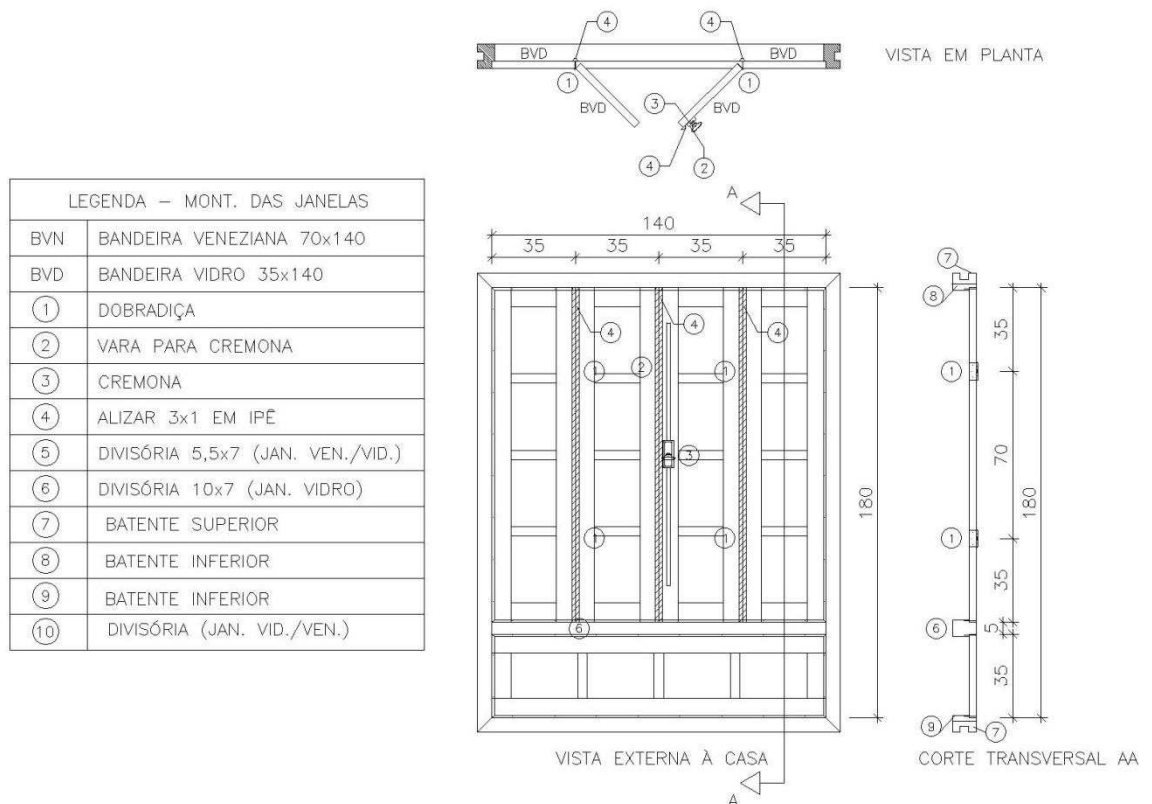


Figura 79 – Detalhe de montagem de janela com caixilho para vidro, de duas bandeirolas pivotantes centrais, abrindo para dentro, e duas bandeirolas fixas nas laterais.

Fonte: Autor.

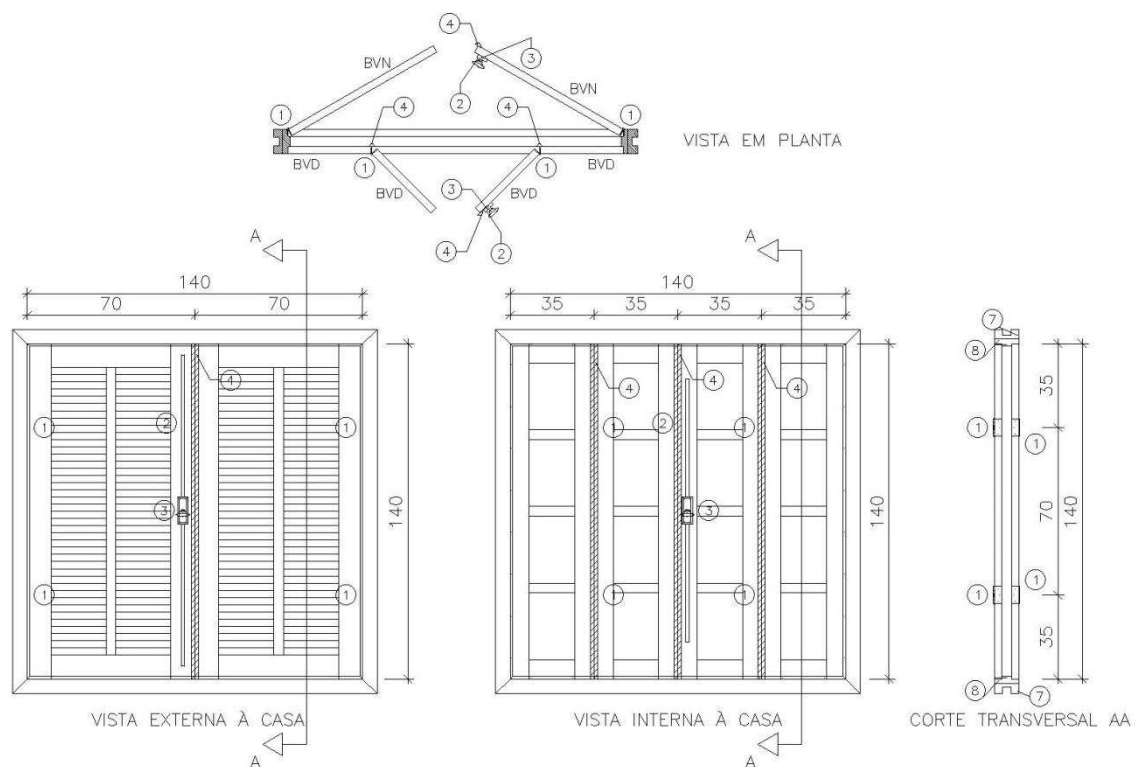


Figura 80 – Detalhe de montagem de janela dupla com caixilho para vidro, de duas bandeirolas pivotantes centrais, abrindo para dentro, e duas bandeirolas fixas nas laterais, e parte externa em veneziana abrindo para fora.

Fonte: Autor.

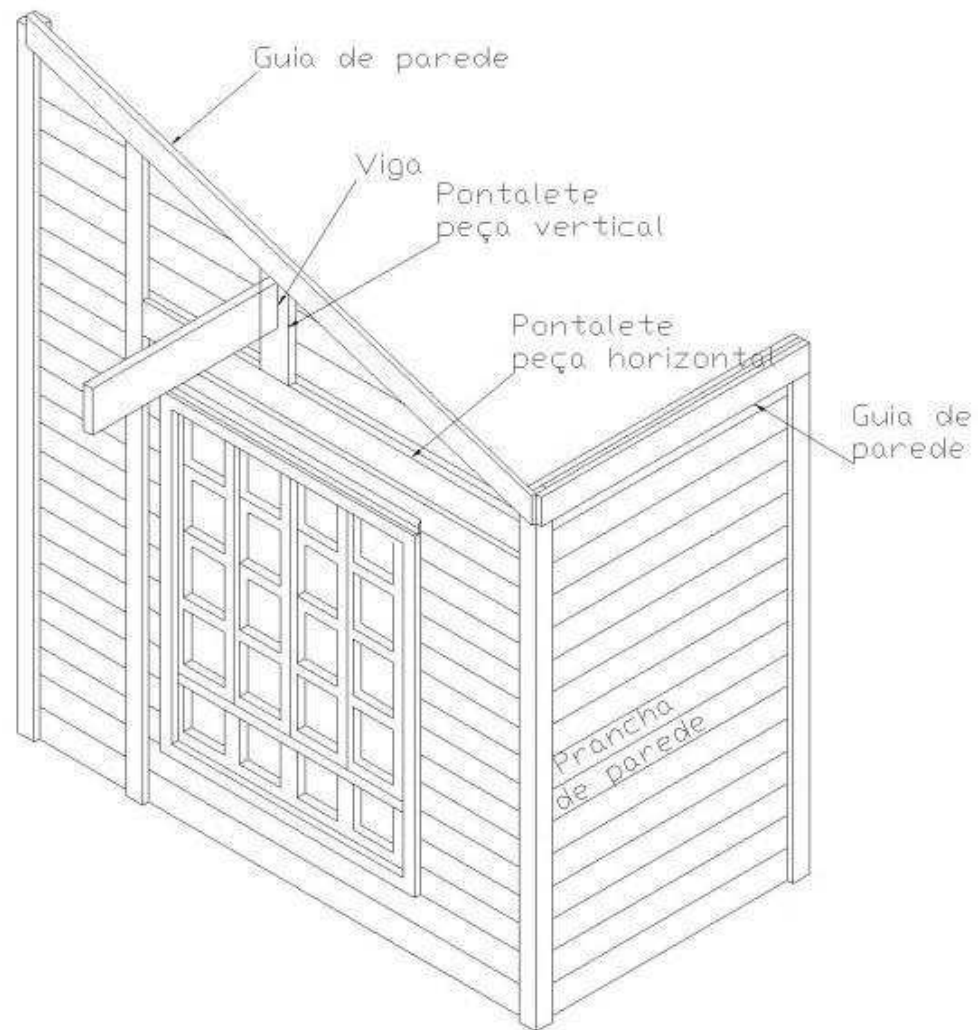


Figura 82 – Detalhe de montagem da estrutura de cobertura viga-pilar.
Fonte: Autor.

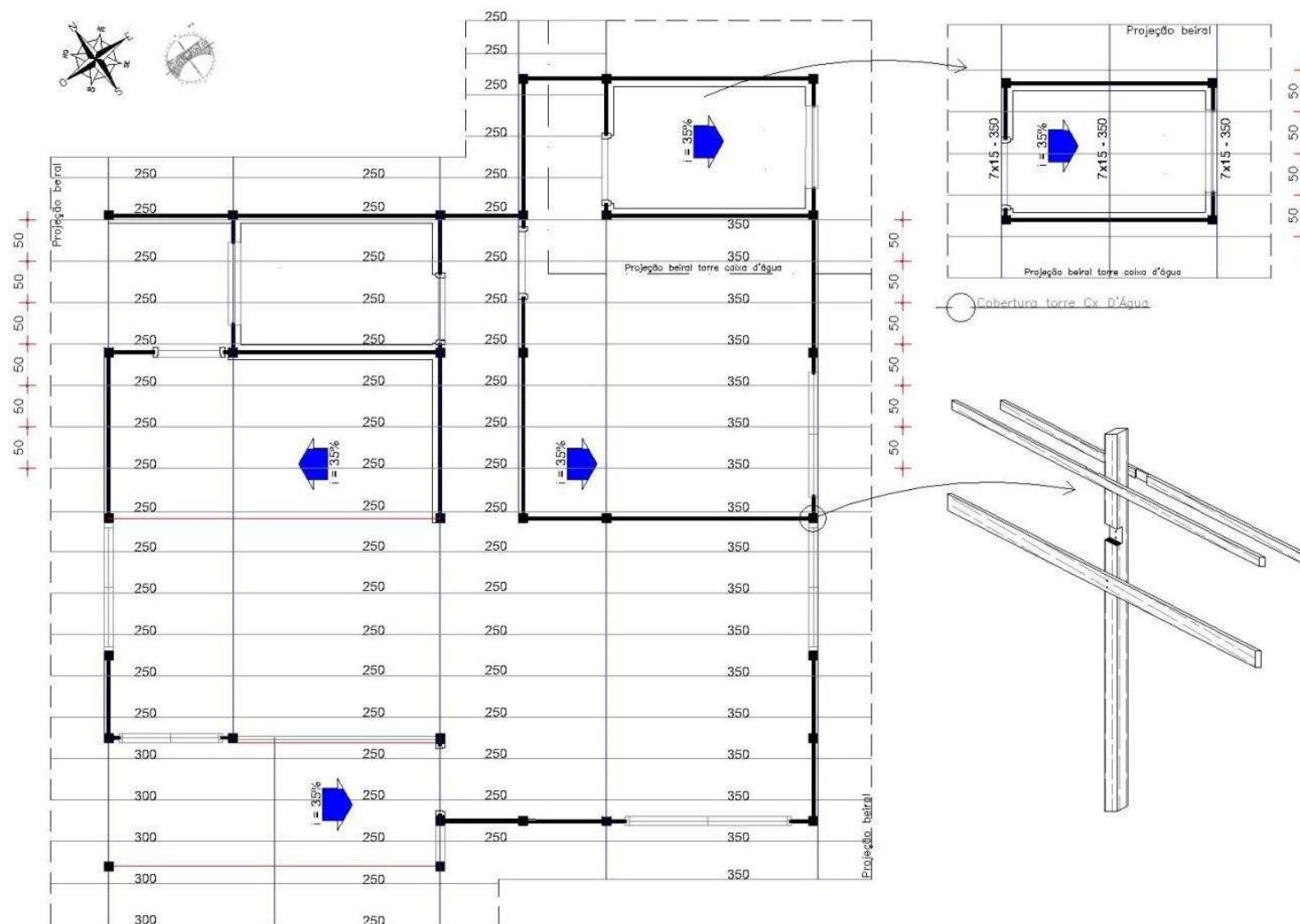


Figura 83 – Projeto de montagem dos caibros na cobertura (módulo base).
 Fonte: Autor.

7. CONCLUSÃO

A análise sistêmica apresentada para o uso da madeira e o conhecimento dos subsistemas da edificação tipo viga-pilar e paredes de vedação, com encaixe macho-fêmea, recorrendo-se à taxonomia simplificada e aplicada a alguns subsistemas de uma habitação em madeira, possibilitou compreender a funcionalidade dos componentes e propriedades das madeiras que compõem o sistema construtivo. Tal procedimento, voltado para a qualidade do produto, permite dar as melhores condições de durabilidade para a construção e habitabilidade.

Tratando-se de um material higroscópico e anisotrópico, a abordagem de natureza sistêmica para o processo de projeção em madeira, o que implica entender os agentes ambientais relevantes e os mecanismos higrotérmicos intervenientes na habitualidade em construções em madeira, possibilitou ajustar os requisitos e critérios para aquisição e uso da madeira sob as condições de exposição higrotérmicas encontradas em Viçosa-MG. Quando a madeira é exposta a elevado teor de umidade e não há observância da umidade relativa do ar do ambiente no momento da sua aplicação, aumenta a probabilidade de a madeira ficar sujeita à deterioração por agentes biológicos devido às condições desfavoráveis para sua aplicação, e também resultar em contrações lineares diferenciadas (longitudinal, tangencial e radial).

O estudo de caso possibilitou identificar desconhecimentos técnicos na comercialização das peças de madeira, enquanto componentes da construção, e delinear critérios para o seu uso final. É importante manter a estabilidade dimensional das peças e aplicar produtos adequados para preservação de acordo com seu uso final na construção, pois no processo de projeção em madeira estas são premissas com que os projetistas devem trabalhar. O entendimento é que as empresas que beneficiam e comercializam madeira para sua utilização como sistema construtivo precisam realizar seus processos no sentido de que estes possam contribuir para o controle de qualidade e minimizar possíveis alterações dimensionais na composição e nas ligações de paredes de vedação, pilar, pisos, esquadrias e engradamento do telhado, impactando diretamente a qualidade da construção. Para o controle de qualidade, recomenda-se a especificação das classes de resistência e umidade em cada componente de madeira a ser comercializada, pois assim possibilitará ao consumidor avaliar o seu uso final, visando a segurança e durabilidade do material.

A proposição de um modelo de referência para habitação com sistema construtivo em madeira com pranchas de parede, encaixe macho-fêmea, com possibilidades para ampliações horizontal, vertical e ambas simultaneamente levou em consideração a flexibilidade na reutilização dos componentes para as intervenções necessárias em processos de ampliação. No entanto, as futuras ampliações deverão ser previstas desde a concepção do projeto para as melhores condições de segurança e conforto higrotérmico na edificação, atentando-se para as conexões e o aproveitamento dos componentes.

As recomendações e diretrizes para a zona bioclimática três (ZB3), para fins de análise da ventilação e insolação para habitações na ZMM, foram aplicadas na conceituação, organização e configuração final das partes constituintes principalmente por meio das aberturas, vedações translúcidas e cobertura *shed* para o melhor condicionamento higrotérmico da edificação.

Por meio do modelo de referência e do projeto de montagem apresentado, foi possível colaborar para a difusão e o domínio da tecnologia construtiva em madeira na ZMM, como alternativa para habitações, e desmitificar o seu uso em todos os subsistemas da edificação, segundo critérios estabelecidos, além da classificação de resistência dos componentes, o que possibilita a sua adequada aplicação como material de construção.

Para o incentivo do uso da madeira em habitações, recomendam-se pesquisas voltadas para as manifestações patológicas nas estruturas sob condições de exposição higrotérmicas. Além disso, a investigação de outros sistemas construtivos como solução arquitetônica contribuirá para o avanço tecnológico voltado para o uso da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira.** São Paulo, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social,** 2005.

AUGUSTIN, M. (Org.). **Timber structures – Handbook 1 of Educational materials for designing and testing of timber structures: TEMTIS.** Leonardo da Vinci Pilot Project. Ostrava, Czech Republic, 2008.

CRUZ, H.; NUNES, L. **A Madeira como Material de Construção. Núcleo de Estruturas de Madeira.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 2005. Disponível online em: http://www.academia.edu/1359438/A_madeira_como_material_de_constru%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 5.set.2016.

CHING, D. K. **Técnicas de construção ilustradas 4º edição.** Porto Alegre: Editora Bookman, 2010.

DA SILVA, J. F. et al. **Climatologia aplicada ao uso da madeira.** XVII Congresso de Agrometeorologia, Guarapari-ES, 2011.

FERNANDES, A. **Habitação (coletiva) modular pré-fabricada: Considerações, origens e desenvolvimento.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2009.

IDHEA. **Construção Sustentável.** Disponível em: <http://www.idhea.com.br>. Acesso em: 04/09/2015.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil.** São Paulo, 2013.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente, Sinduscon SP. **Madeira: Uso sustentável na Construção Civil, 2ª Ed..** São Paulo, 2009.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual: Biodeterioração de madeiras em edificações.** São Paulo, 2001.

MANDOLESI, E. **Edificación.** Barcelona: CEAC, 1981.

MEIRELLES, C. M.; PALA, A. **Apostila: Processo Construtivo em Madeira.** Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM, São Paulo, 2010.

MEIRELLES, C. et al. **Considerações sobre o uso da madeira do Brasil em construções habitacionais**. III Fórum de Pesquisa FAU, Mackenzie, 2007.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 461p.

OLIVEIRA, C. R. **Estudo do comportamento de uma ligação Viga-Pilar**. Dissertação (Mestrado), Instituto Politécnico de Viseu, IPV, Portugal, 2011.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 101p., 2009.

SILVA, R. D.; BASSO, A. **Sistemas construtivos em madeira destinados à habitação no Paraná**. Semina: Ci. Exatas/Tecnol. Londrina, v. 21, n. 4, p.83-88, 2000.

SILVA, J. de C.; OLIVEIRA, J. T. da S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 233-239, 2003.

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de madeira**. Florianópolis: UFSC, 2015.

VALLE, A.; LA ROVERE, H. L.; PILLAR, N. M. **Apostila de Análise Estrutural I**. Departamento de Engenharia Civil, UFSC, 2013.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C; NOVAES, C. C. **Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., Rio Grande do Sul, 2010.

ZENID, G. J. **Identificação e grupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1997.

ANEXO A. Propriedades mecânicas de vinte espécies de madeiras para a construção civil

PROPRIEDADE MECÂNICA		ESPÉCIES DE MADEIRAS (NOME POLULAR)									
		Angelim-amargoso	Angelim-pedra	Angelim-vermelho	Cedrorana	Cumarú	Cupiúba	Curupixá	Garapa	Jatobá	Tachi
Resistência à flexão (fm)	Madeira verde (Mpa)	119,5	70,6	99,7	70,8	123,8	96,70	78,8	93,8	131,6	80,6
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	-	109,3	-	77,8	-	-	-	-	-	130,6
	Madeira a 15% de umidade (MPa)	148,5	-	138,1	-	178,3	122,1	-	125,3	151,8	-
	Módulo de elasticidade madeira verde (MPa)	13.435	9.414	14.073	12.258	18.547	13.690	12.749	14.107	14.837	12.945
	Módulo de elasticidade madeira a 12% (MPa)	-	11.572	-	12.847	-	-	13.925	-	-	-
	Limite de proporcionalidade madeira verde (MPa)	-	-	59,1	-	83,8	46,5	-	43,1	55,8	-
Compressão paralela às fibras Resistência (fc0)	Madeira verde (Mpa)	54,8	38,0	65,2	40,6	59,3	50,8	40,5	37,3	67,0	39,4
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	-	52,3	-	46,6	-	-	64,9	-	-	87,5
	Madeira a 15% de umidade (MPa)	77,8	-	80,9	-	94,2	67,2	-	54,3	82,2	-
	Módulo de elasticidade madeira verde (MPa)	-	-	-	-	19.306	17.142	-	14.460	17.691	-
	Limite de proporcionalidade madeira verde (MPa)	-	-	-	-	44,5	32,4	-	29,7	46,3	-
	Coefficiente de influência de umidade (%)	-	-	4,0	-	-	3,8	-	5,1	3,2	-
Compressão perpendicular às fibras Resistência (fc0)	Madeira verde (MPa)	-	-	-	3,2	-	-	6,5	-	-	-
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	-	-	-	3,6	-	-	10,0	-	-	-
Cisalhamento – madeira verde (MPa)		14,2	10,0	13,1	6,7	14,2	-	10,6	12,7	17,5	11,2
Cisalhamento – madeira a 12% (MPa)		-	12,3	17,7	7,2	-	-	14,4	-	-	14,1
Dureza Janka paralela – madeira verde (N)		-	5.325	9.993	3.932	-	-	6.325	-	11.180	5.864
Dureza Janka paralela – madeira a 12% (N)		-	7.659	14.318	3.962	-	-	9.983	-	-	8.600
Dureza Janka transversal – madeira verde (N)		6.816	5.050	10.866	3.570	-	-	5.707	-	-	5.766
Dureza Janka transversal – madeira a 12% (N)		-	5.786	13.543	3.785	-	-	7.649	-	-	7.875
Tração normal às fibras – madeira verde (MPa)		3,9	-	8,5	4,4	7,5	6,8	3,9	9,6	13,1	-
Tração normal às fibras – madeira a 12% (MPa)		-	-	-	4,5	-	-	3,9	-	-	-
Fendilhamento – madeira verde (MPa)		-	-	1,1	-	1,1	0,9	-	1,0	1,5	-
Dureza Janka – madeira verde (N)		-	-	-	-	9.787	6.266	-	7.257	-	-

Fonte: IPT (2013).

(continua)

ANEXO A. Propriedades mecânicas de vinte espécies de madeiras para a construção civil (continuação)

PROPRIEDADE MECÂNICA	ESPÉCIES DE MADEIRAS (NOME POLULAR)										
	Muiracatiara	Mandioqueira	Olticica-amarela	Pau-roxo	Piquiarana	Quaruba	Tatajuba	Tauari	Tauari-vermelho	Uxi	
Resistência à flexão (fm)	Madeira verde (Mpa)	101,6	61,1	72,0	144,8	65,7	60,5	100,0	57,8	-	114,0
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	-	-	-	-	-	91,2	-	88,8	108,26	-
	Madeira a 15% de umidade (MPa)	-	87,3	80,3	184,5	103,6	-	138,2	-	-	153,7
	Módulo de elasticidade madeira verde (MPa)	12.303	11.023	7.963	17.721	13.258	9.316	15.857	9.316	-	14.318
	Módulo de elasticidade madeira a 12% (MPa)	-	-	-	-	-	11.180	-	10.591	12.552	-
	Limite de proporcionalidade madeira verde (MPa)	52,0	34,3	37,5	63,5	34,5	-	71,3	-	-	-
Compressão paralela às fibras Resistência (fc0)	Madeira verde (Mpa)	51,3	31,8	36,9	64,0	32,9	29,4	54,4	27,2	-	54,5
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	82,4	-	-	-	-	47,6	-	46,8	-	-
	Madeira a 15% de umidade (MPa)	-	56,5	45,1	84,1	49,3	-	79,7	-	-	74,8
	Módulo de elasticidade madeira verde (MPa)	-	13.700	11.513	20.565	12.650	-	17.304	-	-	-
	Limite de proporcionalidade madeira verde (MPa)	-	22,8	30,1	49,0	24,8	-	41,8	-	-	-
	Coefficiente de influência de umidade (%)	-	3,7	2,1	4,0	4,7	-	-	-	-	-
Compressão perpendicular às fibras Resistência (fc0)	Madeira verde (Mpa)	9,7	-	-	-	-	4,8	-	4,5	31,28	-
	Madeira a 12% de umidade (MPa)	13,8	-	-	-	-	5,7	-	6,1	50,21	-
Cisalhamento – madeira verde (MPa)	23,9	7,8	9,8	14,9	10,1	8,4	11,5	6,8	-	13,6	
Cisalhamento – madeira a 12% (MPa)	-	-	-	-	-	10,0	-	8,5	-	-	
Dureza Janka paralela – madeira verde (N)	7.737	3.864	4.835	9.728	4.874	4.335	7.208	3.727	-	-	
Dureza Janka paralela – madeira a 12% (N)	-	-	-	-	-	5.492	-	5.315	45,8	-	
Dureza Janka transversal – madeira verde (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.346	
Dureza Janka transversal – madeira a 12% (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tração normal às fibras – madeira verde (MPa)	10,3	4,2	5,8	8,3	5,1	3,7	4,5	3,2	-	5,8	
Tração normal às fibras – madeira a 12% (MPa)	-	-	-	-	-	3,4	0,8	3,6	5,1	-	
Fendilhamento – madeira verde (MPa)	1,2	0,6	0,6	1,1	0,7	-	-	-	-	-	
Dureza Janka – madeira verde (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: IPT (2013).

ANEXO B. Propriedades físicas de vinte espécies de madeiras para a construção civil

PROPRIEDADES FÍSICAS							
Nome popular	Densidade de Massa (p)				Contração		
	Aparente a 12% de umidade (pAP.12)	Aparente a 15% de umidade (pAP.12)	Madeira verde (pverde)	Básica (pbásica)	Radial	Tangencial	Volumétrica
Angelim-amargoso	-	936 kg/m ³	-	-	4,8%	9,8%	14,0%
Angelim-pedra	710 kg/m ³	-	-	590 kg/m ³	4,1%	6,3%	10,1%
Angelim-vermelho	-	1.090 kg/m ³	-	830 kg/m ³	4,2%	6,6%	14,6%
Cedroarana	520 kg/m ³	-	-	440 kg/m	4,8%	7,9%	11,8%
Cumaru	-	1.090 kg/m ³	-	908 kg/m ³	5,3%	8,2%	13,6%
Cupiúba	-	870 kg/m ³	-	710 kg/m ³	4,8%	9,1%	16,1%
Curupixá	790 kg/m ³	-	-	670 kg/m ³	4,7%	9,7%	14,0%
Garapa	-	830 kg/m ³	-	670 kg/m ³	4,4%	8,5%	14,0%
Jatobá	-	960 kg/m ³	-	800 kg/m ³	3,1%	7,2%	10,7%
Tachi	670 kg/m ³	-	-	570 kg/m ³	5,2%	7,5%	11,9%
Muiracatiara	-	970 kg/m ³	-	810 kg/m ³	3,3%	6,3%	11,2%
Mandioqueira	-	650 kg/m ³	-	540 kg/m ³	4,5%	8,9%	15,1%
Oltícica-amarela	-	560 kg/m ³	-	467 kg/m ³	2,2%	4,4%	7,3%
Pau-roxo	-	890 kg/m ³	-	740 kg/m ³	3,5%	6,5%	10,7%
Pequiarana	-	850 kg/m ³	-	-	5,7%	13,0%	21,1%
Guaruba	600 kg/m ³	-	1.140 kg/m ³	490 kg/m ³	4,0%	8,8%	12,1%
Tatajuba	-	820 kg/m ³	-	683 kg/m ³	5,5%	7,1%	11,4%
Tuari	610 kg/m ³	-	-	500 kg/m ³	4,2%	6,6%	10,9%
Tuari-vermelho	680 kg/m ³	-	-	580 kg/m ³	5,12%	8,07%	13,95%
Uxi	-	-	-	780 kg/m ³	5,4%	9,6%	-

Fonte: IPT (2013).

APÊNDICE A. ROMANEIO MADEIRAS PARA FABRICAÇÃO 'MÓDULO BASE'

PAREDES: peças de madeira com seção transversal de 4cm x 13cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
0,05	32	0,13	0,04	0,008320	1000	8,320
0,15	80	0,13	0,04	0,062400	1000	62,400
0,25	32	0,13	0,04	0,041600	1000	41,600
0,30	16	0,13	0,04	0,024960	1000	24,960
0,50	17	0,13	0,04	0,044200	1000	44,200
0,60	49	0,13	0,04	0,152880	1000	152,880
0,94	205	0,13	0,04	1,002040	1000	1.002,040
1,44	38	0,13	0,04	0,284544	1000	284,544
1,58	29	0,13	0,04	0,238264	1000	238,264
1,59	133	0,13	0,04	1,099644	1000	1.099,644
1,94	135	0,13	0,04	1,361880	1000	1.361,880
2,34	24	0,13	0,04	0,292032	1000	292,032
2,44	140	0,13	0,04	1,776320	1000	1.776,320

TOTAL = 6,389084 TOTAL= 6.389,084

OITÕES: peças de madeira com seção transversal de 4cm x 13cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
A = 3,60	3	0,13	0,04	0,056160	1000	56,160
B = 6,80	3	0,13	0,04	0,106080	1000	106,080
C = 16,60	2	0,13	0,04	0,172640	1000	172,640
D = 8,00	3	0,13	0,04	0,124800	1000	124,800
E = 9,40	4	0,13	0,04	0,195520	1000	195,520

TOTAL = 0,655200 TOTAL= 655,200

CAIBROS: peças de madeira com seção transversal de 4cm x 7cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C40}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,50	70	0,07	0,04	0,490000	950	465,500
3,00	5	0,07	0,04	0,042000	950	39,900
3,50	17	0,07	0,04	0,166600	950	158,270

TOTAL = 0,698600 TOTAL= 663,670

MATERIAIS DE ACABAMENTO

ITENS	QUANT. [m]	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C30}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
RIPAS	350	0,050	0,015	0,26250	800	210,000
RODAPÉ	60	0,055	0,020	0,06600	800	52,800
RODAFORRO	100	0,025	0,025	0,06250	800	50,000
1/2 TÁBUA	70	0,150	0,020	0,21000	800	168,000
FILETE	40	0,035	0,035	0,04900	800	39,200
FORRO	80	0,100	0,010	0,80000	800	640,000

TOTAL = 1,450000 TOTAL= 1.160,000

JANELA COM CAIXILHO PARA VIDRO (v. Figura 79)

DIMENSÕES [m]	QUANT.	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C40}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
1,25 X 1,50	1	0,06600	950	62,700
TOTAL=		0,06600	TOTAL=	62,700

JANELAS COM CAIXILHO PARA VIDRO E VENEZIANA (v. Figura 80)

DIMENSÕES [m]	QUANT.	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C40}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
1,50 X 1,50	3	0,29700	950	282,150
2,00 X 1,00	1	0,09900	950	94,050
TOTAL=		0,39600	TOTAL=	376,200

JANELAS BASCULANTE

DIMENSÕES [m]	QUANT.	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C40}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
1,00 X 0,50	2	0,06600	950	62,700
TOTAL=		0,06600	TOTAL=	62,700

BATENTE: peças de madeira com seção transversal de 5cm x 11cm

DIMENSÕES [m]	QUANT.	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C40}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
0,85 X 2,10	5	0,138875	950	131,931
TOTAL=		0,138875	TOTAL=	131,931

PILAR / MONTANTE CANTO (PC2): peças de madeira com seção transversal de 11cm x 11cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C60}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,00 +7 (2,07)	2	0,11	0,11	0,050094	1000	50,094
2,73 +7 (2,80)	2	0,11	0,11	0,067760	1000	67,760
3,08 +7 (3,15)	4	0,11	0,11	0,152460	1000	152,460
4,30+7 (4,37)	2	0,11	0,11	0,105754	1000	105,754
TOTAL=				0,376068	TOTAL=	376,068

PILAR / MONTANTE PARALELO (PP2): peças de madeira com seção transversal de 11cm x 11cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente}} \text{C60}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
3,08 +7 (3,15)	2	0,11	0,11	0,076230	1000	76,230
3,95+7 (4,02)	2	0,11	0,11	0,097284	1000	97,284
4,30+7 (4,37)	1	0,11	0,11	0,052877	1000	52,877
TOTAL=				0,226391	TOTAL=	226,391

PILAR / MONTANTE SEM CANAL (PS): peças de madeira com seção transversal de 11cm x 11cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,88+7 (2,95)	2	0,11	0,11	0,071390	1000	71,390
TOTAL=				0,071390	TOTAL=	71,390

PILAR / MONTANTE 03 CANAIS (P3): peças de madeira com seção transversal de 11cm x 11cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,00 +7 (2,07)	2	0,11	0,11	0,050094	1000	50,094
3,08 +7 (3,15)	2	0,11	0,11	0,076230	1000	76,230
3,25 +7 (3,32)	2	0,11	0,11	0,080344	1000	80,344
4,30+7 (4,37)	1	0,11	0,11	0,052877	1000	52,877
4,65+7 (4,72)	2	0,11	0,11	0,114224	1000	114,224
TOTAL=				0,373769	TOTAL=	373,769

PILAR / MONTANTE 01 CANAL (P1): peças de madeira com seção transversal de 11cm x 11cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,73+7 (2,80)	2	0,11	0,11	0,067760	1000	67,760
2,88+7 (2,95)	1	0,11	0,11	0,035695	1000	35,695
3,08+7 (3,15)	1	0,11	0,11	0,038115	1000	38,115
3,25+7 (3,32)	1	0,11	0,11	0,040172	1000	40,172
4,65+7 (4,72)	1	0,11	0,11	0,057112	1000	57,112
TOTAL=				0,238854	TOTAL=	238,854

CORRIMÃO VARANDA: peças de madeira com seção transversal de 4cm x 7cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C40}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
0,60	3	0,04	0,07	0,005040	950	4,788
TOTAL=				0,005040	TOTAL=	4,788

VIGA: peças de madeira com seção transversal de 7cm x 15cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
2,50	4	0,07	0,15	0,105000	1000	105,000
3,00	4	0,07	0,15	0,126000	1000	126,000
3,50	4	0,07	0,15	0,147000	1000	147,000
TOTAL=				0,378000	TOTAL=	378,000

VIGAS: peças de madeira com seção transversal de 7cm x 25cm

COMP. [m]	QUANT.	LARG. [m]	ESPESS. [m]	Volume total [m ³]	$\rho_{\text{aparente C60}}$ [kg/m ³]	MASSA [kg]
3,00	3	0,07	0,25	0,157500	1000	157,500
4,00	1	0,07	0,25	0,070000	1000	70,000
4,50	6	0,07	0,25	0,472500	1000	472,500
5,00	2	0,07	0,25	0,175000	1000	175,000
TOTAL=				0,875000	TOTAL=	875,000

METRO CÚBICO CONFORME ROMANEIO ACIMA:

TOTAL M3 = 12,404271 M3

TOTAL MASSA ESTIMADA = 12.045,765 kg