



BRUNO ANTONIO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM
MADEIRA PARA ESPAÇOS RELIGIOSOS E PROPOSTA
DE UM ANTEPROJETO**

LAVRAS-MG

2019

BRUNO ANTONIO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA PARA
ESPAÇOS RELIGIOSOS E PROPOSTA DE UM ANTEPROJETO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof.^a Dra. Luciana Barbosa de Abreu
Orientadora

**LAVRAS-MG
2019**

BRUNO ANTONIO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA PARA
ESPAÇOS RELIGIOSOS E PROPOSTA DE UM ANTEPROJETO
USE OF WOOD CONSTRUCTION SYSTEMS FOR RELIGIOUS SPACES
AND PROPOSAL FOR A PRELIMINARY DRAFT**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 1º de novembro de 2019.

Prof.^a Dra. Luciana Barbosa de Abreu – UFLA
Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo – UFLA
Prof.^a Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro – UFLA

Prof.^a Dra. Luciana Barbosa de Abreu
Orientadora

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelas inúmeras graças concedidas, por ter me dado a permissão de chegar até aqui, e por toda a força concedida na concretização desse sonho. Além disso, a Ele agradeço por todas as pessoas que cruzaram meu caminho, aqui citadas ou não. Todas, muitíssimo especiais.

À minha família: aos meus pais, Alice e Antonio, e ao meu irmão, Lucas, minhas bases, a quem devo minha existência, por tanto amor, por tudo o que sou e tenho, por suas orações, por terem me proporcionado educação e amor pelos estudos, e, apesar das inúmeras dificuldades, por sempre me estimularem a continuar.

À Universidade Federal de Lavras, por ter proporcionado a oportunidade de cursar o ensino superior e fomentar todo o meu processo educativo.

À minha querida amiga e orientadora, professora Luciana Barbosa de Abreu, todo o apoio e paciência que teve comigo. Agradeço as ideias, os conselhos, a compreensão, a disponibilidade, a amizade e, acima de tudo, a confiança que depositou em mim, desde os tempos da monitoria de desenho. Minha sincera gratidão e admiração.

Aos membros da banca examinadora, professor André Luiz Zangiácomo e professora Priscilla Abreu Pereira Ribeiro, pela disponibilidade em aceitar o convite e pela valorosa contribuição a esse trabalho e à minha formação.

A todos os professores do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, assim como dos demais departamentos que lecionam no curso de Engenharia Civil, pela dedicação diária e incansável em compartilhar seus saberes, colaborando para meu crescimento integral e formação profissional.

Aos colegas do curso de Engenharia Civil, pela amizade, companheirismo, apoio e encorajamento ao longo dos anos de formação.

Aos amigos da KASA Arquitetura e Engenharia, pela amizade, convivência e apoio.

A todos, que Deus lhes pague por tudo.

“No espaço sagrado não vamos ao encontro de nós mesmos,
mas do Outro que dá sentido à vida,
à vida comum do povo de Deus e Corpo Místico de Cristo”
(PASTRO, 2009).

RESUMO

Das muitas qualidades que se pode citar, a madeira é um material nobre e versátil, dotado de grande resistência, flexibilidade e beleza. Da interação do homem com a madeira, surgiram grandes civilizações que abriram caminhos no decorrer da História. A construção civil brasileira, na contramão dos países desenvolvidos, é baseada no uso massivo de sistemas construtivos de alvenaria e concreto armado, tendo a madeira uma participação incipiente enquanto material estrutural. No que se diz respeito a edificações para usos religiosos, como igrejas, capelas e centros de evangelização, o uso estrutural da madeira, secular, decaiu com o surgimento do concreto armado, limitando sua aplicação em revestimentos e mobiliário religioso. As novas tecnologias da madeira, como MLC (madeira laminada colada), e as tipologias como o sistema plataforma (também conhecido como *wood light frame*) ainda são muito pouco aplicadas nesses tipos de edificação no Brasil. A proposta deste trabalho é apresentar a madeira como potencial material para construção de edificações religiosas, considerando a afinidade de suas características com as qualidades esperadas nesses ambientes, que valorizam sua forma e função, utilizando técnicas contemporâneas aliadas à sustentabilidade e à racionalidade na construção.

Palavras-chave: Arquitetura em madeira. Construções sustentáveis. Projeto de igrejas.

ABSTRACT

Of the many qualities that can be mentioned, wood is a noble and versatile material, endowed with great strength, flexibility and beauty. From the interaction of man with wood, great civilizations emerged that paved the way throughout history. The Brazilian civil construction, against the developed countries, is based on the massive use of masonry and reinforced concrete construction systems, with an incipient participation of wood as structural material. For buildings to religious uses, such as churches, chapels and centers of evangelization, the secular use of wood as a structural material declined with the advent of reinforced concrete, limiting its application in coatings and religious furniture. New wood technologies, such as MLC (glued laminated wood), and typologies like platform system (also known as wood light frame) are still rarely applied in these kinds of buildings in Brazil. This work aims to show wood as a material with high potential to be used in the structure of religious buildings, considering the affinity of its characteristics with the qualities expected in these environments, which value its form and function, using contemporary techniques combined with sustainability and rationality in construction.

Keywords: Wood architecture. Sustainable constructions. Church design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático de estrutura de madeira primitiva.....	6
Figura 2 – Complexo de monumentos budistas de Horyu-Ji, Ikaruga, Japão.	8
Figura 3 – Igreja de São Bavão, Haarlem, Países Baixos.	10
Figura 4 – Igreja de Madeira de Urnes, Noruega.	11
Figura 5 – Metropol Parasol, Sevilha, Espanha.....	15
Figura 6 – Shopping Iguatemi, Fortaleza, CE.	16
Figura 7 – Exemplar da espécie <i>Eucalyptus grandis</i>	21
Figura 8 – Exemplar da espécie <i>Pinus elliottii</i>	21
Figura 9 – Seção transversal esquemática de um tronco de árvore.	22
Figura 10 – Seção transversal ampliada de conífera (a) e dicotiledônea (b).	24
Figura 11 – Desenho esquemático da anisotropia da madeira.....	28
Figura 12 – Vigas de madeira e de aço após incêndio.....	30
Figura 13 – Peças de madeira carbonizadas na Catedral Notre Dame de Paris, França.	31
Figura 14 – Seções de madeira maciça.....	43
Figura 15 – Exemplos de madeira industrializada.....	44
Figura 16 – Conectores em estrutura de madeira.	47
Figura 17 – Exemplo de estrutura aportricada.	48
Figura 18 – Pórticos curvos de MLC.	49
Figura 19 – Tesouras de madeira.....	50
Figura 20 – Casa tipo <i>loghome</i>	51
Figura 21 – Igreja da Liberdade, Benedito Novo, SC.	52
Figura 22 – Maquete de uma casa construída em Balloon Frame.....	53
Figura 23 – Desenho esquemático das camadas do quadro estrutural.	55
Figura 24 – Estrutura com sistema plataforma em fase de construção.	56
Figura 25 – Etapa de montagem de edifício em WLF, Curitiba, PR.....	57
Figura 26 – Edifício em WLF finalizado, Curitiba, PR.....	57
Figura 27 – Peça de MLC.....	58
Figura 28 – Cobertura residencial em MLC.....	60
Figura 29 – Instituição educacional em Formoso do Araguaia, TO.....	60
Figura 30 – Igreja de São Pio de Pietrelcina, Imola, Itália.	61
Figura 31 – Planta baixa de uma basílica.	64
Figura 32 – Planta baixa da Basílica de São Pedro, Vaticano.	65
Figura 33 – Capela de São Pedro, Campos do Jordão, SP.	66
Figura 34 – Santuário Nacional, Aparecida, SP.	66
Figura 35 – Interior do Santuário Nacional, Aparecida, SP.	68
Figura 36 – Interior da Igreja Matriz de Sant’Ana, Lavras, MG.....	73
Figura 37 – Interior da Igreja do Rosário, Lavras, MG.....	73
Figura 38 – Retábulo da Igreja Matriz Nossa Senhora Aparecida, Lavras, MG.....	74
Figura 39 – Retábulos da Igreja Matriz Nossa Senhora da Conceição, Ijaci, MG.....	74
Figura 40 – Vista do presbitério.	78
Figura 41 – Vista da nave da igreja a partir do presbitério.....	78

Figura 42 – Vista externa diurna.	79
Figura 43 – Fachada frontal diurna.....	79
Figura 44 – Vista externa noturna com iluminação.....	80
Figura 45 – Fachada frontal noturna com iluminação.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagens de retração.	29
Tabela 2 – Classes de umidade.	40
Tabela 3 – Classes de resistência das coníferas.	40
Tabela 4 – Classes de resistência das dicotiledôneas.	41
Tabela 5 – Dimensões mínimas para seções retangulares.	41

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDC	Código de Direito Canônico
CIC	Catecismo da Igreja Católica
CLT	Cross Laminated Timber (Madeira Laminada Cruzada)
CNBB	Conferência Nacional dos Bispos do Brasil
DIN	Deutsches Institut für Normung (norma técnica alemã)
ELS	Estados Limites de Serviço ou de Utilização
ELU	Estados Limites Últimos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBÁ	Instituto Brasileiro de Árvores
ILPF	Integração Lavoura, Pecuária e Floresta
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MDF	Medium Density Fiberboard (painel de fibras de média densidade)
MLC	Madeira Laminada Colada ou Madeira Lamelada Colada
NBR	Norma Técnica Brasileira
NDS	National Design Specification (norma técnica norte-americana)
OSB	Oriented Strand Board (painel de tiras de madeira orientadas)
PIB	Produto Interno Bruto
SC	Constituição Conciliar <i>Sacrosanctum Concilium</i> sobre a Sagrada Liturgia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
WLF	Wood Light Frame (sistema plataforma)

LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{c,0}$	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{c,0k}$	Resistência característica à compressão paralela às fibras
$f_{c,90}$	Resistência à compressão normal às fibras
$f_{t,0}$	Resistência à tração paralela às fibras
$f_{t,90}$	Resistência à tração normal às fibras
f_v	Resistência ao cisalhamento
f_{vk}	Resistência característica ao cisalhamento
f_e	Resistência ao embutimento
$E_{c0,m}$	Módulo de elasticidade na compressão paralela médio
$E_{c90,m}$	Módulo de elasticidade na compressão normal médio
$\rho_{bas,m}$	Densidade básica média
$\rho_{aparente}$	Densidade aparente
σ_{max}	Tensão solicitante máxima
f_{rk}	Tensão resistente característica
γ	Coefficiente de segurança
S_d	Solicitação de projeto
R_d	Resistência de projeto
k_{mod}	Coefficiente de modificação
kg	Quilograma
m	Metro
m ³	Metro cúbico
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
kcal	Quilocaloria
°C	Celsius
MPa	Mega pascal
GPa	Giga pascal
cm ²	Centímetro quadrado
U_{amb}	Umidade de equilíbrio
UE	Umidade de equilíbrio
PS	Ponto de saturação das fibras

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos gerais.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificativa.....	3
2 CONSTRUIR EM MADEIRA: REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Contexto histórico	4
2.1.1 Primeiras construções com madeira	5
2.1.2 Evolução ao longo dos séculos.....	8
2.1.3 Histórico das construções em madeira no Brasil	13
2.1.4 Construções contemporâneas em madeira	14
2.2 Cenário silvicultural brasileiro.....	16
2.2.1 Mercado da madeira.....	17
2.4 Sustentabilidade e responsabilidade ambiental	18
3 CONSTRUIR EM MADEIRA: CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL	20
3.1 Anatomia da madeira	20
3.1.1 Macroestrutura	22
3.1.2 Microestrutura	23
3.2 Crescimento	24
3.3 Propriedades organolépticas.....	25
3.4 Propriedades físicas	26
3.4.1 Umidade.....	26
3.4.2 Densidade.....	27
3.4.3 Anisotropia	27
3.4.4 Variação dimensional	28
3.4.5 Deterioração	29
3.4.6 Resistência ao fogo e combustibilidade.....	30
3.4.7 Defeitos das madeiras	31
3.5 Propriedades mecânicas	32
3.5.1 Resistência à compressão	33
3.5.2 Resistência à tração	33
3.5.3 Resistência ao cisalhamento	34
3.5.4 Resistência à flexão simples	34

3.5.5 Módulo de elasticidade	34
3.6 Propriedades térmicas	35
3.7 Propriedades acústicas	36
3.8 Projeto de estruturas de madeira	36
3.8.1 Normalização técnica.....	37
3.8.2 Filosofias de cálculo	37
3.8.3 Fatores de cálculo.....	39
3.8.3.1 Classes de carregamentos.....	39
3.8.3.2 Classes de umidade	40
3.8.3.3 Classes de resistências	40
3.8.4 Dimensões mínimas permitidas	41
3.8.5 Durabilidade.....	42
3.9 Considerações.....	42
4 CONSTRUIR EM MADEIRA: TÉCNICAS E TIPOLOGIAS	43
4.1 Produtos de madeira.....	43
4.1.1 Madeira roliça	44
4.1.2 Madeira falquejada.....	44
4.1.3 Madeira serrada.....	45
4.1.4 Madeira compensada.....	45
4.1.5 Painéis de madeira reconstituída ou recomposta.....	45
4.1.5.1 Painéis de partículas de madeira	46
4.1.5.2 Painéis de fibras de madeira	46
4.1.6 Madeira laminada colada (MLC).....	46
4.1.7 Madeira laminada cruzada (CLT)	47
4.2 Ligações ou conexões	47
4.3 Sistemas estruturais.....	48
4.3.1 Estruturas aporticadas	48
4.3.2 Pórticos	49
4.3.3 Treliças.....	50
4.4 Técnicas construtivas em madeira	51
4.4.1 Estruturas roliças.....	51
4.4.2 Estruturas pesadas.....	52
4.4.3 Estruturas leves.....	53
4.4.4 Estruturas pré-fabricadas modulares	53

4.5 Wood Light Frame (WLF).....	54
4.5.1 Surgimento	54
4.5.2 Descrição da técnica.....	54
4.5.3 Benefícios e desafios.....	55
4.5.4 Aplicações	56
4.6 Madeira Laminada Colada (MLC)	58
4.6.1 Surgimento	58
4.6.2 Descrição da técnica.....	58
4.6.3 Benefícios e desafios.....	59
4.6.4 Aplicações	60
5 CONSTRUIR EM MADEIRA: PROJETO DE ESPAÇOS RELIGIOSOS.....	62
5.1 A Igreja Católica	62
5.2 Documentos da Igreja Católica sobre construção de igrejas	63
5.3 As necessidades de um templo religioso.....	63
5.3.1 A arquitetura do sagrado	64
5.3.2 Programa de necessidades de uma igreja contemporânea.....	66
5.4 O espaço celebrativo	67
5.4.1 A entrada da igreja	68
5.4.2 As naves	69
5.4.3 O presbitério.....	69
5.4.4 As capelas.....	70
5.5 Os espaços de apoio.....	71
5.6 Os espaços de evangelização e de convivência.....	71
5.7 Os espaços administrativos	72
5.8 Aceitação da madeira em edifícios religiosos	72
6 CONSTRUIR EM MADEIRA: PROPOSTA DE UM ANTEPROJETO.....	75
6.1 Programa de necessidades.....	75
6.2 Concepção do projeto	76
6.3 Desafios	77
6.4 Perspectivas	77
7 CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A – ANTEPROJETO DE UMA IGREJA EM MADEIRA	86

1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que a madeira vem se apresentando como um material nobre e versátil, sendo utilizada para diversos fins. Em virtude da sua resistência, flexibilidade e beleza, ela pode ser amplamente utilizada na arquitetura e na construção civil. Desde os primórdios do tempo, os homens primitivos utilizavam as árvores como abrigo e posteriormente apropriaram-se da madeira como material para construir tocas e cabanas.

É notável como a interação do homem com a madeira, na busca por suprir suas necessidades em cada momento na história, teve a capacidade de afirmar esse material como excelente para edificações arquitetônicas e fazer com que este fosse se reinventando como elemento estrutural.

Muitas e confirmadas, são as razões que, desde tempos remotos, justificam a preferência que o Homem votou na madeira para construir. A polivalência que apresenta, as memórias que sugere, a tradição que carrega e a capacidade de sempre se reinventar, despertam no Homem a vontade de a ter sempre por perto. Nela deposita memórias, impressões e sobretudo uma confiança, que só a experiência e cumplicidade milenares, consentem (GONÇALVES, 2012, p. 33).

Ao longo da história, a trajetória da madeira como sistema estrutural comprovou suas qualidades, abriu caminhos para o desenvolvimento de soluções e ao mesmo tempo proporcionou a criação de novas formas estruturais. Assim, diante da confiabilidade e versatilidade inerentes à madeira, se mantém na lista de materiais em uso de excelência até os dias atuais.

Todavia, na perspectiva brasileira há um sentimento equivocado de que a madeira é um material fraco e que “pega fogo” facilmente, o que se traduz num preconceito para com o material. Em virtude da falta de profissionais devidamente capacitados, já que as universidades brasileiras em geral não oferecem um adequado preparo aos engenheiros civis na área da madeira, e da tendência dos profissionais de execução a idealizar projetos de forma empírica, muitas estruturas sofrem de patologias que transmitem a impressão de material de baixa qualidade, o que é uma inverdade.

Esse cenário, no entanto, está em vias de mudança para melhor. A pegada de sustentabilidade da madeira, num mundo onde as questões políticas e ecológicas têm ganhado poder, e o crescente apelo por construções mais amigáveis ao meio ambiente, tornam o material novamente competitivo, apesar da teimosia do mercado em aceitar novos materiais e se adaptar à novas técnicas.

A partir dessa visão, a madeira, que pode ser empregada em edifícios das mais diversas naturezas, aparece como um material formidável para a construção de espaços destinados ao culto religioso e ao encontro com o sagrado. Catedrais, basílicas e igrejas são as construções que melhor representam a Igreja Católica. Estes grandes edifícios da maior religião cristã exibem estruturas complexas, derivadas dos trabalhos dos melhores artesãos de cada época, e possuem uma quantidade numerosa de elementos de madeira, encontrados do chão ao teto, no mobiliário sacro e nas peças decorativas.

A linguagem arquitetônica dos templos, que teve seu apogeu no gótico e no barroco, perdeu parte do sentido desde o modernismo, rompendo uma tradição secular. As igrejas contemporâneas parecem desprovidas do caráter sacro e embebidas de conceitos subjetivos dos seus arquitetos, nas quais os fiéis têm dificuldade de enxergar a beleza que aponta para o divino.

Conciliando o uso da madeira e a construção de templos religiosos, especificamente para a Igreja Católica, o presente trabalho visa apresentar a necessidade de se entender com maior abrangência a questão do uso do material na construção civil, de modo a verificar a potencialidade da madeira em suprir as exigências estruturais, estéticas e litúrgicas próprias de edificações dessa categoria.

1.1 Objetivos gerais

Estudar, compreender e verificar a viabilidade da utilização de estruturas de madeira para a construção de edificações de uso religioso, dos templos aos centros de evangelização.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos que compõem o escopo do trabalho são:

- 1) Conhecer o contexto histórico do uso da madeira na construção civil, no Brasil e em nível global, bem como compreender o cenário silvicultural e o mercado brasileiro de madeira à luz da sustentabilidade;
- 2) Caracterizar a madeira enquanto material de construção e conhecer suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas, comparativamente à algumas propriedades dos materiais convencionais – aço e concreto armado;
- 3) Entender os requisitos mínimos de um projeto estrutural concebido em madeira;
- 4) Verificar quais são os principais produtos madeireiros disponíveis no mercado e as principais técnicas de construção com madeira;

- 5) Analisar as características e as vantagens/desvantagens do sistema plataforma (ou *wood light frame*) e da madeira laminada colada;
- 6) Pesquisar normas e recomendações para o projeto de igrejas;
- 7) Avaliar qualitativamente a viabilidade do uso de estruturas de madeira para a construção de espaços religiosos.

1.3 Justificativa

Esse trabalho se justifica como um ponto de partida para a elaboração de projetos de igrejas e espaços religiosos em estrutura de madeira, assim como é uma tentativa de mostrar as vantagens de se utilizar sistemas leves e de impacto ambiental reduzido em detrimento dos consagrados, porém nada ecológicos, métodos tradicionais. Se justifica também pela oportunidade de corroborar na aceitação de um material versátil e belo, de enorme potencial para a engenharia e a arquitetura, que é injustamente considerado inferior e não é posto a serviço de seus usos mais nobres.

Como procedimento metodológico para alcançar o objetivo proposto, foi utilizado um conjunto de dados bibliográficos referentes à história da arquitetura em madeira, ao estado da arte da construção em madeira e aos documentos que tratam da construção de igrejas, publicados em livros, recursos de meios eletrônicos, revistas, periódicos e outros.

Esse trabalho trata de uma visão inicial acerca da temática desenvolvida sobre a relação madeira/estrutura, aplicada à construção de igrejas e demais edifícios religiosos. Portanto, muito possivelmente, poderão ser observadas lacunas; entretanto, espera-se com este trabalho cumprir as exigências do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil.

2 CONSTRUIR EM MADEIRA: REVISÃO DE LITERATURA

Os temas tratados a seguir fornecem um contexto geral das construções em madeira, das primitivas às atuais, observando a influência da madeira no desenvolvimento das civilizações e a própria evolução do material nos aspectos construtivos, bem como do cenário brasileiro e das perspectivas ambientais.

2.1 Contexto histórico

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos. Sua utilização remonta ao aparecimento do Homem e, pela sua grande disponibilidade e versatilidade, tem sido usada para diversas finalidades, sobretudo para edificar, transpor, transportar e gerar energia através da queima.

Segundo Pereira (2013, p. 24), “madeira é um bem que tem sido usado há tempos como matéria-prima básica para as nossas edificações e para a produção de objetos, o que certamente se deve às suas características físicas e mecânicas.”

A madeira é um material nobre, que pode ser considerado como o “motor da humanidade” desde os tempos remotos. Sem a madeira, dificilmente as sociedades primitivas teriam prosperado. Perlin (1992, p. 25) afirma que “a madeira, na verdade, é o herói não reconhecido da revolução tecnológica que nos impulsionou da cultura da pedra e do osso para a nossa época presente”.

A interação entre o homem e a madeira provocou transformações na natureza e nas relações sociais. Tal a sua importância e presença na vida cotidiana, desde o surgimento da escrita com os povos sumérios, há mais de cinco séculos, havia símbolos cuneiformes para a madeira e seus produtos derivados. Segundo Perlin (1992, p. 31), a palavra arquiteto, que designa o profissional habilitado a conceber e executar edificações e espaços, significa principal trabalhador em madeira. Ainda segundo o autor, os nomes das letras do alfabeto irlandês vinham dos nomes das árvores, tão abundantes eram no país: “alim (olmo), beith (bétula), coll (avelã), dair (carvalho)”, por exemplo.

As florestas, dada a extração, decresciam com o crescimento das populações e se regeneravam com o seu declínio. Tenório e Nascimento (2016, p. 152) afirmam que “é preciso atentar que cada civilização interagiu e interage com esse material, muitas vezes, de maneiras diferentes”. Lourenço e Branco (2012) corroboram esta afirmação:

O uso da madeira decorre em cada civilização, singular e independentemente, de acordo com as características e necessidades da mesma, até porque são alguns agentes próprios de cada época que determinam o método usado para a construção em madeira, como: o clima, os desastres naturais e a própria evolução, face às necessidades de cada comunidade. (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 202).

Importante no desenvolvimento dos povos e culturas, dada a larga escala de utilização, a madeira influenciou a engenharia e a arquitetura pelos séculos, tanto na exploração do seu potencial estrutural e arquitetônico, nas variadas formas de se trabalhar e construir com o material, quanto nas tentativas de superar seus aspectos negativos e otimizar suas propriedades mecânicas.

2.1.1 Primeiras construções com madeira

O homem primitivo, nômade a priori, ao aprender a plantar e criar animais, começou a fixar-se e a precisar de abrigos. As primeiras estruturas de madeira, rudimentares, surgiram, de forma empírica, pela observação da natureza – troncos caídos, pedras empilhadas, cipós – e posterior experimentação, imitando-a (REBELLO, 2000).

Para Tenório e Nascimento (2016, p. 152), “a descoberta das potencialidades da madeira pelo homem primitivo como sua resistência, leveza, flexibilidade, facilidade de manuseio foram essenciais para o desenvolvimento das primeiras estruturas.”

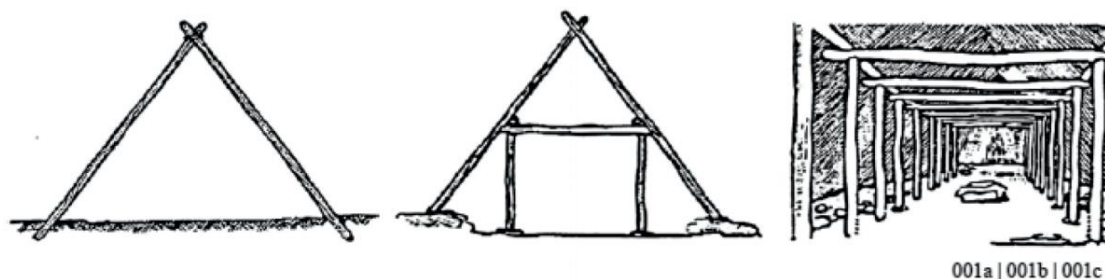
A madeira, usada de forma bruta (galhos e troncos), era agregada a outros materiais, como pedras, terra, palha, folhas, cascas de árvores, peles de animais, criando fechamentos e vedações. Tenório e Nascimento (2016, p. 153) explicam que a possibilidade dessas associações se deve à boa interação da madeira com outros materiais. Assim, essas estruturas primitivas forneciam, mesmo que precariamente, proteção e refúgio. “Em muitas partes do mundo, bastava uma armação de ramos ou de pequenos troncos, coberta com folhas ou cascas de árvores, para criar um habitáculo. Estes troncos foram os precursores das estruturas de madeira atuais.” (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 203).

Naturalmente ocorreu o aprimoramento das técnicas e a evolução das construções. “No início, a qualidade final do produto dependia sobretudo da qualidade da madeira e da habilidade de quem a trabalhava.” (FERNANDES, 2014, p. 2)

A Figura 1 apresenta um desenho da evolução das estruturas primitivas: a partir de duas barras apoiadas em triângulo, foram sendo adicionadas novas barras, ampliando a sustentação e criando um pórtico básico. A replicação desse pórtico permitiu construções maiores e mais

espaçosas, formando uma geometria reticular. Depois, as peças da cobertura deixaram de se apoiar diretamente no solo, ficando suspensas pela própria estrutura.

Figura 1 – Desenho esquemático de estrutura de madeira primitiva.



Fonte: Gonçalves (2012) apud Tenório e Nascimento (2016).

Assim, de simples peças escoradas e amarradas, surgiram protótipos de pilares, vigas, pórticos e paredes. Este “sistema estrutural” rudimentar é o fundamento dos sistemas estruturais adotados atualmente, onde os elementos superiores transmitem as ações para os elementos inferiores, sucessivamente, até chegar ao ponto de suporte, que é o solo.

Sobre isto, diz Gonçalves (2012) que:

Nas primeiras construções em madeira, a cobertura comportava toda a estrutura do edifício, cuja composição passava por varas espetadas no chão de forma a intersectarem-se no ponto mais alto, posteriormente, cobertas por elementos vegetais ou peles animais. Conforme foi crescendo e evoluindo a construção, novos desafios advieram, desenvolvendo-se, paulatinamente, apoios intermédios aos elementos estruturais inclinados da cobertura. Estes elementos criaram a armação base da parede e propiciaram a fácil criação de aberturas. A própria cobertura, por forma a garantir mais espaço no interior, passou a apoiar diretamente nas paredes, germinando, então, a forma de construir que se perpetua até hoje. (GONÇALVES, 2012, p. 23)

Com o decorrer do tempo e o surgimento das civilizações, a utilização da madeira como componente estrutural nas construções se diversificou.

Segundo Lourenço e Branco (2012, p. 203), os Mesopotâmicos, em cuja região árida havia abundância de terra, construíam casas de planta circular ou quadrada com pátios centrais feitas de adobe e vigas de madeira, dispostas em grelhas ortogonais. No entanto, Perlin (2005) apud Fernandes (2014, p. 4) afirma que a cidade mesopotâmica de Uruk se torna a maior e mais poderosa cidade devido a disponibilidade próxima de madeira, usada na construção de casas, palácios, barcos, armas e combustível.

Porém, nem todas as civilizações antigas consideravam o material como o mais adequado para suas edificações. Lourenço e Branco (2012, p. 203) relatam que no Egito antigo se utilizava madeira somente na confecção dos andaimes, sendo as construções erigidas em argila e pedra.

Não restrita somente ao uso habitacional, a madeira era utilizada para todos os tipos de edificações, de usos particulares e públicos. Dentre esses, cabe destacar, pela temática desse trabalho, as edificações para usos religiosos – templos, igrejas, basílicas, catedrais, mosteiros e abadias, oratórios, pagodes, monumentos e outros – bem como suas instalações acessórias.

As Sagradas Escrituras fazem inúmeras referências ao uso de madeira como componente estrutural: a célebre Arca de Noé, construída para proteger sua família e os pares de animais do dilúvio enviado por Deus (Gn 6,14-20) (BÍBLIA..., 2010); o Templo de Salomão, juntamente com seu palácio, encomendado pelo rei de Israel, erigido com pedras talhadas e grandes peças de madeira de cedro, cipreste, oliveira e outras espécies disponíveis na região.

Revestiu com tábuas de cedro o lado interno das paredes do templo, desde o pavimento até as vigas do teto, revestiu com madeira o interior e cobriu com tábuas de cipreste o pavimento do templo. [...] No interior do templo, o cedro era esculpido com botões e flores abertas; tudo era de cedro e não se via pedra alguma. (1Rs 6,15.18) (BÍBLIA..., 2010)

Interessante destacar que a tipologia construtiva é descrita em detalhes no texto canônico, com suas dimensões e materiais utilizados, do qual se destaca o trecho a seguir:

Construiu o palácio chamado Floresta do Líbano, de cem côvados de comprimento, cinquenta de largura e trinta de altura, sobre quatro fileiras de colunas de cedro e vigas de cedro sobre as colunas. Estava coberto de cedro em cima das vigas que se apoiavam sobre as colunas, que eram quarenta e cinco, quinze para cada fileira. (1Rs 7,2-3) (BÍBLIA..., 2010)

Infelizmente, grande parte das estruturas de madeira dos séculos passados não sobreviveram aos dias atuais. Fato este que não aponta a durabilidade como aspecto negativo, pois, da mesma forma, estruturas constituídas de outros materiais também não resistiram ao caminhar dos séculos. Se devidamente conservadas e realizadas as manutenções necessárias, as estruturas de madeira podem percorrer séculos em perfeito estado.

Provavelmente as mais antigas construções ainda existentes em madeira no mundo, o complexo de templos budistas de Horyu-Ji, localizado na vila de Ikaruga, Japão, eleito patrimônio mundial da humanidade pela UNESCO em 1993, possui exemplares datados do século VII d.C. (FIGURA 2).

Figura 2 – Complexo de monumentos budistas de Horyu-Ji, Ikaruga, Japão.



Fonte: www.whc.unesco.org

A carpintaria oriental desenvolveu sistemas de encaixes e entalhes para as peças de madeira que propiciavam estabilidade ao edificado sem a necessidade de utilização de outros materiais, como ligações metálicas, muito comuns na atualidade. (FERNANDES, 2014, p. 6). Meirelles et al. (2007) afirmam que tais encaixes e entalhes eram executados com grande precisão geométrica, gerando construções leves com capacidade de resistir a tremores e sismos.

2.1.2 Evolução ao longo dos séculos

No suceder dos períodos históricos, as técnicas de trabalho com madeira foram naturalmente sendo aprimoradas, face às novas necessidades em função do crescimento das populações. Dessa forma, as construções se tornavam cada vez maiores, mais altas, mais complexas, com particularidades intrínsecas aos usos destinados. Isso, contudo, sem perder os conceitos básicos das estruturas primordiais.

As construções modernas baseiam-se, estrutural e tecnicamente, nas antigas estruturas das casas de madeira, assim como nos seus conceitos de abrigo e proteção. A madeira, por ser um material bastante flexível, permite que a construção se faça em altura, como é o caso da arquitetura de madeira (integral) da Nova Guiné: igrejas e algumas casas têm mais de 18m de altura e 30m de comprimento. (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 202).

Simultaneamente à sua evolução, o emprego de novos materiais começou a restringir a participação da madeira. Na Idade Média, o poderio bélico das civilizações estimulou a utilização de pedras, que em virtude da precariedade face aos ataques inimigos oferecia maior defensibilidade. Segundo Lourenço e Branco (2012):

As moradias e os palácios urbanos na arquitetura gótica, assim como na românica, foram inicialmente construídos em madeira, funcionando como casas-forte. Estas habitações foram se tornando mais requintadas e elegantes, procurando um maior conforto, com a aplicação de novos materiais como a pedra.” (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 205).

O advento das arquiteturas românica e gótica, marcadas pelo protagonismo das igrejas e catedrais, relegou o uso da madeira, estruturalmente, a situações menos nobres, como andaimes, fôrmas e outras estruturas de suporte temporário à construção. Segundo Fernandes (2014, p. 29), “na arquitetura religiosa e do Estado a madeira tinha um papel fundamental, por ser utilizada como molde para a construção de arcos e abobadas”.

A madeira subsistiu nos elementos de cobertura – arcos, abóbadas, tesouras, fechamentos – e nos revestimentos e mobiliário religioso, permanecendo a estrutura principal dos edifícios constituída por pedras e ligantes cimentícios. Vale ressaltar que essa prática reflete boa parte da realidade atual da construção civil brasileira, onde a madeira não é explorada em sua potencialidade.

Porém, a despeito da adoção das pedras, um ponto interessante destacado por Lourenço e Branco (2012, p. 206) é que “muitos edifícios da Idade Média e do Renascimento foram construídos em madeira e resistiram tanto ou mais que os construídos em pedra e tijolos”.

A Figura 3 apresenta uma imagem do interior da igreja gótica de São Bavão (no original holandês, *Sint-Bavokerk*), em Haarlem, Países Baixos, onde é possível observar a situação descrita acima: presença dominante de pedra lavrada nas paredes e abóbadas em madeira.

Figura 3 – Igreja de São Bavão, Haarlem, Países Baixos.



Fonte: www.pt.trekearth.com

Entretanto, a situação inversa ocorreu em outras localidades. Na parte mais setentrional do continente europeu, notadamente nos países escandinavos, estruturas em madeira eram largamente usadas. A princípio, Lourenço e Branco (2012, p. 204) relatam que na Escandinávia, notadamente na Noruega, foram descobertos vestígios de casas de madeira do século IV, cuja tipologia se baseava em dispor toras no sentido vertical ou empilhar na horizontal, e segundo Meirelles et al. (2007, p. 2), “as paredes apresentavam um grande fator de massividade, servindo como isolamento térmico”, embora a estanqueidade das mesmas era pouco eficiente, ocorrendo a penetração de água e vento por nespas entre as toras. Posteriormente, a construção com aduelas substituiu o método usual:

Na Noruega, desenvolveu-se, uma estrutura em madeira muito distinta, dedicada à construção de igrejas, o sistema de aduela, que partilha o mesmo esforço na estabilização das estruturas de madeira. As paredes formadas por um conjunto de molduras, eram concebidas através de pilares e vigas, e preenchidas por tábuas verticais. A viga da base, assente numa pequena fundação de pedra, assumia um papel importante na proteção e rigidificação da estrutura, evitando a ascensão de umidade por capilaridade e fornecendo

uma base estável por meio de entalhes nas extremidades. Uma treliça simples, apoiada nos pilares das paredes e com as águas muito inclinadas, definia a cobertura. (GONÇALVES, 2012, p. 27)

Um exemplo conhecido desse sistema construtivo é a Igreja de Madeira de Urnes, na Noruega (FIGURA 4). Datada do século XII, a mais antiga igreja em madeira e tombada como patrimônio mundial pela UNESCO, pertencente à Igreja Luterana nacional.

Figura 4 – Igreja de Madeira de Urnes, Noruega.



Fonte: www.liberal.com.br

Tradicional na região dos países escandinavos, a construção de igrejas em madeira nesse estilo atravessou gerações, sendo ainda encontradas muitas das inúmeras capelas e igrejas edificadas com o material.

Ao fim da Idade Média, eram comuns tanto construções com madeira, pedras ou misto de ambos materiais. A carpintaria evoluiu a um nível que permitia o erguimento de estruturas com até seis pavimentos (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 206).

A humanidade alcançou um novo patamar com a chegada da Idade Moderna e a consequente implantação de novas técnicas construtivas – destaque para a alvenaria – e novos materiais, como o ferro fundido. Para Tenório e Nascimento (2016, p. 156), “o surgimento do ferro fundido e a utilização de materiais como o vidro, não inibiu o uso da madeira”, e o vasto conhecimento do material, somado ao longo tempo de experiência acerca de seu comportamento, era muitas vezes associado a esses novos materiais como garantia de segurança, tanto da estrutura quanto da percepção das pessoas.

Com a Revolução Industrial, a eficácia de sua utilização foi aprimorada, isolada ou em associação aos novos metais disponíveis:

Nesta altura, consagram-se, desenvolvimentos de novos sistemas e aplicações da madeira, que atestavam a sua adequação a grandes e audazes estruturas, como arcos constituídos por madeiras curvadas, sistemas compostos de madeira e metal e sistemas tridimensionais compostos por madeira ligada entre si por malhas de cabos metálicos. (GONÇALVES, 2012, p. 29)

A madeira, mesmo com todo seu arcabouço, perdeu espaço para os novos materiais que segundo Tenório e Nascimento (2016, p. 158), “correspondiam às necessidades do mercado e da indústria naquele momento”.

A necessidade de verticalização, alcançando patamares literalmente mais altos, provocou o abandono da madeira enquanto material estrutural e a ascensão do aço, que era considerado como mais seguro e robusto. Apesar da novidade e potencialidades dos materiais de vanguarda, “a madeira continuou a ser o material de eleição para a construção de pequenos edifícios e habitações unifamiliares” (FERNANDES, 2014, p. 37).

Os grandes descobrimentos no continente americano ocasionaram um “reinício” do pioneirismo da construção da madeira. Chegados de tão longínquas terras, das quais não havia viabilidade de envio da demanda necessária de recursos, os colonizadores somente podiam contar com os materiais ali disponíveis. A expansão dos territórios coloniais da América do Norte só aconteceu graças à madeira, abundantemente disponível no Novo Mundo, onde todas e da qual todas as edificações eram compostas (FERNANDES, 2014, p. 31).

A consolidação do território após as disputas entre nativos e colonos favoreceu o surgimento de muitas indústrias madeireiras, com conseqüente disponibilidade de material processado, e de novas técnicas construtivas visando maior eficiência e economia nas obras (FERNANDES, 2014, p. 34).

Os sistemas Balloon Frame, Platform Frame e Wood Frame, tipologia da maioria das construções americanas, serão retomados nos próximos capítulos deste trabalho.

A madeira, apesar da concorrência dos demais materiais, continua a ser bastante utilizada nos países que têm essa tradição arraigada. Nos Estados Unidos, no Japão e nos países escandinavos, a madeira é o principal material de construção, com 80% de participação nas habitações (TORRES, 2010, p. 6).

2.1.3 Histórico das construções em madeira no Brasil

A importância da madeira para o Brasil começa pelo nome do país. A grande quantidade de pau-brasil avistada pelos aventureiros no litoral brasileiro foi responsável pelo nome Brasil dado ao país sul-americano. A referida árvore, outrora abundante, foi o primeiro produto de exportação, pela qual se iniciaram os desmatamentos da Mata Atlântica.

No que concerne à construção com madeira, seu uso é anterior ao descobrimento do país. Já era existente toda uma arquitetura indígena. Os nativos construíam suas habitações – as conhecidas ocas e malocas, de formato cupular – com troncos de árvores, cipós, folhas, terra, encaixando e amarrando as partes, com técnicas tão diversas quanto suas tribos. Porém, numa linguagem semelhante: os habitáculos eram geralmente dispostos em torno de uma clareira central, formando uma praça ou pátio. Como explica Weimer (2014), “na América do Sul prevaleceram as tipologias esboçadas pelos [índios] Gros Ventres norte-americanos, com um eixo dominante passando por meio de uma praça circular definida espacialmente pelas diversas casas construídas em seu contorno”. Esse formato de aldeamento pode ser observado em muitas das cidades coloniais, sendo um referencial urbanístico da época, que perdura até hoje.

A arquitetura do período colonial brasileiro, apesar da conquista portuguesa, era um misto cultural de técnicas europeias, indígenas e até mesmo africanas, em razão do grande número de escravos trazidos para o continente. As técnicas mais utilizadas eram o pau-a-pique, a taipa de pilão e o adobe, além da construção com moledo, um tipo de pedra argilosa (ABREU, 2010, p. 21).

A madeira era associada ao enchimento de terra, ao qual dava sustentação, formando elementos rígidos, formando paredes e dividindo os ambientes. A boa interação entre esses materiais e o superdimensionamento – em razão do uso de peças robustas, ainda que em detrimento da falta de manutenção – possibilitou grande durabilidade ao edificado, de forma que várias construções do período ainda existem.

O domínio dos europeus impôs novos sistemas construtivos, retirando o protagonismo da madeira enquanto material predominante nas estruturas.

Pode ser observada uma sucessão de técnicas principais, a partir de estruturas em madeira roliça e falquejada, para construções em taipa e pau-a-pique, culminando na alvenaria de adobe, pedras e tijolos. Desde este momento o preconceito com material começou a ser incorporado à cultura construtiva brasileira: as primeiras construções, provisórias, mascaravam o real potencial da madeira.

Fortemente influenciada pelos missionários jesuítas, a arquitetura religiosa do período colonial foi marcante na história brasileira. Tal a relevância tem as construções religiosas para a cultura e o patrimônio brasileiro que “as igrejas barrocas se destacam na paisagem por constituírem verdadeiros palácios do período colonial que revelam nossos momentos de maior expressão artística” (LYRA, 2006, apud ANDREACCI; MELO JÚNIOR, 2011, p. 242).

Baseadas em modelos europeus de vertente barroca, capelas e igrejas eram erguidas em todas as aglomerações populares. Eram geralmente construídas de taipa de pilão ou de pedra, mediante os recursos locais (COSTA, 2010/1941), com os escoramentos internos, as esquadrias, piso e cobertura (tesouras e forro), retábulos e altares em madeira. Eram, de certo modo, estruturas mistas.

Portanto, a madeira tinha o seu espaço. Segundo Meirelles et al. (2007, p. 3), “a construção de madeira foi muito utilizada nas regiões sul e sudeste como habitação, onde a matéria-prima utilizada, o pinho do Paraná, era abundante”. Num contexto nacional, as maiorias das edificações continham, ainda que em parte da estrutura, elementos de madeira.

A grave questão da doença de Chagas, no século XX, que culminou no quase total abandono das técnicas tradicionais com terra e madeira, pela precariedade das construções devido à baixa capacitação dos construtores, motivou ainda mais a rejeição da última no âmbito da construção civil brasileira.

Sua construção sem os devidos cuidados técnicos como sob fundação, revestimento de paredes, beneficiamento da madeira, entre outros, torna as edificações susceptível à ação de intempéries, ao abrigo de insetos e roedores transmissores de doenças, entre outros problemas que terminam por torná-las insalubres e frágeis (VIEIRA, 2019).

Ainda se constrói em madeira no Brasil. Na década de 50, segundo Meirelles et al. (2007), “o Paraná foi um dos maiores produtores de madeira do mundo, e suas madeiras eram consideradas como uma das melhores”. Na região sul do país existem muitos edifícios constituídos do material, onde são mais aceitos em virtude das tradições familiares dos antepassados imigrantes, oriundos de países com cultura de construção de casas de madeira.

2.1.4 Construções contemporâneas em madeira

Atualmente, a grande disponibilidade de materiais industrializados, ajustados ao mercado da construção civil, aliada ao uso facilitado por profissionais menos qualificados, associada ainda ao preconceito arraigado e improcedente quanto às edificações com estrutura

de madeira, favoreceu que o material fosse destinado a outros usos. “Em função da fiabilidade das propriedades mecânicas dos novos materiais, uma vez estáveis e dimensionáveis, a madeira, até então, o fundamento da técnica construtiva, foi, progressivamente, relegada do âmbito da construção” (GONÇALVES, 2012, p. 29). Esse fato se mostrou mais pronunciado no Brasil, onde impera a cultura do concreto e da alvenaria.

No entanto, tem acontecido um “renascimento” do uso de madeira estrutural, que se deve às boas propriedades físicas e mecânicas e à baixa demanda de energia do seu ciclo produtivo (LOURENÇO; BRANCO, 2012, p. 210). Além disso, o mercado tem recebido novos produtos madeireiros que potencializam a aplicação da madeira em situações mais exigentes, bem como transpõem certas limitações da madeira em estado bruto. Produtos esses que são chamados, por falta de tradução adequada, produtos engenheirados de madeira, como os painéis, os compósitos e a madeira laminada colada (MLC), a título de exemplo.

O Metropol Parasol, localizado na praça La Encarnación, em Sevilha, tido como a maior estrutura em madeira do mundo, foi resultado de um concurso para reabilitação de área no centro da cidade espanhola, em 2004 (FIGURA 5).

Figura 5 – Metropol Parasol, Sevilha, Espanha.



Fonte: www.tripadvisor.com.br

Outro exemplar contemporâneo, desta vez brasileiro: a Figura 6 mostra a cobertura do Shopping Iguatemi, em Fortaleza, Ceará. Construído em MLC, recobre uma área de 4800 m².

Figura 6 – Shopping Iguatemi, Fortaleza, CE.



Fonte: www.carpinteria.com.br

As novas e modernas técnicas de construção com madeira não se restringem à grandes e dispendiosas estruturas, podendo ser usadas em qualquer tipo de edificação. Como lembram Lourenço e Branco (2012, p. 204), “os edifícios habitacionais em madeira podem ser uma excelente escolha para quem compra casa pela primeira vez, para quem deseja um domicílio para uma família numerosa, **para templos, igrejas** e mesmo empreendimentos hoteleiros” (grifo nosso).

2.2 Cenário silvicultural brasileiro

O Brasil é o quinto país mais extenso territorialmente, com mais da metade de sua área (cerca de 58%) coberta por florestas, de grande diversidade de espécies nativas e plantadas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o país possui 9,9 milhões de hectares de florestas plantadas, com 95,8% da área coberta para fins comerciais correspondente aos cultivos de eucalipto (7,4 milhões de hectares) e pinus (2 milhões de hectares) (IBGE, 2017). No entanto, o Instituto Brasileiro de Árvores (Ibá) afirma que o país possui 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas, divididos em 5,7 milhões de hectares de plantio de eucalipto, 1,6 milhões de pinus e o restante de 590 mil hectares de demais espécies (IBÁ, 2019).

Possuindo as mais produtivas florestas plantadas do planeta, sendo 3,5 milhões de hectares devidamente certificados, em 2018 os plantios de eucalipto obtiveram uma produtividade média de 36,0 m³/ha.ano e os plantios de pinus 30,1 m³/ha.ano (IBÁ, 2019).

A produção madeireira concentra-se principalmente nos Estados das regiões Sudeste e Sul, o que, segundo o IBGE, representa 62,3% do total nacional, destacando-se Minas Gerais – com a maior área plantada: 2 milhões de hectares, com predominância de eucalipto – e Paraná – 1,6 milhão de hectares, prevalência de pinus (IBGE, 2017).

Da produção silvicultural brasileira, a maior parte é destinada à produção de celulose e papel (34,6%), seguida da madeira serrada (30,2%), carvão vegetal (17,4%) e lenha (15,4%), restando 2,4% para outras destinações (IBGE, 2017).

2.2.1 Mercado da madeira

O mercado da madeira possui uma participação significativa na economia do país, que pode ser considerado uma potência, além de exportar grande volume do material para China e Europa. Com base nos dados do IBÁ, o setor representa uma fatia de 1,3% do PIB nacional, e 6,9% do PIB industrial (IBÁ, 2019). Em relação aos grandes setores econômicos, a tendência observada, em função dos investimentos no segmento, é de um crescimento contínuo nos anos vindouros: somente em pesquisa e inovação foram investidos cerca de R\$ 36,8 milhões. De 2017 para 2018 houve um incremento de 13,1% na produção de madeira de florestas plantadas, o que equivale a uma receita de R\$ 86,6 bilhões (IBÁ, 2019).

Em termos de produto, como já mencionado, o foco do setor é a indústria de celulose e papel, que inclusive obteve desempenho recorde no mercado externo, concedendo ao Brasil a posição de maior exportador no contexto global. Este fato implica que a produção nacional é voltada para madeiras mais jovens, com menos de 10 anos, adequadas para a extração da matéria-prima do papel.

A baixa rotação (tempo entre o plantio e a colheita das árvores) comparada a outros países – no Canadá, por exemplo, a rotação média é de 70 anos para pinus (IBÁ, 2019) – desfavorece o uso da madeira para o setor da construção, que necessita de lenho mais amadurecido, de maior resistência. Esse comportamento, todavia, não é inesperado, visto que o carro-chefe é a indústria de celulose. Isso não impede, contudo, que determinadas porções das áreas de cultivo florestal sejam mantidas por um tempo superior caso a demanda por lenho tardio, para a construção civil, aumente significativamente.

Atualmente o Brasil se encontra em posição privilegiada no mercado internacional, o que é muito favorável ao desenvolvimento do setor florestal, que é referência em sustentabilidade, produtividade e inovação (IBÁ, 2019).

2.4 Sustentabilidade e responsabilidade ambiental

Envolvendo diversos setores econômicos, como a mineração, siderurgia e metalurgia, produção de cerâmicos, energia e outros, a construção civil é uma das bases da economia de qualquer país. Entretanto, é um dos agentes poluidores mais críticos, já que a construção civil como a indústria que mais consome recursos naturais, “depende de grande massa de materiais cujo processo produtivo envolve reações químicas e geram poluentes em geral, incluindo gases de efeito estufa” (AGOPYAN, 2011).

A construção civil é parte essencial do desenvolvimento humano, tendo como tarefa edificar, manter e atualizar o ambiente e o espaço onde vive a sociedade. Dada sua escala, em função da grande população mundial, estimada em mais de 8 bilhões de indivíduos, o impacto ambiental gerado é conseqüentemente monumental.

Como afirma Agopyan (2011, p. 14), o impacto ambiental da construção civil está atrelado a uma grande cadeia produtiva: da extração de matéria-prima, produção e transporte dos produtos industrializados, concepção de projeto e execução das estruturas, manutenção até a sua demolição e reinício do processo. A sustentabilidade deve ser inserida no todo e em cada fase do processo, em menor ou maior grau, conforme a necessidade, e para isso precisa tanto das ações das empresas e técnicos quanto das políticas governamentais que a incentivem, sem deixar a sociedade e cada pessoa esquecer da sua contribuição e corresponsabilidade.

A cultura é um fator preponderante para a eficácia das estratégias sustentáveis. A exploração ilegal da madeira contribui negativamente para o seu uso adequado. As chamadas “madeiras-de-lei” são tipos mais adequados ao uso estrutural, por possuírem maior resistência em função da maior idade, e embora possam sim ser utilizadas legalmente, com corte autorizado pelos órgãos ambientais competentes, através de um manejo florestal sustentável, grande parte da extração ainda é de origem ilegal e predatória.

A despeito de muitas pessoas que, pelo senso comum, pensam que a utilização da madeira é um contratestemunho em vista dos desmatamentos que, infelizmente, ocorrem em níveis alarmantes, o uso de madeira para construção deve provir de florestas certificadas, sejam nativas – com o devido manejo assistido por profissionais – ou plantadas, acompanhada da documentação requerida (licenças e notas fiscais). Outro ponto é que o uso da madeira enquanto material de construção não fere mais a natureza que o uso de outros materiais, como cimento, aço e cerâmicos, os quais utilizam a própria madeira para gerar energia para sua produção. Em contrapartida a esses e outros materiais, a madeira é renovável e abundante, e requer como fonte

de energia, para a sua “produção” (no caso, seu crescimento), basicamente o sol, para a realização da fotossíntese.

Sendo um material vegetal, a madeira tem a característica de reter e estocar carbono em si. O sequestro do carbono da atmosfera auxilia na redução da poluição do ar e do desequilíbrio dos gases de efeito estufa. Conforme dados da Ibá, em 2018, o estoque de dióxido de carbono equivalente (CO_{2,eq}) do segmento somou 4,2 bilhões de toneladas (IBÁ, 2019).

Ainda segundo a Ibá, a madeira é o ponto chave para o desenvolvimento da construção com vistas à responsabilidade ambiental:

O setor de árvores plantadas para fins industriais é um dos mais aptos a fortalecer os objetivos do Brasil no Acordo de Paris, que prevê reduzir as emissões dos gases do efeito estufa em 43% frente à realidade de 2005; restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas; incentivar a integração de lavoura, pecuária e florestas (ILPF) em 5 milhões de hectares; zerar desmatamento ilegal; atingir 45% de energias renováveis no mix brasileiro, sendo 18% em bioenergia; e expandir o consumo por biocombustíveis (IBÁ, 2019).

Face a essas considerações, o caminho da sustentabilidade deixou de ser um adicional para agregar valor para ser uma exigência dos empreendimentos. Assim, a utilização da madeira para a construção deve ser incentivada e aperfeiçoada em função das peculiaridades e necessidades de cada região e clima, sendo um dos potenciais materiais para alavancar a construção civil visando redução de impactos ambientais.

É um material excepcional, com significativa aptidão para usos mais nobres no contexto das edificações, e, em específico deste trabalho, na construção de espaços religiosos, onde as características da madeira tem maior afinidade com a arquitetura e as exigências de projeto.

3 CONSTRUIR EM MADEIRA: CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL

Os tópicos a seguir tratam das características da madeira, sua composição, principais propriedades e comportamento quando submetida a ações, num comparativo com outros materiais de uso comum, como aço e concreto, e das disposições básicas que dever ser consideradas no processo de projeto e cálculo, de acordo com as normas técnicas vigentes.

3.1 Anatomia da madeira

A necessidade de se conhecer a anatomia da madeira deriva da necessidade de se conhecer o material nos níveis mais profundos, com o objetivo de identificar espécies, distinguir madeiras aparentemente idênticas, quantificar a capacidade resistente, estudar e prever o comportamento físico mecânico quando da sua utilização nas estruturas e dar um prognóstico dos melhores usos conforme as características particulares da espécie, visando o emprego correto da madeira (BURGER; RICHTER, 1991, p. 11).

As madeiras utilizadas para construção civil são, basicamente, divididas em duas categorias principais:

- a) madeiras duras: também chamadas dicotiledôneas, folhosas ou hardwoods, são provenientes de árvores da classe taxonômica Angiosperma, perenifólias, de folhas achatadas e largas, com raízes axiais profundas, caracterizadas por um longo tempo de crescimento até atingir a maturidade;
- b) madeiras macias: comumente conhecidas como coníferas, também como softwoods, são provenientes de árvores da classe Gimnosperma, caducifólias, de folhas alongadas ou escamadas, com raízes pouco profundas e muito ramificadas, de crescimento rápido.

As figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, exemplares de dicotiledônea (*Eucalyptus grandis*) e conífera (*Pinus elliottii*), espécies mais comuns de cada categoria no Brasil.

Figura 7 – Exemplar da espécie *Eucalyptus grandis*.



Fonte: www.pinterest.com.br

Figura 8 – Exemplar da espécie *Pinus elliottii*.



Fonte: www.infoescola.com.br

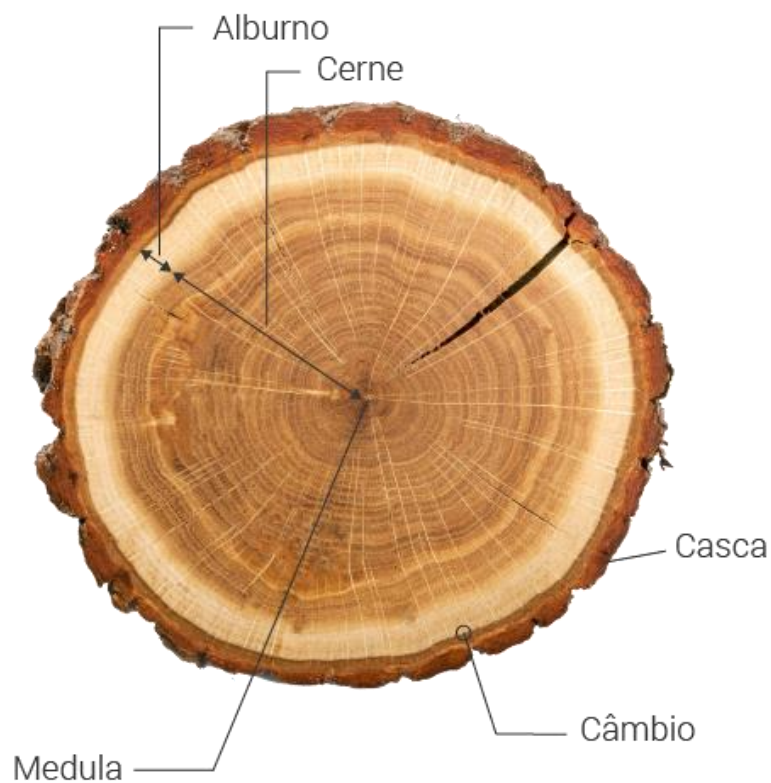
Por serem botanicamente distintas, apresentam grande diferença tanto na estrutura celular do tronco quanto na resposta às solicitações mecânicas impostas, o que implica em diferentes aplicações no uso estrutural, o que será visto a seguir.

3.1.1 Macroestrutura

A madeira para a construção propriamente dita é obtida do tronco das árvores. O tronco é a parte da árvore que na botânica é denominada caule, responsável pela sustentação da planta e pelo transporte dos fotoassimilados e de água e sais minerais do solo.

Na composição do tronco de uma árvore são encontradas diversas camadas: casca, câmbio, lenho, medula e raios medulares (FIGURA 9).

Figura 9 – Seção transversal esquemática de um tronco de árvore.



Fonte: www.estácio.webaula.com.br

A casca tem uma função análoga à pele nos seres humanos: serve para revestir e proteger o indivíduo do clima, de micro-organismos e de impactos físicos. Conforme Burger e Richter (1991, p. 14), a casca tem papel relevante na identificação da espécie e, embora seja descartada para a construção, possui inúmeros outros usos comerciais e industriais.

O câmbio é uma fina camada abaixo da casca constituída de tecido meristemático responsável pelo crescimento secundário da árvore (sentido radial), gerando os chamados anéis de crescimento. São melhor observados nas coníferas oriundas de clima temperado, sendo possível contabilizar a idade da árvore pela quantidade de anéis. Estes anéis constituem o lenho, que por sua vez é dividido em alburno e cerne.

O alburno é a parte mais externa do lenho, de coloração clara, composto por células vivas que conduzem o fluxo ascendente de fluidos (xilema). Em termos mecânicos, por ser menos denso e mais permeável que o cerne, é menos resistente e, portanto, evitado quando possível para uso estrutural. Uma vantagem, no entanto, é a melhor resposta à permeabilidade dos tratamentos.

O cerne é, de modo simplório, a madeira em si. É responsável pela sustentação da árvore, donde advém sua resistência mecânica. Constituído majoritariamente de células parenquimáticas, de coloração mais escura, possui maior densidade, sendo assim menos suscetível ao ataque de micro-organismos xilófagos. Para a construção civil, esta é a parte que importa da madeira.

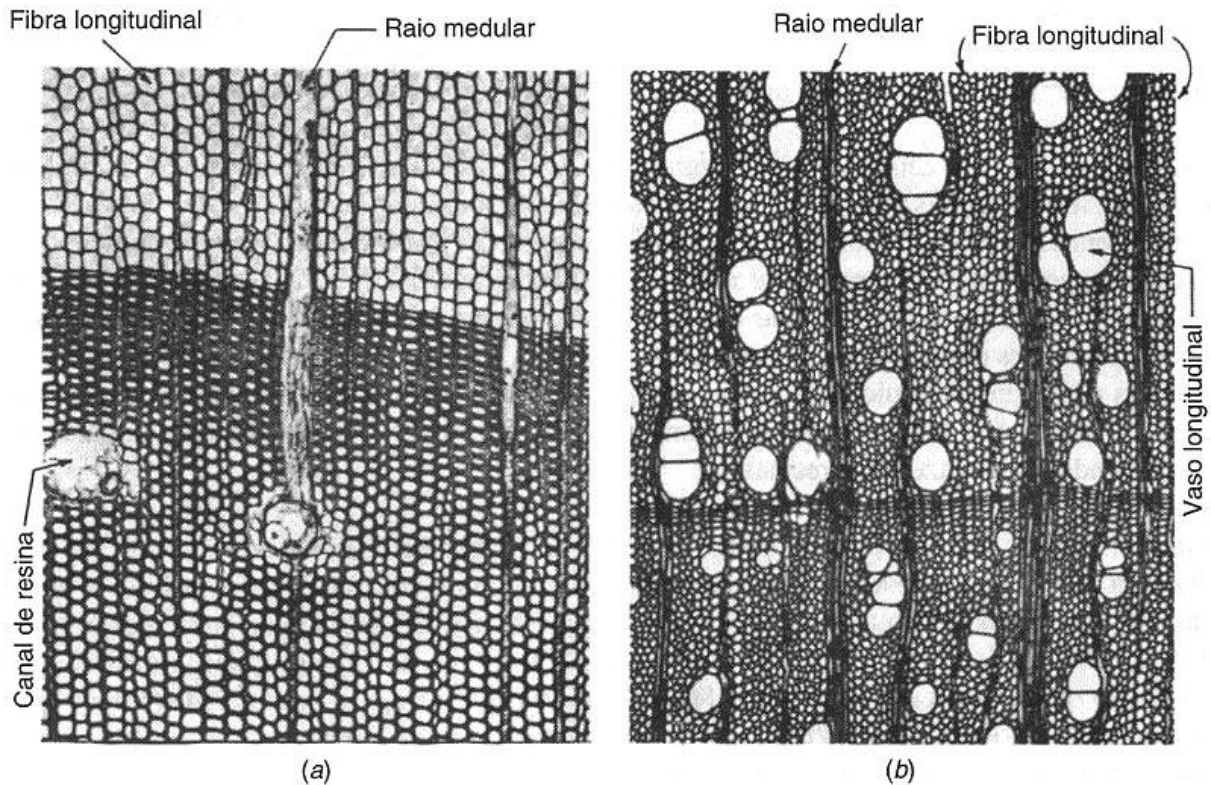
Por fim, no centro do tronco se encontra a medula, de tecido mole e pouco resistente, por onde ocorre o crescimento primário nos lenhos jovens. Atravessando perpendicularmente essas camadas estão os raios medulares, para transporte horizontal e armazenamento de nutrientes.

3.1.2 Microestrutura

Sendo um material orgânico, a madeira é constituída basicamente de três substâncias: celulose, hemicelulose e lignina, respectivamente nas proporções médias de 50%, 20%-25% e 20%-30%, além de pequenas quantidades de sais e extrativos (0,2%-1%). Em nível microscópico estão as células da madeira. Devido seu aspecto alongado e fino, de variado comprimento, são chamadas fibras (para as folhosas) ou traqueídes (para as coníferas). As dimensões variam entre 10 e 80 micra de diâmetro, com 2 a 7 micra de espessura das paredes celulares, e 1 a 8 mm de comprimento (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 3).

As gimnospermas possuem uma estrutura anatômica mais simples que as angiospermas (FIGURA 10). Os traqueídes são o elemento portante e compõem até 95% do total (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 14). São como tubos vazados, através dos quais são transportados os fluídos. Nas angiospermas as fibras são fechadas e os fluidos são conduzidos por fora, através de outras células maiores e vazadas sem função portante.

Figura 10 – Seção transversal ampliada de conífera (a) e dicotiledônea (b).



Fonte: www.estácio.webaula.com.br

A configuração anatômica fibrilar das madeiras cria um material de excepcional desempenho. Como afirma Pfeil e Pfeil (2003, p. 3), o formato oco de seção retangular ou arredondado das fibras confere a excelente relação resistência/peso da madeira.

3.2 Crescimento

As árvores, como organismos vivos, têm seu crescimento gerado pela produção de células nos tecidos meristemáticos. O crescimento das árvores se dá através de duas fases, que ocorrem simultaneamente:

- a) crescimento primário, onde a árvore cresce em altura (sentido axial);
- b) crescimento secundário, no qual o diâmetro aumenta e promove a sustentação do vegetal (sentido radial).

Os meristemas apical e cambial agem em conjunto, modelando o tronco como uma série de cones sobrepostos. São muito suscetíveis às variações climáticas, motivo pelo qual são formados os anéis de crescimento (BURGER; RICHTER, 1991, p. 34).

3.3 Propriedades organolépticas

A madeira possui determinadas características que afetam os sentidos humanos: cor, odor, sabor, grã, textura, brilho e desenho. São propriedades normalmente relacionadas à estética, agregando valor decorativo e ornamental, e permitem que elementos de madeira agradem a pessoas de diversas culturas e gostos. Na arquitetura, as construções em madeira, em detrimento da frialidade das pedras – nesse contexto, também do concreto e do aço – e das argilas, têm uma vantagem sensorial, provocando sensação de aconchego, calor e de contato com a natureza (STUNGO, 2001).

A cor natural da madeira é uma função das substâncias orgânicas impregnadas nas paredes celulares, e costuma se alterar ao longo do tempo, pela variação da umidade, exposição ao ar e ao sol ou ataque de fungos. Segundo Burger e Richter (1991, p. 40), a toxicidade dos corantes, taninos e resinas inibe a ação de micro-organismos, proporcionando maior durabilidade às madeiras escuras.

O odor se deve às substâncias voláteis contidas nas paredes celulares e tende a diminuir com o tempo. Conforme a espécie, pode ser agradável ou não ao olfato. Nas celebrações da liturgia católica é comum a utilização do incenso, uma fumaça de agradável odor, símbolo de reverência e oração, produzido a partir da seiva de determinadas árvores aromáticas resinosas (SAGRADA..., 1992).

Associada ao odor, pela mesma origem, o sabor da madeira auxilia na identificação da espécie, mas tal prática é desaconselhada pelo risco de intoxicação. Estruturalmente, não tem qualquer relevância. O vinho, elemento essencial no rito católico, tem uma relação antiga com a madeira. A produção de certos tipos de vinhos exige o seu armazenamento em barris de carvalho durante o tempo de maturação da bebida, o que confere características peculiares – o chamado vinho amadeirado – que são apreciadas pelos enófilos.

A grã diz respeito à orientação e arranjo das fibras em relação ao eixo axial, e pode ser:

- a) direita ou reta, tipicamente normal, na qual ocorrem menores deformações decorrentes da secagem e contribui para uma maior resistência mecânica;
- b) irregular, quando há inclinações ou distorções – em espiral, entrecruzada, ondulada, diagonal ou oblíqua.

A textura, conforme Burger e Richter (1991, p. 47), é o efeito gerado pelas dimensões, distribuição e quantidade dos elementos constituintes do lenho, sensível ao tato, sendo encontradas madeiras com texturas do tipo grosso, médio e fino.

O brilho das madeiras é ocasionado pelo grau de reflexão da luz em sua superfície. Seu valor é de caráter estético, sendo usadas madeiras de diferentes brilhos de acordo com a harmonia e a proposta arquitetônica.

O desenho é o resultado visual da combinação dos elementos do lenho, criando geometrias variegadas e únicas, como uma “impressão digital” da madeira. Burger e Richter (1991, p. 47) comentam que desenhos atraentes são gerados, na verdade, por anormalidades presentes na face em questão, como grãos irregulares, nós, deposições irregulares de corantes, troncos aforquilhados, excentricidades e distorções. O desenho é uma característica marcante e agradável do material, valorizada a ponto de ser reproduzida em outros materiais, como revestimentos cerâmicos, papéis de parede e plásticos que imitam a madeira e são muito comuns nas construções atuais.

3.4 Propriedades físicas

No aspecto físico, a madeira possui importantes propriedades que precisam ser compreendidas para um desempenho estrutural adequado do material.

3.4.1 Umidade

A umidade é uma característica peculiar e crucial para a madeira. Também encontrado como grau de umidade ou teor de umidade em alguns autores, o termo é usado para se referir à quantidade de água presente num determinado volume de madeira, em função dos pesos desse volume no momento da medição e quando totalmente seco.

O procedimento padrão para a determinação da umidade é normalizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), através da secagem em estufa. É um procedimento laboratorial que demanda um tempo considerável, de modo que, na prática (em indústrias e obras), são feitas estimativas expeditas através de equipamentos que mensuram a condutividade elétrica do material.

A água está presente na madeira de duas formas:

- a) como água livre ou de capilaridade, que se encontra nos lumes (dentro do vazio das fibras) e cuja evaporação é mais rápida;
- b) como água de impregnação ou de adesão, que se encontra no interior das paredes celulares e é mais difícil de ser removida.

Em geral são adotados certos valores de umidade como pontos de referência. O ponto de saturação (PS) é atingido quando a água livre foi evaporada, cujo valor se situa entre 20% e

30% de umidade, sendo a que a NBR 7190 o fixa em 25%. A umidade de equilíbrio (UE) designa o teor padrão que é relativamente estável nas condições de umidade relativa do ar de 65% e temperatura ambiente de 20°C, que a NBR 7190 preconiza em 12% de umidade.

A umidade varia muito conforme a espécie e a densidade da madeira, parâmetro que se mostra ainda mais oscilante na madeira verde ou recém-cortada (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 4). Dada a natureza higroscópica do material, a variação da umidade é constante – o clima e o ambiente são fatores críticos.

Como a umidade tem uma severa influência nas propriedades em geral, o processo de secagem é imprescindível para adequado desempenho do material, evitando deformações e ataque de xilófagos, além de facilitar a logística de transporte (reduzindo custos devido ao excesso de água).

3.4.2 Densidade

Densidade designa a relação peso/volume de uma substância. No caso da madeira, por ser um material heterogêneo e higroscópico, são considerados três tipos de densidade:

A densidade real considera o volume de madeira descontado de seus vazios. Esse dado, no entanto, não é normalmente utilizado para a caracterização de rotina do material, mas para estudos experimentais (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 27).

A densidade básica considera a razão entre a massa seca e o volume saturado, com todos os vazios preenchidos por água.

A densidade aparente é a relação entre massa e volume numa determinada umidade, geralmente a condição da UE de 12%.

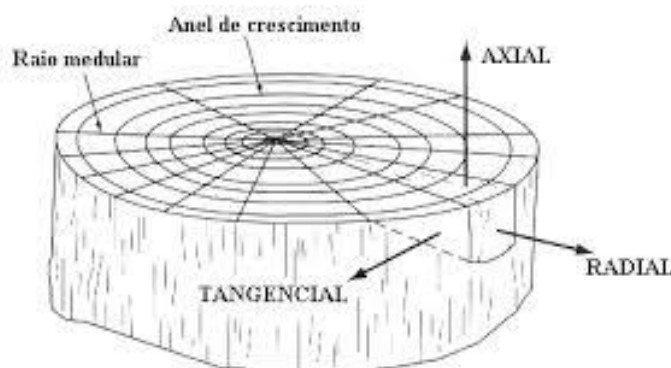
Sendo a densidade fortemente influenciada pela umidade, a manutenção de um nível de equilíbrio de água (UE) favorece a padronização e previsão do comportamento da madeira quando solicitada, considerando que, para o dimensionamento, a densidade é determinante do peso próprio da estrutura.

3.4.3 Anisotropia

Diferentemente do aço e do concreto, a título de exemplo, materiais considerados isotrópicos, isto é, apresentam a mesma resposta a ações independente da direção de aplicação, a madeira se comporta de maneira diferente. Essa propriedade é também chamada ortotropia.

Apresentando três direções principais – axial ou longitudinal, radial e tangencial – em relação ao eixo do tronco e ao sentido de disposição das fibras (FIGURA 11), e uma significativa diferença no comportamento mecânico entre tais, é fundamental que sejam corretamente identificadas para o correto desempenho do material.

Figura 11 – Desenho esquemático da anisotropia da madeira.



Fonte: www.pet.ecv.ufsc.br

A direção axial, por vezes chamada longitudinal, coincide com a orientação natural das fibras da madeira. É denotada como direção paralela e, na simbologia de cálculo, representada pelo índice 0 (sem inclinação). As direções radial e tangencial, quando comparadas à axial, tem magnitude semelhante e não se faz distinção entre elas, sendo denotadas como direção perpendicular ou normal e representadas pelo índice 90 (90 graus de inclinação entre as fibras e a ação solicitante). Para solicitações inclinadas, muito comuns em estruturas treliçadas, são adotados valores intermediários obtidos pela expressão de Hankinson, conforme NBR 7190.

3.4.4 Variação dimensional

A variação da umidade entre o PS e a UE e da temperatura provocam instabilidade dimensional na madeira. Dada sua anisotropia, esse fenômeno acontece em proporções diferentes em cada direção. A retração ou o inchamento são devidos à umidade e seus valores percentuais são descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Porcentagens de retração.

Direção	Retração total (%)
Axial ou longitudinal	0,1 a 0,9
Radial	2,4 a 11,0
Tangencial	3,5 a 15,0
Volumétrica	6,0 a 27,0

Fonte: Galvão e Jankowski (1985) apud Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 31).

Embora a diferença de resistência nas direções radial (R) e tangencial (T) possa ser desprezada, o mesmo não pode ser dito quanto à retração nessas direções. Essa relação é expressa pelo fator T/R, um indicador utilizado para identificar espécies de árvores que apresentem desempenho tão melhor quanto menor for o quociente obtido. Os valores de T/R de espécies comuns podem ser retirados da NBR 7190.

Quanto à temperatura, as madeiras apresentam coeficiente de dilatação linear da ordem de $0,3 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ a $0,45 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ na direção paralela e de $4,5 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ (madeiras duras) ou $8,0 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ (madeiras macias) na direção normal às fibras, sendo, comparativamente, 4 a 7 vezes maior que o coeficiente de dilatação do aço (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 6).

3.4.5 Deterioração

Por ser um material orgânico, a madeira é vulnerável ao ataque biológico, que acontece em variados graus conforme três condições principais, de acordo com Pfeil e Pfeil (2003, p. 6):

- a) camada do tronco (o alburno é mais suscetível que o cerne);
- b) a espécie da madeira;
- c) a condição em que se encontra a madeira no ambiente.

O contato da água com a madeira pode provocar situações indesejadas. O acúmulo de água no material pode criar condições favoráveis ao crescimento de agentes deterioradores e, assim, promover a redução da sua vida útil.

Os projetos de construções em madeira devem seguir uma premissa básica: isolar e proteger, tanto quanto for possível, os elementos estruturais do contato com a água. As táticas mais comuns são o uso de beirais largos e o apoio das peças sobre elementos metálicos nas bases dos pilares. Diversas outras estratégias podem ser adotadas, conforme a criatividade dos projetistas e construtores, para garantir a durabilidade do material e evitar sua deterioração precoce.

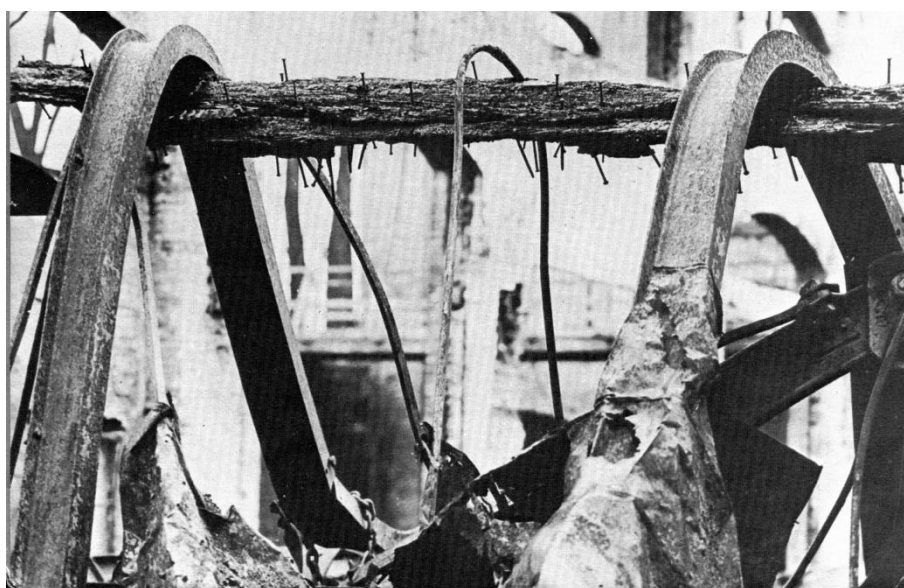
3.4.6 Resistência ao fogo e combustibilidade

O fogo é outro agente de deterioração da madeira. De fato, a madeira é um material combustível, mas isso não implica em baixa resistência ao fogo. Diversos eventos de incêndios ao longo da história em estruturas provisórias, movelaria e pequenas peças de madeira, aliados ao fato do material ser utilizado como combustíveis de fornalhas, contribuíram para criar um sentimento de insegurança nas pessoas quanto à vulnerabilidade de uma estrutura de madeira perante as chamas.

Entretanto, a madeira apresenta um excelente desempenho sob a ação do fogo, considerando peças devidamente dimensionadas e construídas. Como afirmam Pfeil e Pfeil (2003, p. 6), peças robustas de madeira são consumidas lentamente devido à baixa condutividade térmica, criando uma “casca” carbonizada em torno do núcleo íntegro, com propriedades mecânicas inalteradas, por um longo período de tempo. Essa resistência natural ainda pode ser otimizada com tratamentos químicos e aplicação de retardadores de fogo.

A Figura 12 apresenta uma imagem, muito conhecida no meio acadêmico, que ilustra o argumento dos autores citados. Nela, é possível perceber que o calor do incêndio ocasionou o escoamento dos componentes metálicos, levando-os ao colapso. Porém a viga de madeira, mesmo carbonizada e parcialmente destruída, consegue sustentar o metal, além do peso próprio.

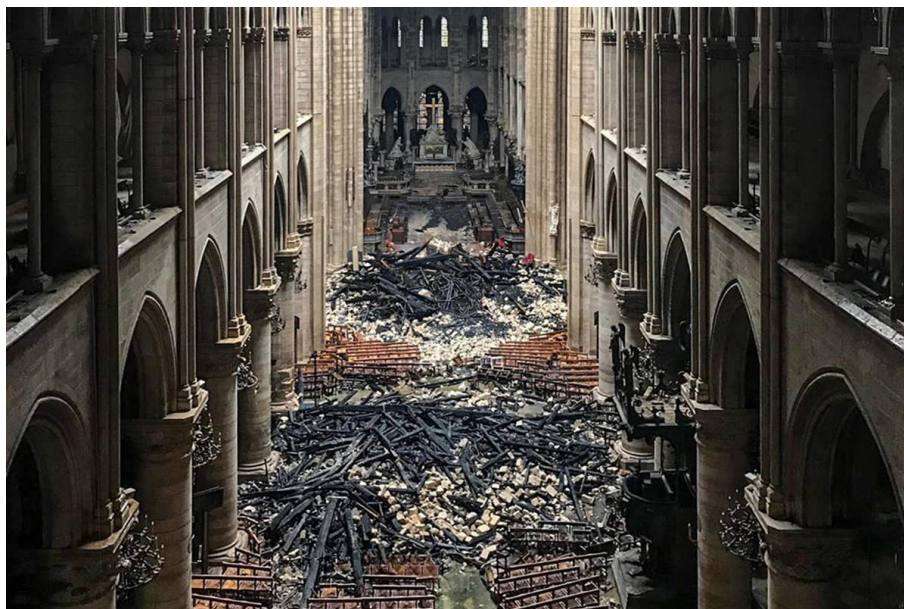
Figura 12 – Vigas de madeira e de aço após incêndio.



Fonte: www.madeiraestrutural.wordpress.com

Um exemplo recente de incêndio de grandes proporções acometeu a Catedral de Paris, em abril de 2019, enquanto passava por reformas, destruindo a torre central, conhecida como flecha, e grande parte de sua cobertura (FIGURA 13).

Figura 13 – Peças de madeira carbonizadas na Catedral Notre Dame de Paris, França.



Fonte: www.orepublica.com.br

O telhado de madeira desabou, no entanto, nota-se na imagem que as grandes peças não foram completamente consumidas pelo fogo, mantendo em seu interior parte da seção com madeira ainda sã.

3.4.7 Defeitos das madeiras

A madeira pode ser acometida de defeitos, que podem ter origem natural, durante o seu crescimento, advindos de agentes biológicos ou oriundos do processo de beneficiamento do material. Os exemplos mais comuns são:

- a) presença de nós: regiões de desvio de fibras, com redução de resistência da peça;
- b) fendas: aberturas ou rachaduras ocasionadas por secagem rápida e desuniforme;
- c) gretas: segregação entre os anéis de crescimento devido a tensões internas ou forças externas, quando em serviço;
- d) tortuosidades: desvios significativos do eixo de crescimento da árvore que comprometem o uso estrutural;

- e) encurvamentos, abaulamentos, torcimentos e arqueaduras: deformações e distorções geométricas geradas nas peças no sentido longitudinal ou transversal, devido a secagem inadequada;
- f) fibras reversas: quando as fibras não estão paralelas ao plano de corte da peça;
- g) perfurações: causadas por insetos xilófagos;
- h) manchas e podridões: causadas por fungos.

Excetuando os defeitos naturais, sobre os quais o controle é baixo, muitos defeitos podem ser evitados ou minimizados através de processos mais eficientes e controlados de secagem e aparelhamento das peças de madeira, bem como do cuidado no armazenamento.

3.5 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas estão basicamente relacionadas à resistência e rigidez do material. Pela anisotropia da madeira, a orientação das fibras é determinante para a obtenção de maiores resistências. A obtenção dos valores característicos das resistências é realizada através de ensaios, normalizados pela NBR 7190.

A caracterização completa do material, conforme indicações da NBR 7190, requer que sejam determinadas as seguintes propriedades:

- a) quanto à resistência:
 - à compressão paralela ($f_{c,0}$) e normal ($f_{c,90}$) às fibras;
 - à tração paralela ($f_{t,0}$) e normal ($f_{t,90}$) às fibras;
 - ao cisalhamento (f_v);
 - ao embutimento (f_e);
 - densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente ($\rho_{aparente}$), considerando 12% de umidade;
- b) quanto à rigidez:
 - módulo de elasticidade na compressão paralela ($E_{c0,m}$);
 - módulo de elasticidade na compressão normal ($E_{c90,m}$).
- c) e outras propriedades adicionais:
 - estabilidade dimensional (retração e inchamento);
 - flexão com choque;
 - fendilhamento;
 - dureza.

3.5.1 Resistência à compressão

A madeira possui uma melhor resposta à compressão na direção paralela às fibras do que na direção normal. Os valores de resistência na compressão normal são da ordem de $\frac{1}{4}$ (um quarto) ou 25% da compressão paralela (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 38). A razão de tal fenômeno pode ser explicada observando a madeira como um feixe de fibras: por ser a direção de menor inércia, ocorre o esmagamento das fibras no sentido perpendicular a elas.

Numa comparação direta, as madeiras apresentam uma faixa de resistência que varia entre 20 MPa e 60 MPa, enquanto o concreto convencional dificilmente ultrapassa 40 MPa de resistência. Isto significa que uma estrutura de madeira pode ser mais resistente que uma estrutura convencional de concreto armado.

3.5.2 Resistência à tração

A madeira quando solicitada à tração apresenta comportamento diferenciado para cada direção de orientação das fibras ou dos traqueídes. Na direção paralela, são necessários elevados esforços para ocorrer rompimento por deslizamento ou por ruptura da parede. Porém, quando solicitada à tração na direção normal, existe uma grande tendência de separação das fibras, pois não há muitos elementos que promovam sua coesão nessa direção, reduzindo muito sua capacidade resistente. Isso pode ser compreendido numa analogia a um feixe de canudos plásticos: eles apresentam resistência se tracionados no sentido do seu comprimento, mas são facilmente separados se puxados radialmente. Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 31) recomendam que essa configuração deve ser, portanto, evitada em projetos.

O concreto é conhecidamente um material que possui baixíssima resistência à tração, cerca de um décimo da resistência à compressão, cuja aplicação em situações onde atuam forças de tração somente se dá em associação com o aço, gerando o concreto armado. A madeira, no entanto, possui bom comportamento quando tracionada, com valores de resistência de cálculo praticamente idênticos aos de compressão. Algumas espécies suportam esforços da ordem de 60 MPa, inclusive esforços ainda mais elevados, o que se traduz em uma resistência, em média, até 30 vezes superior ao concreto.

O aço possui uma resistência altíssima, porém associado a um elevado peso da estrutura. Conforme a tipologia construtiva a ser adotada, a madeira se torna vantajosa pela leveza, sem deixar de atender adequadamente aos esforços requeridos.

3.5.3 Resistência ao cisalhamento

São observados três tipos de cisalhamento característicos nas peças de madeira:

- a) quando o plano de ruptura é perpendicular às fibras, o material apresenta uma alta resistência, de modo a entrar em colapso primeiramente devido à compressão normal que gera um esmagamento das fibras;
- b) quando o plano de ruptura é paralelo às fibras e a tensão é normal, ocorre o chamado cisalhamento *rolling*, que faz as fibras rolarem entre si, tal como descrito por Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 40);
- c) quando o plano de ruptura e a tensão são paralelos às fibras, ocorre o cisalhamento horizontal, no plano de menor resistência da madeira.

Para peças que, em serviço, estarão sujeitas a esforços cortantes, a melhor configuração corresponde ao primeiro tipo, cujas fibras estão perpendiculares ao plano de ruptura. É interessante notar que essa configuração ocorre naturalmente para peças que estão solicitadas à tração ou compressão no sentido ortogonalmente oposto, como em ligações entre pilares e vigas, de forma que as fibras, estando orientadas para resistir à tração ou compressão em um sentido, também terão a melhor disposição para resistir ao cisalhamento no sentido perpendicular a esse.

3.5.4 Resistência à flexão simples

A flexão simples em peças de madeira acarreta a ocorrência de outras tensões: surgem compressões e trações nos bordos opostos à linha neutra, juntamente com o cisalhamento horizontal devido à tendência de escorregamento das fibras. Desse modo, a resistência à flexão simples na madeira se dá por combinação das demais. Quando fletidas, a probabilidade é que a ruptura na peça se dê por tração na região abaixo da linha neutra, devido à redução de área resistente após o surgimento de minúsculas falhas de compressão na região acima da linha neutra (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 41).

3.5.5 Módulo de elasticidade

Esse parâmetro representa a rigidez da madeira e é obtido no ensaio de compressão, correspondendo, em termos matemáticos, à inclinação da curva tangente na região elástica do diagrama tensão-deformação característico do material.

O módulo de elasticidade da madeira varia – em função da espécie e da umidade, principalmente – entre 3, 5 GPa e 24,5 GPa, sendo 13 GPa um valor mediano, conforme NBR 7190. É um valor baixo, em comparação ao concreto e ao aço, o que significa que é bem mais flexível, estando sujeito, portanto, a maiores deformações e deslocamentos. Entretanto, essa desvantagem se torna favorável quando se considera a absorção de choques e impactos, situações em que a madeira tem melhor desempenho.

3.6 Propriedades térmicas

Em ambientes com grande quantidade de pessoas, como em igrejas e locais de reunião de público, essas propriedades assumem uma importância vital para o conforto e o bem-estar físico dos indivíduos. A madeira possui basicamente quatro propriedades térmicas: condutividade térmica, calor específico, transmissão térmica e coeficiente de dilatação térmica, esse último já mencionado no tópico 3.4.4.

A condutividade térmica da madeira diz respeito à sua capacidade de conduzir calor, ou, de modo técnico, é a medida do fluxo de calor quando submetida à um gradiente de temperatura. Por ser um material poroso, a sua condutividade é baixa, cujo coeficiente λ vale 0,12, o que a torna um bom isolante térmico. O caráter anisotrópico do material confere à direção axial 2,25 a 2,75 vezes maior condutividade térmica, característica que nas direções radial e tangencial quase não se difere. O parâmetro é ainda influenciado pela densidade, umidade e temperatura ambiental (MORESCHI, 2012).

Em uma edificação, o isolamento térmico favorece o conforto ambiental e reduz a necessidade de equipamentos de controle de temperatura. Para construções de madeira, Moreschi (2012, p. 82) afirma que as normas técnicas exigem valores mínimos do coeficiente de resistência à transmissão térmica ($1/k$), calculado a partir da condutividade térmica, para o isolamento térmico dos ambientes.

O calor específico designa a capacidade de aquecimento de um material em comparação à água. O calor específico da madeira seca é de 0,324 kcal/kg°C, superior aos metais, ao concreto e ao ar, corroborando sua característica isolante. Esse valor é aumentado conforme a umidade, pela absorção de energia térmica adicional devido à água (MORESCHI, 2012).

A transmissão térmica se refere à rapidez com o material absorve calor do ambiente. Na madeira, esse coeficiente é muito baixo, o que a torna um material muito agradável ao toque. Segundo Moreschi (2012, p. 85), a transmissão térmica é relevante para a secagem, tratamento e laminação das madeiras, implicando na eficiência desses processos.

3.7 Propriedades acústicas

Nas igrejas, a comunicação é fundamental. O grande número de pessoas gerando ruídos, somado às perturbações externas, promove um ambiente de distorção sonora que dificulta o entendimento do que está sendo dito ou cantado. Esse fato é frequentemente observado em muitas igrejas, que costumam contornar o problema com equipamentos de som potentes de volume alto, o que é prejudicial à saúde auricular das pessoas. Sendo locais destinados à oração, o silêncio é essencial para que as pessoas consigam se conectar com o transcendente, e qualquer barulho é suficiente para distrair e desconcentrar. Nesse quesito, a madeira fornece propriedades relevantes para a melhoria acústica dos espaços sagrados, já muito utilizada como revestimento de paredes e forros visando o conforto sonoro.

A acústica dos ambientes é função da relação entre os sons refletidos e absorvidos, do grau de absorção de som dos materiais presentes e da sua disposição geométrica no ambiente, que influenciam na frequência e no ângulo de reflexão do som. O grau de absorção da madeira a qualifica, em detrimento de outros materiais de construção, como um bom atenuador das ondas sonoras propagadas pelo ar, absorvendo mais as frequências baixas e proporcionando mais qualidade ao som (MORESCHI, 2012, p. 95).

Quanto à propagação do som por meio sólido, a madeira por si só tem um desempenho deficitário, devido à pouca massa constituinte do material (menor densidade), sendo superada pelos materiais de construção convencionais como tijolos e concreto (maior densidade). Essa condição, no entanto, é solucionada com a intercalação de materiais isolantes ou ar no interior das paredes de madeira, o que reduz as oscilações e, conseqüentemente, a propagação sonora (MORESCHI, 2012).

3.8 Projeto de estruturas de madeira

Na concepção e execução de uma edificação é de extrema importância o projeto estrutural, sendo, pois, o instrumento que irá garantir a segurança estrutural e o seu adequado desempenho. Traduzindo em termos práticos, o projeto estrutural é a garantia que a estrutura, nas condições previstas, será capaz de suportar seu peso e as ações externas – como vento, cargas variáveis e impactos – sem entrar em colapso (ruína total ou parcial), se fragmentar ou sofrer grandes deslocamentos e vibrações, evitando danos à própria estrutura e àquilo que nela estiver instalado, proporcionando conforto e proteção aos seus usuários.

O projeto estrutural proporciona ainda inúmeras vantagens, como por exemplo:

- a) compatibilidade entre os elementos estruturais e a arquitetura concebida para o local;
- b) adequação da estrutura ao solo e demais condições ambientais;
- c) correta execução da obra;
- d) economia nos custos e racionalidade dos processos construtivos;
- e) resguardo da responsabilidade legal dos engenheiros e executores perante os órgãos fiscalizadores.

Desta forma, depreende-se que o uso estrutural da madeira não pode ocorrer de forma empírica, mas precisa seguir as normativas construtivas.

3.8.1 Normalização técnica

De um material de construção para uso estrutural são requeridos valores mínimos e atendimento de determinadas condições. No Brasil, os critérios de dimensionamento são estabelecidos pela NBR 7190/1997: Projeto de Estruturas de Madeira, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Como apoio, os engenheiros utilizam normas estrangeiras, como a europeia Eurocode 5 (1996), a alemã DIN 1052/2008 e a norte-americana NDS (1997), além de normas de outros países com cultura de construção em madeira, com as devidas adaptações às condições climáticas brasileiras.

Também outras normas técnicas são utilizadas durante o processo de cálculo, tendo em vista a grande quantidade de parâmetros que devem ser considerados, a saber:

- a) NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento;
- b) NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- c) NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações;
- d) NBR 6123:1988 (corrigida em 2013) – Forças devidas ao vento em edificações;
- e) NBR 7808:1983 – Símbolos gráficos para projetos de estruturas;
- f) NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

3.8.2 Filosofias de cálculo

Existem duas filosofias de cálculo que podem ser aplicadas às estruturas, independente do material considerado: o método das tensões admissíveis e o método dos estados limites.

O dimensionamento no método das tensões admissíveis considera a máxima tensão solicitante ($\sigma_{m\acute{a}x}$), à qual o elemento pode ser submetido, que não ultrapassa a tensão resistente da seção considerada (f_{rk}), minorada por um coeficiente de segurança (γ). Essa relação é descrita pela equação 1:

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq \frac{f_{rk}}{\gamma} \quad (1)$$

Esse método é pouco utilizado para estruturas de madeira, já que ele possui a limitação de considerar todas as incertezas através de um único coeficiente global, gerando uma tendência ao superdimensionamento na garantia de segurança estrutural (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 40).

Já o método dos estados limites considera coeficientes específicos, de majoração ou de minoração, para cada variável de cálculo, de forma mais racional, otimizando o dimensionamento, onde a solicitação de projeto (S_d) deve ser inferior ou igual à resistência de projeto (R_d), como descreve a equação 2:

$$S_d \leq R_d \quad (2)$$

A solicitação de projeto é obtida através de combinação das ações atuantes, em maior ou menor grau conforme a intensidade e duração, majoradas por coeficientes normalizados. A resistência de projeto é o resultado da redução da resistência característica da seção transversal pelo coeficiente de minoração. Ou seja, os esforços são aumentados e a resistência reduzida de modo a criar uma faixa de segurança que garanta a estabilidade global da estrutura cujas incertezas são ponderadas individualmente e proporcionalmente à sua colaboração.

No método dos estados limites são previstas duas situações:

- a) estado limite último (ELU) – ponto a partir do qual o colapso estrutural é iminente, devido ao esgotamento da capacidade resistente;
- b) estado limite de serviço (ou de utilização) (ELS) – situação que, se ultrapassada, não provocará a ruína da estrutura, mas trará desconforto e insegurança aos usuários.

De modo geral, as estruturas são dimensionadas no ELU, assegurando sua estabilidade, e verificadas no ELS para permitir sua usabilidade.

3.8.3 Fatores de cálculo

Como já mencionado, as propriedades da madeira sofrem grande influência de fatores como o tipo de espécie e a umidade do material. Diferentemente das estruturas de aço ou concreto armado, o projeto de estruturas de madeira leva em conta um critério adicional no processo de dimensionamento, os chamados coeficientes de modificação (K_{mod}).

São três fatores:

- a) $K_{mod,1}$: considera a classe de carregamento e o tipo de madeira;
- b) $K_{mod,2}$: considera a classe de umidade e o tipo de madeira;
- c) $K_{mod,3}$: considera a categoria da madeira, isto é, se o material passou ou não por classificação visual e mecânica para garantir sua qualidade.

As tabelas dos coeficientes são fornecidas pela NBR 7190, além de recomendações para casos particulares. Por exemplo, para coníferas sempre se adota o valor de segunda categoria, pela possibilidade da existência de nós e imperfeições internas não identificáveis na inspeção.

O valor empregado é o produto dos três fatores, utilizado para reduzir as resistências de projeto e assegurar confiabilidade em vista das variações no material.

3.8.3.1 Classes de carregamentos

Como a definição dada por Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 31), “um carregamento é especificado pelo conjunto das ações que têm probabilidade não desprezível de atuação simultânea”. Para o cálculo, as ações são combinadas de modo a gerar a situação mais desfavorável para garantir o dimensionamento correto.

Um carregamento pode ser do tipo normal, quando são consideradas apenas as ações previstas para o uso à que a estrutura foi concebida; do tipo especial, quando são consideradas ações variáveis de intensidade diferente das normais e que possa superar os seus efeitos (cargas excedentes); do tipo excepcional, para ações de efeitos catastróficos, como abalos e sismos; ou de construção, devido ao trânsito de equipamentos ou procedimentos de elevação de peças pesadas que solicitem a estrutura ainda não finalizada e que possam levá-la ao colapso.

A NBR 7190 organiza os carregamentos em classes, conforme a duração acumulada da atuação na estrutura, sendo elas: permanentes (durante toda a vida útil), longa, média ou curta duração (de poucos dias até meses), e instantâneas.

Enquanto o concreto armado tem um comportamento não satisfatório para cargas de rápida atuação, como impactos, a madeira tem uma excelente resposta à essas situações. Logo,

nas combinações de ações de longa duração tendo o vento como variável principal, os valores podem ser reduzidos em 25% (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 38).

3.8.3.2 Classes de umidade

As condições do ambiente onde se encontra a construção podem variar intensamente em função do tempo e da geolocalização, de maneira que a umidade de equilíbrio da madeira nem sempre permaneça no valor de 12% estabelecido pelas normas técnicas. Assim, os valores são ajustados às condições reais conforme a classe de umidade, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de umidade.

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

Fonte: NBR 7190 (1997).

3.8.3.3 Classes de resistências

De forma a simplificar o processo de cálculo, a norma brasileira agrupa em classes as madeiras com propriedades semelhantes dentro de uma faixa de valores. Assim, na concepção da estrutura, o projetista não fica limitado a apenas as espécies escolhidas e caracterizadas, podendo utilizar peças de qualquer madeira que se adeque à classe adotada no projeto.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores normativos para as classes de resistência de madeira oriunda de coníferas e dicotiledôneas, respectivamente:

Tabela 3 – Classes de resistência das coníferas.

Classe	$f_{c,0k}$ (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C20	20	4	3500	400	500
C25	25	5	8500	450	550
C30	30	6	14500	500	600

Legenda: valores na condição padrão de referência U = 12%.

Fonte: NBR 7190 (1997).

Tabela 4 – Classes de resistência das dicotiledôneas.

Classe	$f_{c,0k}$ (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000

Legenda: valores na condição padrão de referência U = 12%.
Fonte: NBR 7190 (1997).

Das tabelas acima, é possível perceber, na magnitude dos valores, que a madeira alcança elevadas resistências que a capacitam como excelente material portante.

3.8.4 Dimensões mínimas permitidas

Visando atender aos padrões de comportamento e evitar deformações excessivas, a NBR exige que as seções transversais das peças de madeira atendam aos requisitos mínimos de espessura e área, como apresentado na Tabela 5, conforme o tipo de seção e função das peças.

Tabela 5 – Dimensões mínimas para seções retangulares.

Tipo	Seção	Espessura mínima (cm)	Área mínima (cm ²)	Seção mínima de menor espessura (cm x cm)
Peças principais	Simple	5	50	5 x 10
	Composta	2,5	35	2,5 x 14
Peças secundárias	Simple	2,5	18	2,5 x 7,5
	Composta	1,8	18	1,8 x 10

Fonte: NBR 7190 (1997).

Embora seja uma limitação à arquitetura, já que peças extremamente finas e esbeltas podem ser esteticamente agradáveis, esse parâmetro evita que, mesmo que uma seção inferior seja capaz de resistir às solicitações locais, a madeira se deforme demasiadamente ao longo do tempo devido ao fenômeno da fluência. Além disso, peças de maior seção transversal resistem melhor ao fogo.

3.8.5 Durabilidade

As edificações, salvo em casos objetivamente temporários, são concebidas para uma longa vida útil. Dessa forma, é imprescindível garantir a sua durabilidade, inclusive utilizando materiais de qualidade que não se deteriorem facilmente. Como a madeira é suscetível a diversos agentes ambientais, são necessárias precauções e artifícios para asseguram sua performance de modo constante ao longo do tempo.

Um projeto eficiente de estrutura de madeira deve abarcar três fatores:

- a) proteção contra água;
- b) tratamentos preservativos;
- c) inspeção e manutenção.

Como já citado, a água pode afetar negativamente a estrutura. Assim, a projeto da edificação deve prever meios de isolar a madeira do contato cíclico com a água, além de permitir que seja rapidamente escoada. A ventilação é essencial, tanto para a salubridade do ambiente e dos usuários quanto para a estrutura (SZÜCS et al., 2015, P. 69)

A madeira para construção deve ser tratada a fim de impedir sua deterioração mediante ataque de organismos xilófagos. Os tratamentos podem ser superficiais – aplicados nas faces do material, inclusive periodicamente para a manutenção – ou de impregnação, através de imersão (pressurizada ou não) em líquido conservativo.

A inspeção é importante para avaliar o estado contínuo da estrutura, permitindo a identificação de patologias em tempo hábil para sua recuperação. A manutenção das estruturas de madeira é salutar, sendo as principais ações a remoção de sujeira em cantos, frestas, calhas e drenos, o reparo de telhas e forros, a reaplicação periódica de pinturas e vernizes e a instalação de proteções adicionais onde for preciso (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 142). Os autores recomendam, ainda, que seja feito o registro das manutenções realizadas para controle.

3.9 Considerações

Face aos dados expostos sobre as propriedades apresentadas, infere-se que a madeira tem um grande potencial como material estrutural, cuja exploração no setor da construção civil brasileira ainda é incipiente e regionalizada no Sul do país. Ademais, o foco em sustentabilidade e preservação do planeta instigam o desuso de materiais e técnicas construtivas de alto impacto ambiental, gerando um nicho propício para o uso da madeira, mas que carece de incentivos e políticas públicas que facilitem sua aceitação e assegurem rentabilidade.

4 CONSTRUIR EM MADEIRA: TÉCNICAS E TIPOLOGIAS

A madeira é um material muito versátil, que permitiu a evolução das civilizações e de suas edificações, e com as quais também evoluiu: nas técnicas de desdobro e aparelhamento, nas técnicas de construção com o material, nas tipologias construtivas, nos formatos arquitetônicos, na manutenção e conservação, na industrialização, reconstituição e combinação com outros materiais, isso sem considerar os usos não estruturais, que são inúmeros.

Os tópicos a seguir fazem um apanhado geral do estado da arte da construção com madeira, apresentando os produtos madeireiros, as ligações estruturais, os sistemas construtivos e as principais técnicas de construção em madeira, com destaque para a madeira laminada colada e a técnica de sistema plataforma ou *wood light frame*, modelos modernos e tecnológicos de construção com grande valor arquitetônico agregado.

4.1 Produtos de madeira

Na extração da madeira, a matéria-prima requerida é obtida do tronco das árvores, cortado próximo ao solo e desbastado de seus galhos e folhas, geralmente nas épocas secas, quando a umidade está baixa. Esse processo pode ser realizado com ferramentas manuais, como serrotes, machados e motosserras, geralmente para pequenos volumes de madeira, ou com maquinário pesado, como colheitadeiras automáticas de alta produtividade.

Para a construção existem duas categorias de produtos de madeira disponíveis no mercado: madeiras maciças (FIGURA 14) e madeiras industrializadas (FIGURA 15).

Figura 14 – Seções de madeira maciça.



Fonte: www.estacio.webaula.com.br

Figura 15 – Exemplos de madeira industrializada.



Fonte: www.estacio.webaula.com.br

Os produtos de madeira maciça, como diz o nome, são compostos de seções inteiras do material puro, em diferentes geometrias. Já as industrializadas utilizam pedaços, lascas, partículas e fibras de madeira para confeccionar novos produtos, por vezes combinados com outros materiais vegetais e minerais.

4.1.1 Madeira roliça

Às toras inteiriças dá-se o nome de madeira bruta ou roliça, muito utilizadas para estacas, postes e escoramentos. São comuns em estruturas temporárias, face ao mínimo processamento realizado, ou que desejam apresentar um aspecto rústico na arquitetura. No Brasil, as madeiras mais utilizadas em forma bruta são o pinho-do-paraná e os eucaliptos (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 9).

Um detalhe a que se deve atentar: as madeiras roliças utilizadas ainda verdes, isto é, sem uma secagem adequada, tendem a rachar nas extremidades, onde a água é removida mais rapidamente, devendo ser impermeabilizadas e fisicamente estabilizadas com peças metálicas.

4.1.2 Madeira falquejada

As peças de madeira falquejada são conformadas à uma geometria prismática esbelta por golpes de machado. Segundo Abreu et al. (2010), foi muito utilizada nas edificações históricas brasileiras, constituindo a chamada estrutura autônoma de madeira, autoportante. Outra aplicação comum são os dormentes de sustentação de trilhos ferroviários.

4.1.3 Madeira serrada

A maior parte das peças de madeira maciça são serradas. As toras são cortadas, num processo denominado desdobramento, em várias peças de dimensões diversas conforme o diâmetro de sua seção, dentro dos padrões comerciais. Em seguida, são dispostas para a secagem, ao ar ou mecanizada, processo que necessita de controle tecnológico para garantir a qualidade e durabilidade do produto.

A madeira serrada apresenta limitações geométricas decorrentes do tamanho da tora. Em geral, as toras são cortadas com 4 m ou 6 m, em razão da logística de transporte. (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 11).

4.1.4 Madeira compensada

A madeira compensada é composta pela colagem e prensagem de várias lâminas finas, dispostas em direções alternadas (o que reduz o comportamento anisotrópico). São formados painéis que, conforme a espessura e o tipo de adesivo empregado, são destinados à indústria moveleira e à construção civil, dentre outros. Várias técnicas construtivas em madeira utilizam a madeira compensada para vedação das paredes e dos pisos e forros, devidamente fabricadas para tal uso.

Apresenta vantagens sobre as madeiras maciças, tais como: confecção de folhas de grandes dimensões, redução de defeitos e deformações, aumento de resistência na direção normal pelo cruzamento das fibras e possibilidade de alocar material de maior resistência nas faces externas, o que proporciona aumento da rigidez. Todavia, o processo industrializado, que exige equipamentos de alta tecnologia e agrega valor ao produto, eleva o seu preço (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 13).

4.1.5 Painéis de madeira reconstituída ou recomposta

A partir de resíduos de madeira, reaproveitados das sobras de desdobro ou produzidos para tal fim, colados e prensados, foram desenvolvidos muitos produtos, os chamados painéis de madeira recomposta. Qualquer material lignocelulósicos que proporcione resistência mecânica e peso específico suficientes é passível de uso para a confecção de painéis (ROWELL et al., 2000).

Dos diversos tipos de painéis existentes atualmente, muitos são fruto de pesquisas científicas realizadas nas universidades brasileiras, que tencionam melhorar suas propriedades pela adição de resíduos sólidos da construção civil e do agronegócio, ou ao menos dar uma destinação mais nobre e ambientalmente correta a esses resíduos que o simples descarte.

Podem ser definidas duas categorias: painéis de partículas e painéis de fibras. Alguns exemplos são apresentados a seguir.

4.1.5.1 Painéis de partículas de madeira

São feitos basicamente de pedaços de madeira aglutinados com adesivos e prensados a frio ou a quente. A variação dos parâmetros dá origem a diferentes produtos. Como exemplos, os painéis aglomerados de baixa, média e alta densidade, e os painéis cimento-madeira (BENADUCE, 1998).

Os painéis OSB (em tradução livre, painel de tiras de madeira orientadas), muito utilizados na construção civil norte-americana e europeia em aplicações estruturais, inclusive no sistema plataforma, são outro exemplo de painéis de partículas. Seu uso ocorre em vedações de paredes, almas de vigas compostas e revestimento de paredes e coberturas, e são mais eficientes e baratos que os aglomerados (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 15).

4.1.5.2 Painéis de fibras de madeira

Confeccionados de modo semelhante, porém são utilizadas fibras refinadas, produzindo chapas mais coesas e densas. O MDF (medium density board) é um exemplo muito conhecido, largamente utilizado na indústria moveleira, pela sua resistência e durabilidade, cuja aparência lembra uma madeira sólida, ainda com as estampagens realistas que otimizam o aspecto estético do material.

4.1.6 Madeira laminada colada (MLC)

A madeira laminada colada é um produto constituído de lamelas (finas tábuas ou lâminas) coladas sob pressão para formar perfis de diversas geometrias e dimensões. Dada sua relevância para este trabalho, será melhor abordada nos próximos tópicos.

4.1.7 Madeira laminada cruzada (CLT)

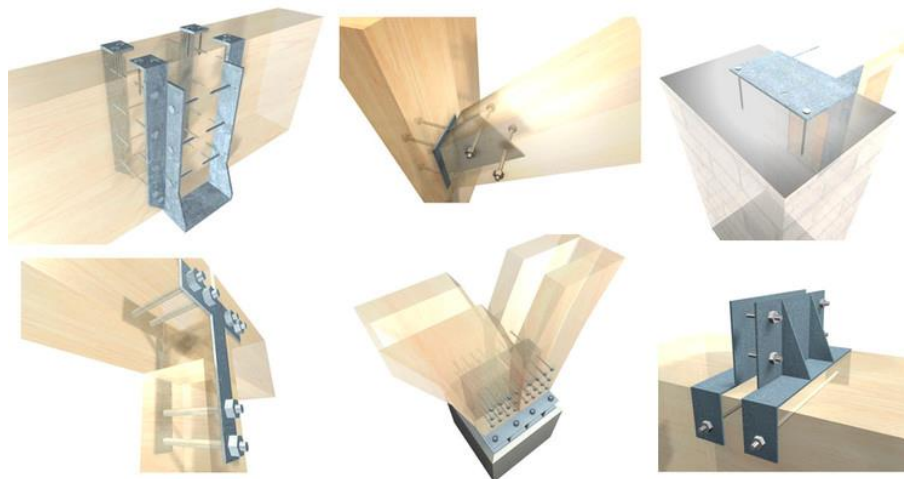
A madeira laminada cruzada é uma combinação dos conceitos de madeira laminada colada e painéis compensados, criando chapas espessas ou plataformas de madeira de alta resistência. Pode ser utilizada para confecção de paredes, lajes, coberturas e mobiliários, apresentando características semelhantes às da madeira laminada colada.

4.2 Ligações ou conexões

Em virtude das limitações práticas, as peças de madeira em geral tem comprimentos que nem sempre são suficientes para vencer os vãos requeridos, ou ainda, na montagem das estruturas as peças de madeiras precisam se conectar de forma a suportar a transferência de esforços entre si de forma rígida, devendo permitir, se necessário, pequenos deslocamentos e rotações. Desse modo, os dispositivos de ligação exercem o papel fundamental de permitir que a estrutura possa ser erguida e assim permanecem por toda sua vida útil.

Segundo Pfeil e Pfeil (2003, p. 52), os principais tipos de elementos de conexão para peças de madeira incluem os pregos, parafusos, pinos, grampos, cavilhas, tarugos, braçadeiras, conectores e chapas metálicas, além de colagem e encaixe por entalhes (FIGURA 16).

Figura 16 – Conectores em estrutura de madeira.



Fonte: www.archdaily.com.br

As ligações de caráter estrutural devem ser dimensionadas e graficamente detalhadas conforme preconiza a NBR 7190, a fim de que sejam corretamente executadas e permitam a performance esperada da estrutura. A escolha do tipo de ligação é critério do projetista, que

deve considerar, além do dimensionamento, a compatibilidade com o ambiente – áreas sujeitas a maresia por exemplo, tendem a criar corrosão antecipada em elementos metálicos sem o correto tratamento – e a aparência geral, já que esses elementos podem tanto criar uma estética apreciável quanto causar desconforto visual aos usuários. Pode-se, ainda, ocultar as ligações, criando uma unidade estética aos elementos, porém implica em soluções complexas.

4.3 Sistemas estruturais

Com séculos de história de sua utilização como componente estrutural, a madeira foi empregada de diversas formas, originando múltiplos sistemas estruturais baseados no material. Abaixo, serão abordados os mais comuns, existindo ainda outros, cuja aplicação foge ao escopo deste trabalho, como sistemas estruturais de pontes ou estruturas temporárias de suporte.

4.3.1 Estruturas aporticadas

Considerando que as peças de madeira em geral têm formato prismático de grande esbeltez, é natural supor que o preceito básico desses sistemas é a configuração de pilares e vigas dispostos em forma de quadros, fechados lateralmente por painéis ou mesmo alvenaria.

Figura 17 – Exemplo de estrutura aporticada.



Fonte: www.arch.mcgill.ca

Nas estruturas com esse sistema é formado um reticulado de vigas principais em forma de grelha, sobre as quais se dispõem as vigas secundárias que apoiam os pisos e a cobertura

(inclinada para o escoamento das águas pluviais), e que, na vertical, são sustentadas pelos pilares (FIGURA 17). Esse formato é muito semelhante ao sistema convencional de concreto armado, porém o concreto dá lugar à madeira. É um sistema que, para ligações rígidas entre vigas e pilares ou para ligações rotuladas associadas ao contraventamento das paredes, oferece suficiente estabilidade (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 13).

4.3.2 Pórticos

Os pórticos são geralmente utilizados em construções tipo galpão, de grandes dimensões de área e vãos livres extensos. Podem ser biarticulados ou triarticulados, em função do número de vínculos, parâmetro escolhido conforme o esquema de montagem da estrutura. A geometria da seção transversal é variável, construída com peças maciças, peças de seção composta, de madeira recomposta ou barras treliçadas.

A estrutura da edificação como um todo é composta por vários pórticos paralelos, que são unidos perpendicularmente por terças, requerendo ainda, em alguns pontos, a inserção de contraventamentos, que podem ser tanto de madeira como tirantes metálicos, para assegurar a estabilidade, combater a flambagem lateral e travar os deslocamentos devidos ao vento.

A madeira laminada colada ganha destaque nesse tipo de sistema estrutural, apresentando um excelente desempenho tanto mecânico, que permite o cobrimento de grandes vãos livres, quanto estético, pois a possibilidade de modular a seção transversal ao longo do comprimento das peças e criar curvaturas únicas confere beleza arquitetônica singular e muito apreciável ao elemento estrutural, como se pode aferir na Figura 18.

Figura 18 – Pórticos curvos de MLC.



Fonte: www.edgebuild-construction.co.uk

4.3.3 Treliças

Outra configuração básica não tão intuitiva, mas largamente utilizada, são as treliças, onde as peças, denominadas barras, são montadas em formato de triângulos, o que permite a criação de rótulas plásticas nos nós, numa distribuição de esforços em que é possível desprezar o efeito da flexão, restando os esforços normais (de compressão ou de tração) e simplificando o procedimento de cálculo. Os tipos de treliça mais usados são do tipo Howe (mais comum), Pratt, Belga, Fink (ou Polonceau), Bowstring ou até mesmo arcos treliçados (GESUALDO, 2003). A Figura 19 ilustra o tipo comum de treliça Howe, com destaque para as ligações metálicas do tipo chapa de dentes estampados.

Figura 19 – Tesouras de madeira.



Fonte: www.shutterstock.com

Treliças de madeira utilizadas para a sustentação de coberturas são comumente chamadas de tesouras, nas quais se apoiam terças, caibros e ripas – para telhas cerâmicas – ou apenas terças – para telhas metálicas ou de fibrocimento. São estruturas icônicas, com forte presença em todas as regiões brasileiras, onde, apesar da aparente aversão à construção das casas e edifícios em madeira, notadamente a grande maioria das edificações possuem telhamentos sobre peças de madeira. É um contrassenso, diante desse fato, julgar que a madeira não possui propriedades suficientes para o uso estrutural, sendo a escassez de profissionais qualificados que contribui para tal, aliado ao fator cultural.

4.4 Técnicas construtivas em madeira

No decorrer dos séculos, cada civilização desenvolveu suas técnicas de construção com madeira, por vezes influenciadas por povos conquistadores, transmitidas através das gerações. Muitas, infelizmente, se perderam no tempo, pela falta de documentação; outras caíram em desuso, frente ao advento de novos processos, e foram relegadas ao esquecimento. Mas boa parte ainda são conhecidas, sendo fundamento para as técnicas modernas e abarcadas de maior tecnologia e equipamentos.

Assim, atualmente, as técnicas construtivas podem ser categorizadas em quatro tipos (TORRES, 2010, p. 7):

- a) estruturas roliças – *loghomes*;
- b) estruturas pesadas – *heavy timber*;
- c) estruturas leves – *light framing*;
- d) estruturas pré-fabricadas modulares.

4.4.1 Estruturas roliças

Um dos mais antigos métodos, consiste na disposição dos troncos de madeira bruta na horizontal ou mesmo na vertical. Como o processamento do material é mínimo, as construções em estrutura roliça têm aparência considerada rústica ou artesanal, que geralmente é apreciada pelas pessoas que gostam de ter um maior contato com a natureza. O sistema permite a construção de pequenas cabanas até grandes mansões (FIGURA 20).

Figura 20 – Casa tipo *loghome*.



Fonte: www.yellowstoneloghomes.com

4.4.2 Estruturas pesadas

Um dos mais utilizados no continente europeu, no decorrer da História, deve seu nome ao uso de peças robustas e pesadas de madeira, do tipo falquejado, montadas em sistema aporticado, o que permitia grandes aberturas e elevação de até seis pavimentos (TORRES, 2010, p. 9). São classificadas em dois tipos básicos:

- a) o sistema aporticado (já mencionado no tópico 4.3.1), também denominado como *post-and-beam* (pilar e viga, em tradução livre) ou estrutura autônoma, um dos utilizados no período colonial brasileiro (ABREU et al, 2010);
- b) o sistema entramado, enxaimel ou *timber frame*, no qual se adiciona ao modelo anterior travamentos diagonais nos quadros estruturais, muito comum na arquitetura dos países saxônicos. O Brasil possui uma igreja, de confissão luterana, construída com essa técnica, localizada na cidade de Benedito Novo, SC. Datada da década de 1920, é tombada pelo IPHAN (FIGURA 21).

As estruturas pesadas de madeira têm a característica de serem autoportantes, ou seja, as peças de madeira sustentam os pesos e as ações, deixando para os revestimentos apenas o papel de vedação da construção.

Figura 21 – Igreja da Liberdade, Benedito Novo, SC.



Fonte: www.tripadvisor.com

4.4.3 Estruturas leves

Dos dois tipos existentes, Balloon Frame e Platform Frame, o último será mais aprofundado nos tópicos seguintes.

A técnica da estrutura em balão é caracterizada pelo uso de diversos montantes esbeltos, da altura de dois pavimentos, espaçados de poucos centímetros. A Figura 22 apresenta um modelo físico que ilustra a técnica. Em virtude de seu pioneirismo, algumas desvantagens, como a necessidade de grande disponibilidade de matéria-prima com altura suficiente e a complexidade da montagem devido às grandes dimensões dos montantes, inibem sua aplicação (TORRES, 2010, p. 12).

Figura 22 – Maquete de uma casa construída em Balloon Frame.



Fonte: www.pinterest.com

4.4.4 Estruturas pré-fabricadas modulares

As pesquisas e inovações na construção civil trazem sempre novos materiais e técnicas, visando melhorar os processos existentes, superando suas limitações, e fornecem soluções para problemas ainda abertos. Os caminhos da engenharia e arquitetura estão conduzindo à modularização e pré-fabricação das edificações, com vistas à otimização dos processos de construção, reduzindo custos e impactos ambientais decorrentes das longas durações das obras. Na tendência atual, as estruturas devem ser quase totalmente produzidas nas fábricas, de

maneira automatizada, sendo então transportadas e montadas no local de forma rápida e limpa. A madeira possui uma ótima compatibilidade com esse modelo, permitindo que paredes inteiras sejam montadas na indústria (oficinas e marcenarias) e simplesmente fixadas no local da obra, garantindo eficiência e qualidade ao produto final. Atualmente, existem diversas técnicas patenteadas que tem a madeira como material base, com adaptações às condições de suas regiões de utilização.

4.5 Wood Light Frame (WLF)

Como uma estrutura leve, a técnica de *wood light frame*, *wood framing*, *platform frame*, ou ainda sistema plataforma, é uma evolução do *balloon frame*.

4.5.1 Surgimento

As estruturas leves surgem no século XIX, na América do Norte, em razão da necessidade de técnicas de construção velozes, face ao déficit habitacional oriundo da colonização do Oeste americano, e da disponibilidade de madeira serrada de pequena seção. A técnica possibilitou a evolução de um processo artesanal e lento para um método padronizado, econômico, seco e eficiente (TORRES, 2010, p. 11).

4.5.2 Descrição da técnica

Peças de madeira serrada de pequena dimensão são montadas no formato de quadros estruturais, que são empilhados para formar os pavimentos, onde a laje de cobertura de um andar constitui o piso do andar imediatamente superior, sucessivamente. É um sistema eficiente, onde as funções de cada elemento são bem definidas, distinguindo-se os componentes estruturais dos não estruturais (TORRES, 2010, p. 11).

As peças de madeira devem ser retas e sem defeitos, além de passar por processos de secagem e tratamento com soluções preservativas, para assegurar a durabilidade. Montada a estrutura, os quadros são revestidos com várias camadas de painéis de madeira, mantas isolantes, membranas permeáveis e, por fim, os revestimentos, formando um “sanduíche”, do qual a estrutura de madeira pode ser comparada ao recheio (ACOSTA et al., 2015), como mostra a Figura 23.

Figura 23 – Desenho esquemático das camadas do quadro estrutural.



Fonte: www.archdaily.com.br

Os painéis de madeira, comumente de OSB ou compensado, servem de proteção para a estrutura contra o intemperismo e contribui como contraventamento, criando diafragmas rígidos. Sobre eles, são instalados painéis de acabamento: internamente, de madeira ou de gesso acartonado (drywall), externamente, de fibrocimento ou cimentícios. É possível ainda adicionar outras camadas de acabamento, como rebocos, cerâmicas e porcelanatos, pinturas, papéis de parede e revestimentos plásticos (DUART, 2013).

No telhado, é comum a utilização de telhas do tipo *shingle*, lamelas de material betuminoso que são encaixadas e pregadas sobrepostas umas às outras para garantir estanqueidade (DUART, 2013, p. 77). Também podem ser utilizadas telhas de madeira ou metálicas, sendo as cerâmicas pouco usadas devido ao excesso de peso.

4.5.3 Benefícios e desafios

A versatilidade do sistema é tal que podem ser aplicados, conforme as especificações técnicas, os mesmos revestimentos empregues em edificações de alvenaria, de forma que, finalizada a obra, a diferença entre os sistemas é imperceptível à vista.

Pelo caráter industrializado, a velocidade de execução é um fator atrativo para a escolha da técnica. Ao contrário das estruturas convencionais de alvenaria, estando pronta a fundação,

a montagem é feita em poucos dias, podendo ser reduzida a horas se houver disponibilidade de mão de obra em diferentes turnos de trabalho.

A técnica traz outras vantagens como facilidade de execução e economia geral na obra (quesito que pode variar substancialmente conforme a região), apresentando desempenho mecânico, térmico e acústico adequado para pequenas construções. No entanto, as seções de pequena área são inflamáveis, exigindo a adoção de medidas retardadoras e de combate a incêndios (DUART, 2013, p. 78). Outro desafio a ser superado diz respeito à disponibilidade de madeiras produzidas adequadas para tal fim no mercado brasileiro, ainda incipiente, bem como de mão de obra qualificada.

4.5.4 Aplicações

A técnica é majoritariamente utilizada para habitações de um ou dois pavimentos (FIGURA 24), mas não há impedimento de uso para estruturas maiores, com muitos prédios de vários pavimentos edificados em WLF.

Figura 24 – Estrutura com sistema plataforma em fase de construção.



Fonte: www.archdaily.com.br

No Brasil já existem exemplares de residências com estrutura leve de madeira, incluindo prédios. As figuras 25 e 26 apresentam o primeiro prédio residencial de WLC, na cidade de Curitiba, com 12 apartamentos distribuídos em três pavimentos, construído com alto controle em indústria e montado na obra em tempo recorde. Nota-se que a construção finalizada é praticamente indistinta de outras construções convencionais de alvenaria e concreto armado.

Figura 25 – Etapa de montagem de edifício em WLF, Curitiba, PR.



Fonte: www.tecverde.com.br

Figura 26 – Edifício em WLF finalizado, Curitiba, PR.



Fonte: www.tecverde.com.br

Assim, infere-se que o método é uma solução tecnicamente viável para uso em espaços religiosos, não só para as igrejas e capelas, mas sobretudo para os edifícios anexos – centros pastorais, salas de catequese, escritórios e a casa paroquial.

4.6 Madeira Laminada Colada (MLC)

A madeira laminada colada, ou madeira lamelada colada, não é em si uma técnica de construção, mas sim um produto madeireiro destinado à construção civil confeccionado através de uma técnica que permitiu uma grande evolução (se não uma revolução) dos métodos de emprego estrutural da madeira.

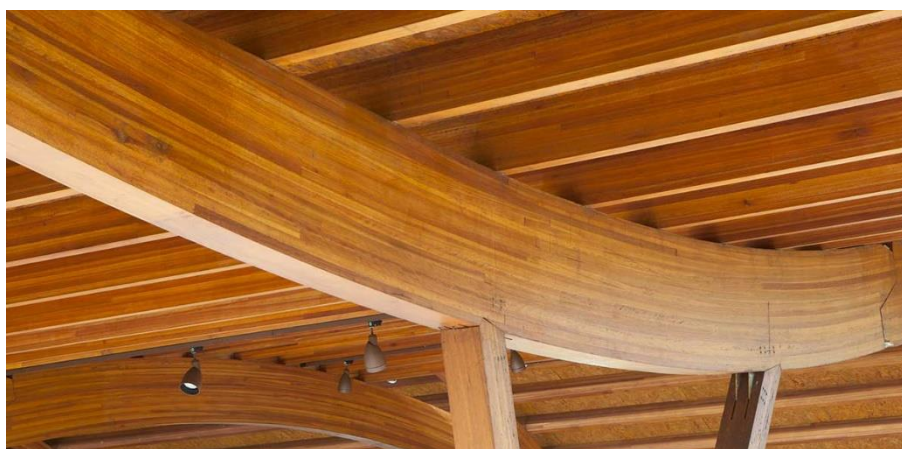
4.6.1 Surgimento

Segundo Szücs et al. (2015, p. 185), o processo é uma junção das técnicas de laminação (ou lamelação) e de colagem, tendo raízes antiquíssimas. O produto atual começou a ser formatado no início do século XIX, na Alemanha, pela união através de ligações mecânicas de lâminas curvas, sendo aprimorado, com o surgimento das colas sintéticas de alto poder adesivo.

4.6.2 Descrição da técnica

O produto é composto por lâminas de madeira unidas por colagem e pressão (FIGURA 27). A cola penetra nas superfícies das lâminas, promovendo fortes ligações químicas entre as partes e amplificando a sua resistência. É um processo de alta precisão e controle de qualidade que garante estabilidade dimensional.

Figura 27 – Peça de MLC.



Fonte: www.arcoweb.com.br

Szücs et al. (2015, p. 185) apresenta algumas recomendações para a sua produção:

- a) escolha da madeira: qualquer madeira pode ser utilizada desde que se apliquem colas compatíveis, sendo as coníferas as mais recomendadas. Não é aconselhável colar madeiras diferentes para evitar problemas com retração diferencial;
- b) escolha da cola: devem ser avaliados os fatores climáticos e do ambiente onde o material estará em serviço para selecionar a cola adequada;
- c) normalização: o atendimento às prescrições das normas técnicas é indispensável para assegurar o desempenho do material.

4.6.3 Benefícios e desafios

A performance excepcional do material permite a construção de peças muito longas, atendendo a grandes vãos, com a liberdade de criação de seções transversais com geometrias e raios de curvatura variáveis de grande precisão ao longo da peça, não mais limitadas pelas dimensões dos troncos das árvores, conforme a necessidade do projeto.

As possibilidades estéticas da MLC atingem um novo patamar na construção com madeira, permitindo aos profissionais habilitados a criação de formas incomuns e impactantes, que possam se integrar mais profundamente ao ambiente.

Segundo Szücs et al. (2015, p. 186), estruturas de MLC são materiais ideais para situações onde há exposição à agentes corrosivos, aos quais a madeira apresenta melhor performance em relação ao concreto e aos metais. Da mesma forma, são propícias para construções sujeitas a risco de incêndio, em razão das seções transversais avantajadas, uma vez carbonizada a face externa, serem grandes o suficiente para manter um núcleo mecanicamente resistente em altas temperaturas (conforme descrito no item 3.4.6).

A madeira possui uma relação resistência/peso competitiva em comparação ao aço e ao concreto armado, o que acarreta um menor peso próprio para resistir a ações de mesma magnitude de intensidade, aliviando as fundações e reduzindo suas dimensões.

Há outros benefícios, como a redução da quantidade de ligações em razão das grandes dimensões; um aumento de 10% do valor da capacidade resistente, proporcionada pelo adesivo estrutural, em relação à das madeiras maciças equivalentes; a racionalização dos processos de construção associada à rapidez e à facilidade de montagem e desmontagem dos componentes pré-fabricados (SZÜCS et al., 2015, p. 187).

Esses aspectos favoráveis do material se traduzem negativamente em custos, que ainda são muito elevados em função da complexidade industrial e da baixa demanda, e na exigência de mão-de-obra especializada e de equipamentos altamente tecnológicos. Todavia, esses

desafios tendem a ser vencidos nos anos vindouros, já que a MLC tem se difundido muito através dos trabalhos de alguns arquitetos, engenheiros e construtoras brasileiras do setor.

4.6.4 Aplicações

A madeira laminada colada pode ser aplicada a qualquer tipo de construção, sejam residenciais, comerciais, industriais ou de outras categorias, como escolas e igrejas (FIGURAS 28, 29 e 30), desde que sejam adotadas as medidas básicas de conservação de estruturas de madeira.

Figura 28 – Cobertura residencial em MLC.



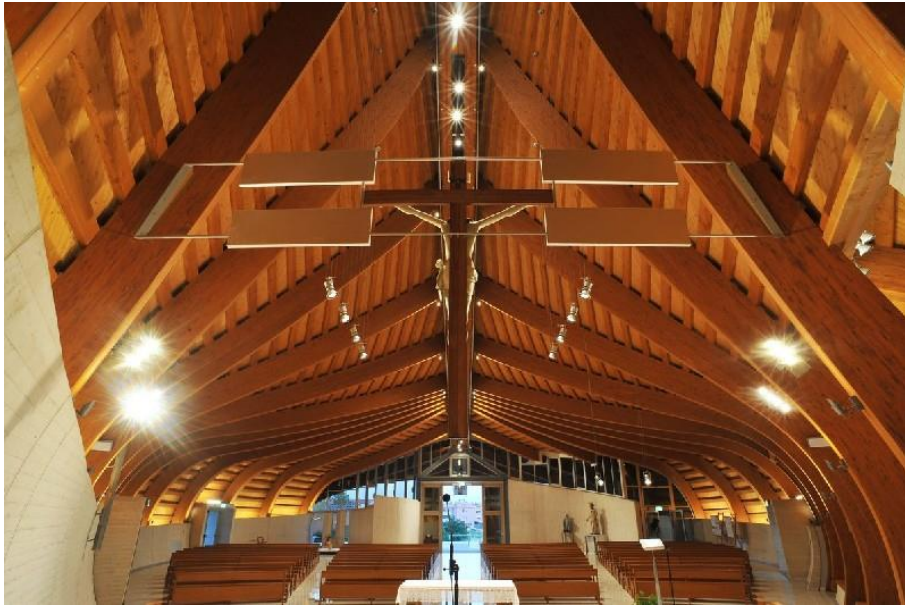
Fonte: www.aecweb.com.br

Figura 29 – Instituição educacional em Formoso do Araguaia, TO.



Fonte: www.itaconstrutora.com.br

Figura 30 – Igreja de São Pio de Pietrelcina, Imola, Itália.



Fonte: www.hertznoticias.com.br

Por mérito de sua beleza estética, a sua aplicação em edificações de uso público permite uma liberdade conceitual capaz de valorizar os espaços e aproximar as pessoas através de uma composição arquitetônica diferenciada e integrada ao ambiente.

Assim, a MLC apresenta características que a elencam para a construção de espaços religiosos, como tem sido utilizada em outros países.

5 CONSTRUIR EM MADEIRA: PROJETO DE ESPAÇOS RELIGIOSOS

Os temas tratados a seguir apresentam informações acerca dos parâmetros e critérios para a concepção e o desenvolvimento de projetos de edifícios de uso religioso, as igrejas e seus prédios anexos, conforme seus planos de necessidades, bem como sobre a riqueza da arquitetura voltada para o sagrado e a adequação do uso da madeira a estruturas dessa categoria.

Dada a gama de denominações religiosas e suas particularidades, os dados apresentados se referem especificamente à espaços para uso da Igreja Católica Apostólica Romana. No entanto, parte das indicações são válidas para projetos de templos cristãos de outras confissões.

5.1 A Igreja Católica

A Igreja Católica Apostólica Romana é uma Igreja cristã que possui sua origem há mais de dois mil anos. É considerada a mais antiga instituição ainda em funcionamento. Segundo o Catecismo da Igreja Católica (CIC), a expressão Igreja “[...] significa convocação. Designa a assembleia daqueles que a Palavra de Deus convoca para formar o seu povo, e que, alimentados pelo Corpo de Cristo, se tornam, eles próprios, Corpo de Cristo”. Já o termo Católico é uma palavra de origem grega que significa geral ou universal (CATECISMO..., 1999).

Com cerca de um sexto da população mundial batizada, cujos dados do *Annuarium Statisticum Ecclesiae* estimam um bilhão trezentos e treze milhões de católicos (DONNINI; JOSÉ, 2019), é a maior religião do mundo, liderada pelo Papa, sucessor dos apóstolos, atualmente o Papa Francisco, e pelo colégio dos cardeais. O governo da Igreja Católica, hierárquico e colegial, é sediado no Vaticano, um país localizado dentro da cidade de Roma, Itália. Estruturalmente, é dividida em mais de duas mil dioceses, espalhadas por todo o planeta, que são porções do povo de Deus chefiadas por um bispo local. As dioceses, por sua vez, são divididas em paróquias, confiadas a um padre ou conjunto de padres, responsáveis pelo cuidado pastoral para com os fiéis locais. As paróquias agrupam igrejas e capelas, às quais acorrem as pessoas para as celebrações litúrgicas.

O constante aumento populacional, e conseqüentemente de fiéis católicos, estimula a construção de novas igrejas, adequadas às condições da região, para atender as demandas iminentes e viabilizar a realização dos trabalhos missionários da Igreja. A liberdade arquitetônica do processo criativo fomenta quase sempre a criação de obras belas e convidativas, no entanto, a Igreja determina certas condições às quais uma edificação deve satisfazer para que esteja apta para o culto divino.

5.2 Documentos da Igreja Católica sobre construção de igrejas

Na década de 1960, a Igreja Católica pode experimentar um processo de renovação marcante promovido pelo então papa João XVIII, continuado por seu sucessor, Paulo VI: o Concílio Vaticano II. Profundas mudanças, que não afetaram sua doutrina e magistério, ocorreram nos anos vindouros, principalmente na liturgia, isto é, no modo como os rituais acontecem, e que alteraram o jeito de se pensar e projetar uma nova igreja, tendo, inclusive, realizar adaptações nas existentes.

Muitas vezes as instruções não estão escritas em livros específicos, mas depreende-se das indicações rituais dos livros litúrgicos, ou seja, a configuração do espaço fica atrelada ao modo que as pessoas o utilizarão – a função determina a forma.

Os principais documentos da Igreja que trazem orientações para o projeto de igrejas são a Constituição Conciliar *Sacrosanctum Concilium* sobre a Sagrada Liturgia (SC), o Código de Direito Canônico (CDC) e a Instrução Geral do Missal Romano (IGMR), aos quais corroboram em menor grau muitos outros livros e documentos eclesiais. A Conferência Nacional dos Bispos do Brasil (CNBB) fornece, também, um subsídio para nortear a construção ou reforma de templos em território nacional, o Documento 106 – Orientações para projeto e construção de igrejas e disposição do espaço celebrativo, no qual este trabalho se baseia.

5.3 As necessidades de um templo religioso

Primeiramente, o que é uma igreja, um templo?

O cânone 1214 do CDC traz a seguinte definição: “Pelo nome de igreja entende-se o edifício sagrado destinado ao culto divino, ao qual os fiéis têm o direito de acesso para exercerem, sobretudo publicamente, o culto divino”. (CÓDIGO..., 2015). A igreja é o ponto de encontro da comunidade dos fiéis, local sagrado, “Casa de Deus”, de uso exclusivo para as suas funções religiosas e deve ser adequada para tal.

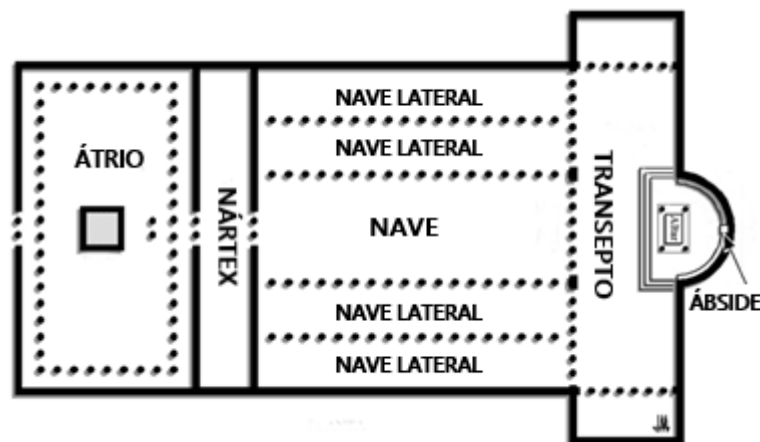
O que torna um edifício uma igreja? Quais elementos identificam que uma dada construção é um espaço de encontro com o sagrado? Quais espaços e estruturas uma igreja necessita para realizar adequadamente o serviço religioso? Essas perguntas ajudam a orientar os projetistas no processo de concepção das igrejas, no qual devem considerar, além das questões legais, técnicas e urbanísticas, aspectos da teologia e liturgia católicas.

5.3.1 A arquitetura do sagrado

O Documento 106 da CNBB expressa uma preocupação com os edifícios-igreja erigidos nas últimas décadas, que, face às más interpretações das correntes arquitetônicas, são pouco inspiradores e não refletem a vida e a beleza da comunidade local, não transmitindo o sentimento de acolhida e júbilo que deve ser inerente aos templos. A Igreja não preconiza estilos arquitetônicos; no entanto, o edifício-igreja jamais deve ser confundido com um salão de reuniões, ponto comercial, cinema ou mesmo um simples galpão. A dignidade do espaço sagrado não pode ser violada por propostas arquitetônicas conceituais desprovidas das referências básicas da teologia e da fé cristã. “Nossas igrejas devem ser vistas como instrumentos excelentes para a obra de evangelização” (JOHNSON; JOHNSON, 2006).

Com o fim da perseguição aos cristãos primitivos, no século VI d.C., a Igreja pôde sair dos esconderijos e prestar o culto a Deus publicamente. As primeiras igrejas tiveram sua origem nas basílicas, grandes espaços cobertos de reunião, como ilustra a Figura 31.

Figura 31 – Planta baixa de uma basílica.



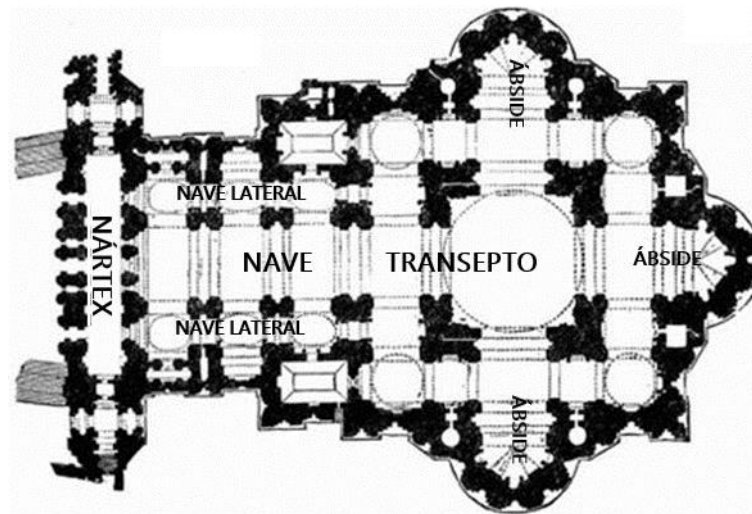
Fonte: www.wikiwand.com

Mesmo com as releituras e aprimoramentos do modelo nos estilos arquitetônicos posteriores – românico, gótico, renascentista, barroco – os traços principais e a configuração dos espaços foram mantidos na essência, o que conferiu uma linguagem estética característica das igrejas: qualquer pessoa é capaz de inferir que tal construção com essa organização arquitetônica é uma igreja, um espaço religioso (FAUST, 2017).

Por muitos séculos, a Igreja e a arquitetura caminharam juntas, numa simbiose que permitiu a evolução de ambas de forma exponencial. De fato, as grandes obras arquitetônicas da história da humanidade são, majoritariamente, igrejas. Referências famosas incluem a

Catedral Notre Dame de Paris, o Duomo de Florença e a Basílica de São Pedro, sendo a última o maior e mais importante edifício católico do mundo. Percebe-se, na Figura 32, que, apesar do partido arquitetônico mais elaborado, a disposição básica dos espaços não sofreu alterações drásticas em sua configuração, mantendo a natureza basilical: a organização da edificação em torno do eixo longitudinal principal, o formato amplo e retangular, e a separação dos ambientes são elementos que caracterizam essa categoria de construção.

Figura 32 – Planta baixa da Basílica de São Pedro, Vaticano.



Fonte: www.wikiwand.com

No entanto, o modernismo provocou rupturas não somente com os movimentos anteriores, mas promoveu a quebra da simbiose da arquitetura religiosa. A Igreja não se adequou à negação da tradição e da identidade arquitetônica construída ao longo dos séculos. Segundo Faust (2017), a supressão de diversos elementos arquitetônicos – torres, absides, colunatas – e o abandono das normas de composição – simetria, centralidade do altar, formato cruciforme (retangular ou quadrado) da planta do edifício – ocasionou um preconceito, por parte dos fiéis e dos religiosos, em relação à arquitetura moderna.

Como exemplo, muitos projetos conceituais de igrejas de arquitetos modernistas são pouco aceitos pelos fiéis, que não conseguem apreender características que evoquem ao sagrado, ao passo que as igrejas inspiradas nas referências do passado são ao mesmo tempo aclamadas pelos cristãos e criticadas por alguns profissionais da arte e arquitetura. A capela de São Pedro (FIGURA 33), em Campos do Jordão, SP, vencedora do Prêmio Pritzker de 2006, é malvista pelas pessoas, que não a identificam como um templo; ao mesmo tempo, o Santuário Nacional – Catedral Basílica de Nossa Senhora Aparecida (FIGURA 34), em Aparecida, SP,

igreja referencial para os católicos brasileiros e por eles admirada, é vista por parte dos arquitetos com uma imitação mal desenhada das antigas igrejas românicas (FAUST, 2017).

Figura 33 – Capela de São Pedro, Campos do Jordão, SP.



Fonte: www.archdaily.com.br

Figura 34 – Santuário Nacional, Aparecida, SP.



Fonte: www.a12.com

Assim, a arquitetura sacra se mostra como um caso especial, onde a tradição secular e o arcabouço de simbolismos e exegeses não pode ser desprezado, pois gera um esvaziamento daquilo que torna a igreja algo mais que uma simples edificação.

5.3.2 Programa de necessidades de uma igreja contemporânea

Embora as igrejas modernas não sejam as mais preferidas esteticamente (como no exemplo anterior), não é plausível que as edificações atuais sejam cópias exatas das antigas,

considerando ainda que os materiais e técnicas contemporâneos são tecnologicamente muito distintos dos utilizados no passado.

Desse modo, Faust (2017), propõe três premissas básicas para superar essas divergências e conceber igrejas que tenham real aspecto de sacralidade:

- a) conservar a linguagem e os princípios fundamentais da arquitetura sacra, sem, todavia, deixar de inovar onde for pertinente;
- b) obedecer às proposições do Concílio Vaticano II;
- c) projetar estruturas de baixo custo sem depreciar a estética.

Essas premissas proporcionam uma maior chance de o projeto exprimir a religiosidade e a fé do povo, cumprindo sua função estética sob a apreciação geral e garantindo a aceitação pela comunidade dos fiéis. “Na casa de Deus, a verdade e a harmonia dos sinais que a constituem devem manifestar o Cristo que está presente e age nesse lugar” (CNBB, 2013).

No passado, eram construídas enormes e imponentes igrejas, que dispendiam grande quantidade de tempo e recursos. Todavia, as necessidades pastorais e missionárias requerem da Igreja o atendimento constante e próximo dos fiéis, exigindo de seus edifícios a capacidade de ser adaptar às diversas funções além do culto divino. Assim, segundo Captivo (2016, p. 21), as igrejas deixam de ser construídas isoladamente para compor um aglomerado de edifícios multifuncionais para melhor atender à comunidade eclesial.

A construção de uma nova igreja contemporânea deve contemplar as proposições apresentadas acima, pensando o espaço não somente como um edifício onde se celebra a missa, mas como um complexo religioso apto a acolher e evangelizar, propício à oração e ao convívio comunitário, e que seja adequado à realidade local.

Dessa forma, a construção de igrejas contemporâneas tem a liberdade de aceitar e promover o emprego de novos materiais e técnicas construtivas, principalmente aquelas que propiciem obras rápidas e de custo acessível, para que as comunidades de fiéis não fiquem desamparadas do templo e os transtornos decorrentes das obras sejam minimizados.

Para cumprir suas funções, o edifício-igreja requer espaços bem definidos com especificações básicas que serão apresentadas nos tópicos a seguir.

5.4 O espaço celebrativo

A rica liturgia católica é repleta de tradições e simbologias, com vistas a evangelizar não somente com palavras, mas através dos sentidos. A arte é extremamente valorizada, desde que digna e condizente com a doutrina católica.

A ação litúrgica acontece no espaço, de forma dinâmica e organizada. Um layout mínimo requer ao menos três espaços distintos, mas integrados: o lugar da acolhida, o lugar da assembleia e o lugar do clero. Conforme o porte e a categoria da igreja, outros espaços são adicionados, restando ainda os espaços de serviço e apoio, presentes em todas as igrejas.

A Figura 35 mostra o interior do Santuário Nacional (cujo exterior pode ser visto em 5.3.1), a maior e mais visitada igreja brasileira. De estilo neorromânico e planta cruciforme quadrada, apresenta no centro o presbitério, em formato circular, circundado por quatro naves e diversas capelas laterais.

Figura 35 – Interior do Santuário Nacional, Aparecida, SP.



Fonte: www.a12.com

5.4.1 A entrada da igreja

A porta principal é um elemento importante, que, ao permitir o acesso das pessoas ao interior do templo, deve lembrar o fiel que ele está entrando em um local sagrado. As ações litúrgicas começam, em geral, com uma procissão, que adentra a porta numa referência simbólica ao “caminho da santidade que leva à casa de Deus” e ao próprio Cristo, “a porta das ovelhas” (CNBB, 2013). Deve respeitar as normas técnicas quanto à acessibilidade.

As torres, elementos verticais de elevada altura, são destinadas a abrigar os sinos. Não são obrigatórias, mas compõem a fachada, identificando o edifício como uma igreja, e fazem uma clara referência ao divino ao apontarem para o céu.

As igrejas podem dispor do átrio, o primeiro espaço logo após a porta “que convida e prepara para o mistério, limiar e lugar de passagem, sinal da acolhida maternal da Igreja” (CNBB, 2013). São muito práticos para a colocação de quadros de avisos e apoios para os folhetos de cantos, onde também podem se realizar alguns ritos esporádicos.

5.4.2 As naves

Em geral a maior parte da igreja é destinada a acomodar a assembleia de fiéis, formando ambientes delimitados denominados naves, podendo ser única ou múltipla. A nave não é um anfiteatro ou auditório, de onde as pessoas simplesmente assistem a um evento, pois a assembleia é, toda ela, celebrante, e participa ativamente dos ritos litúrgicos. No projeto da igreja, devem ser dimensionadas de forma a comportar o número esperado de pessoas de forma a manter acessos e circulações suficientemente grandes, procurando evitar barreiras arquitetônicas que quebrem a unidade do espaço. Isso convém não só para o culto, mas para a segurança dos usuários em situações de incêndio e pânico.

Nas naves são dispostos bancos ou cadeiras, que podem ser fixos ou móveis, podendo trazer consigo genuflexórios, para acomodar os fiéis. Em razão das ações das pessoas que exercem algum ministério – leitores, coroinhas, músicos – os bancos devem ser dispostos de forma a facilitar a mobilidade dos mesmos (CNBB, 2013).

Nas naves, bem como no presbitério, é comum a inserção de um programa iconográfico, que é por excelência cristocêntrico: tudo converge para o Cristo Jesus. A arte sacra prepara, orienta, educa, conduz e introduz, por meio de formas e cores, o mistério celebrado, devendo ser confeccionada por uma equipe multidisciplinar de arquitetos, artistas e liturgistas, sem excluir a opinião da comunidade (CNBB, 2013).

5.4.3 O presbitério

Dá-se o nome de presbitério à porção do corpo da igreja, em geral mais elevada, onde acontece o ato mais sagrado das celebrações litúrgicas. O Concílio Vaticano II alterou profundamente a disposição dos elementos presentes no presbitério, permitindo a melhor

participação na assembleia na liturgia, que por consequência confere grande liberdade artística e arquitetônica na sua composição.

Os principais elementos presentes no presbitério são: o altar; o ambão e a cadeira presidencial. A estes se reúnem a credência, a cruz, as imagens dos santos, os retábulos e outros elementos, conforme o tamanho da igreja. Todos esses elementos devem ser dispostos de forma ordenada e em conformidade com a ação litúrgica. Devem permitir a visibilidade por parte da assembleia e a circulação livre e desimpedida dos ministros, sejam leigos ou clérigos.

O altar, mesa do banquete da Eucaristia e do sacrifício redentor, é o ponto focal de toda e qualquer igreja católica. A riquíssima teologia do altar o qualifica como o local santo onde Deus se faz verdadeiramente presente nos sacramentos. Desse modo, não se pode simplesmente colocar uma mesa no meio da igreja para ser um altar. Os profissionais devem estudar e compreender a fundo o arcabouço doutrinário e teológico acerca do altar para que seja correta e dignamente projetado, em harmonia e unidade estética com os demais elementos próximos (JOHNSON; JOHNSON, 2006).

Do ambão, ou mesa da Palavra, é que se faz a leitura dos livros sagrados. Tão importante quanto o altar, sua disposição não pode ser aleatória, mas deve compor o espaço de forma que, estando em posição de destaque, haja contínua comunicação visual e acústica com a assembleia.

A cadeira é o local de onde o ministro ordenado, padre ou bispo, preside as celebrações. O caráter ordenado dos padres e bispos implicam que eles, como pessoas consagradas à Deus para o pastoreio do povo, representam o Cristo na liturgia, devendo ocupar um local de destaque do qual exercem o seu ofício. A cadeira não é um trono, como pode aparentar muitas vezes, mas um local de onde se ensina e serve ao povo (JOHNSON; JOHNSON, 2006).

5.4.4 As capelas

Além dos espaços já mencionados, a igreja recorrentemente precisa de ambientes adicionais para as demais ações litúrgicas além da missa: são as capelas. Podendo constituir espaços tanto incorporados à nave, quanto ambientes delimitados por paredes ou até mesmo externos, as capelas complementam o edifício religioso. Os principais usos são:

- a) para reservar a Eucaristia, num ambiente de silêncio propício à oração e adoração (as capelas do Santíssimo);
- b) para realizar os sacramentos da vida cristã (capelas do batismo e confessionários);
- c) para expor as imagens dos santos à veneração pública.

A disposição das capelas no corpo da igreja deve obedecer aos critérios dispostos nos livros litúrgicos, para cumprir devidamente suas funções sem obstruir outras.

5.5 Os espaços de apoio

A sacristia é o local de onde são iniciadas e concluídas as celebrações. É nesse espaço, em geral próximo ao presbitério, que os ministros se preparam e se vestem para a missa, onde também são guardados os materiais de uso litúrgico. Em aspectos construtivos, as sacristias necessitam de mesas e armários em quantidade suficiente e uma pia especial para purificações. É interessante que haja um banheiro próximo para atender aos celebrantes (CNBB, 2013).

Outros espaços necessários são banheiros, fraldários e bebedouros, sendo recomendado que não sejam construídos nas paredes justapostas ao presbitério, evitando que o barulho das tubulações e o trânsito de pessoas atrapalhe o clima de oração (CNBB, 2013).

5.6 Os espaços de evangelização e de convivência

Em virtude da natureza missionária da Igreja, os edifícios religiosos precisam de espaços para as atividades catequéticas e de iniciação à vida cristã das crianças, adolescentes e adultos, como para as frequentes reuniões de conselhos e grupos, para momentos formativos e comemorativos. Esses espaços podem ser anexos à igreja ou construídos em um ou mais edifícios separados, inclusive em outro logradouro. Em geral, são compostos por:

- a) o salão paroquial, um espaço amplo para acomodar grande número de pessoas;
- b) as salas de reuniões;
- c) salas para atividades pastorais específicas, conforme a realidade da paróquia;
- d) cozinha, para preparação de alimentos dos encontros e eventos promovidos;
- e) banheiros, em número suficiente;
- f) depósitos e almoxarifados.

Podem existir, ainda, grandes espaços abertos, no terreno da igreja ou nas proximidades, onde se costumam realizar festividades em honra aos santos padroeiros e nas datas comemorativas da Igreja.

No projeto dos espaços de evangelização e convivência devem ser seguidas as diretrizes municipais de regulação urbana. Se o complexo religioso tem um tamanho considerável, a prefeitura pode exigir que sejam disponibilizadas vagas de estacionamento.

5.7 Os espaços administrativos

As igrejas, quando sedes de uma paróquia, necessitam de espaços para a administração paroquial e atendimento aos fiéis: as secretarias, os arquivos e o escritório do padre. Almoxarifados e depósitos são também necessários, pois as igrejas costumam ter muitos equipamentos e elementos decorativos volumosos.

As paróquias em geral possuem ainda a casa paroquial, que serve de residência para os sacerdotes que ali trabalham e pode estar inserida no terreno da igreja (embora não seja comum atualmente), devendo possuir acesso independente e isolamento acústico das atividades realizadas nos demais edifícios (CNBB, 2013).

Cada igreja tem suas particularidades relativas ao local onde está inserida e à comunidade a que atende, existindo a possibilidade de dispensar alguns dos espaços mencionados ou requerer espaços específicos, ficando a cargo dos profissionais habilitados projetar estruturas que atendam a essas necessidades.

5.8 Aceitação da madeira em edifícios religiosos

A partir das premissas de projeto e do programa de necessidades, a concepção de uma igreja deve contemplar todos esses fatores e conjugá-los em uma arquitetura viável e esteticamente bela. Para que seja executável, são necessários materiais e técnicas de construção compatíveis com as condições ambientais e as ações as quais a estrutura estará sujeita ao longo de sua vida útil, bem como das características intrínsecas das funções de um edifício sagrado.

No Brasil, apesar da cultura contrária à construção com madeira, o material é muito utilizado no contexto religioso. Muitas igrejas, especialmente na região sul do país, foram erigidas em madeira e ainda subsistem (ZANI, 2013). As igrejas do período colonial, feitas de taipa, trazem a madeira incorporada à sua estrutura. Além disso, na grande maioria das igrejas, o mobiliário – altares, retábulos, bancos – é fabricado em madeira, assim como os forros, portas e a cobertura (ver tópico 2.1.2). Isso pode ser visto nos exemplos a seguir.

A Igreja Matriz de Sant’Ana, na cidade de Lavras, MG, é um templo católico em estilo neoclássico construído há aproximadamente 100 anos. Em seu interior, abriga um retábulo de madeira fabricado da década de 1930. Na Figura 36 é possível ver que todas as paredes da igreja são revestidas de madeira, criando um aspecto agradável e que favorece a acústica.

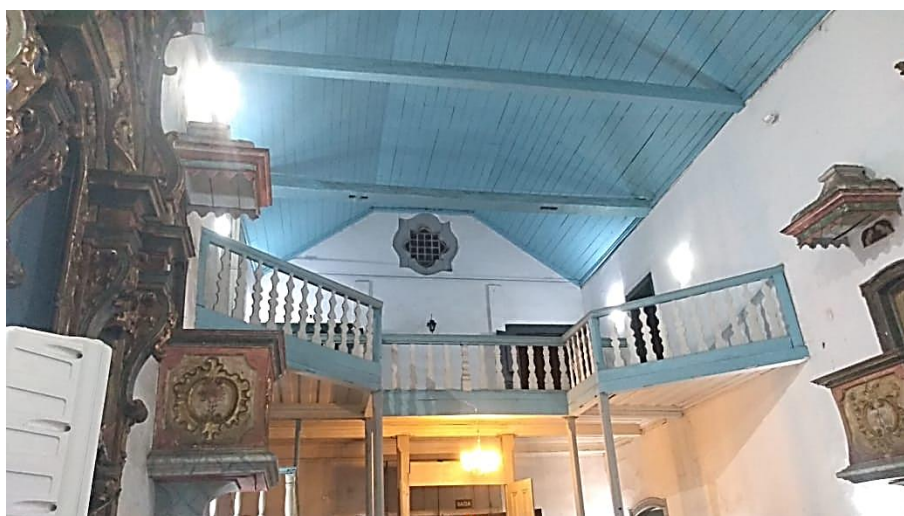
Figura 36 – Interior da Igreja Matriz de Sant’Ana, Lavras, MG.



Fonte: Do autor.

Na mesma paróquia se encontra a Igreja do Rosário (FIGURA 37), a mais antiga do município, com mais de 250 anos. Tombada pelo IPHAN, seu interior é repleto de peças de madeira, assim como a estrutura do coro e o forro.

Figura 37 – Interior da Igreja do Rosário, Lavras, MG.



Fonte: Do autor.

A Matriz Nossa Senhora Aparecida (FIGURA 38), também na cidade de Lavras, MG, e a Matriz Nossa Senhora da Conceição (FIGURA 39), município de Ijaci, MG, são igrejas que passaram por recentes reformas, adquirindo novos retábulos, altares e outras peças, todos fabricados em madeira.

Figura 38 – Retábulo da Igreja Matriz Nossa Senhora Aparecida, Lavras, MG.



Fonte: Do autor.

Figura 39 – Retábulos da Igreja Matriz Nossa Senhora da Conceição, Ijaci, MG.



Fonte: Do autor.

Dessa presença constante, pode-se inferir que a madeira tem grande aceitação nas igrejas e que a proposta de seu uso como elemento estrutural principal é uma opção viável.

6 CONSTRUIR EM MADEIRA: PROPOSTA DE UM ANTEPROJETO

As informações e premissas constantes neste trabalho são um ponto de partida para a concepção e desenvolvimento de projetos de igrejas e seus edifícios de apoio, notadamente em estrutura de madeira.

O projeto de um templo religioso, além de atender aos requisitos legais e normativos de construção e ocupação do espaço, deve ser condizente com a realidade da comunidade que nele reza e participa das celebrações e rituais. Cada local, mesmo dentro de uma mesma paróquia, tem suas singularidades e necessidades, o que se pressupõe que cada igreja é um projeto único, e assim o deve ser. No entanto, é muito possível que a estrutura da edificação seja replicada em mais de um local, desde que essa atenda à todas as condições solicitadas.

Dessa forma, o conteúdo apresentado a seguir se trata de um estudo inicial do projeto de uma igreja em estrutura de madeira, sendo um modelo genérico, numa tentativa de aplicar as diretrizes apresentadas neste trabalho.

6.1 Programa de necessidades

Tendo em vista que a proposta se refere a um modelo de projeto, o programa de necessidades é menos específico quanto às particularidades do local de implantação, para o qual deve ser avaliada a adequação ou não do modelo.

O projeto em questão é destinado para comunidades católicas de pequeno a médio porte, com capacidade estimada de 250 a 300 pessoas sentadas, podendo acomodar um número bem superior em ocasiões festivas e esporádicas (respeitado o limite de público definido pela legislação). Com o recente surgimento e crescimento de várias pequenas comunidades, faz-se necessária a construção de templos, em especial dotados de centros pastorais, para atender a esses fiéis localmente, em escala proporcional ao público e à sua realidade financeira, que não justificam e nem permitem grandes e dispendiosas obras.

O projeto da igreja necessita, no mínimo, dos seguintes espaços: presbitério e nave, sacristia e capela do Santíssimo, aos quais se acrescentam o coro, a capela do batismo e a capela da reconciliação. Além do templo em si, o projeto precisa contemplar um espaço de evangelização, com um salão, salas de reuniões, assim como espaços de convivência, com cozinha, banheiros e uma área livre para o público.

Como a ideia do projeto é para comunidades em geral, não se contempla, a priori, a instalação de espaços administrativos, como secretaria paroquial e escritório, bem como a casa

paroquial, que normalmente são necessários apenas na igreja sede de uma paróquia, de maior porte e capacidade. Todavia, não há impedimento para que o projeto seja destinado para sediar uma igreja matriz de uma paróquia, contanto que sejam feitas as adaptações necessárias, em terreno de área suficiente.

6.2 Concepção do projeto

A grandiosidade da teologia e liturgia da Igreja Católica e a riqueza de referências e símbolos que podem ser assimilados à concepção de uma igreja podem proporcionar projetos de qualidade ímpar.

O conceito que fundamenta o projeto se baseia nos formatos tradicionais e que dão o caráter de “igreja” ao templo, ou seja, volumetrias que permitem aos usuários e transeuntes reconhecerem à vista o espaço como um lugar destinado à oração. A característica mais singular e significativa do projeto é, no caso, sua estrutura: um “esqueleto” de sustentação em pórticos, pilares e vigas de madeira laminada colada, tendo as vedações confeccionadas em estrutura leve de madeira – *wood light frame*.

O layout da construção se dá da seguinte maneira, como pode ser observado nas pranchas anexas: um volume central, similar a um “galpão de madeira”, gera os espaços principais do presbitério e da nave, ao qual se acrescentam outros volumes menores. Na entrada, um volume alto e estreito, à semelhança de uma torre, porém sem a ser, dá origem ao átrio, com uma porta esbelta: alta, convidando quem passa a entrar, estreita, parafraseando o Evangelho de Marcos, capítulo primeiro, mas suficientemente larga para atender à legislação. As saliências dispostas no contorno desse volume remetem ao aspecto religioso do edifício, num formato que lembram mãos postas em oração, apontando para o céu. Ao lado estão dispostas as capelas do batismo e da reconciliação, parcialmente integradas ao todo. Acima, o coro, acessível pela escada, onde se localizam também os equipamentos de controle de som e iluminação cênica.

A nave, alta e estreita, proporciona a sensação de acolhimento, com grandes portas laterais, as quais permitem que um número superior de pessoas possa assistir aos serviços religiosos em dias de maior concentração de público. O presbitério ocupa uma parte considerável do espaço integrado, para permitir o trânsito dos ministros com suficiente folga, sendo um pouco elevado para assegurar uma boa visibilidade. Próximo ao presbitério, em volumes simétricos, estão dispostos: à esquerda a capela do Santíssimo e à direita a sacristia.

Na parte posterior, conjugada à parede do fundo do presbitério, um volume prismático abriga os espaços de evangelização – ou centro pastoral – em dois pavimentos: no nível térreo,

duas salas de reuniões, instalações sanitárias e cozinha; no nível superior, mais duas salas de reuniões, além do salão principal.

A planta baixa da edificação, ao final das disposições de ambientes, se assemelha à uma cruz bizantina, dentro da qual se vislumbra a cruz latina tradicional, numa referência ao secular formato das igrejas. A cobertura de madeira, em duas águas e quatro níveis (central, capelas altas, capelas baixas e centro pastoral), tem beirais largos, entre 60 cm a 100 cm, avançando de forma triangular nas fachadas frontal e posterior, para proteger a estrutura de madeira da insolação e dos eventos de chuva.

O formato final da edificação, em função da proporção dos volumes e da geometria e inclinação da cobertura, transmite para as pessoas que a visualizarem a ideia de templo, de igreja, ideia corroborada e confirmada pela presença da cruz no topo, elemento sempre presente nas fachadas das igrejas. Além disso, transmite também a ideia de uma casa, no tradicional formato ao qual se associa o conceito de lar familiar (sem que se confunda o edifício com uma residência de fato pelas dimensões grandiosas), correspondendo o edifício-igreja à “Casa de Deus” e, também, a casa da comunidade religiosa que ali se reúne para celebrar e rezar.

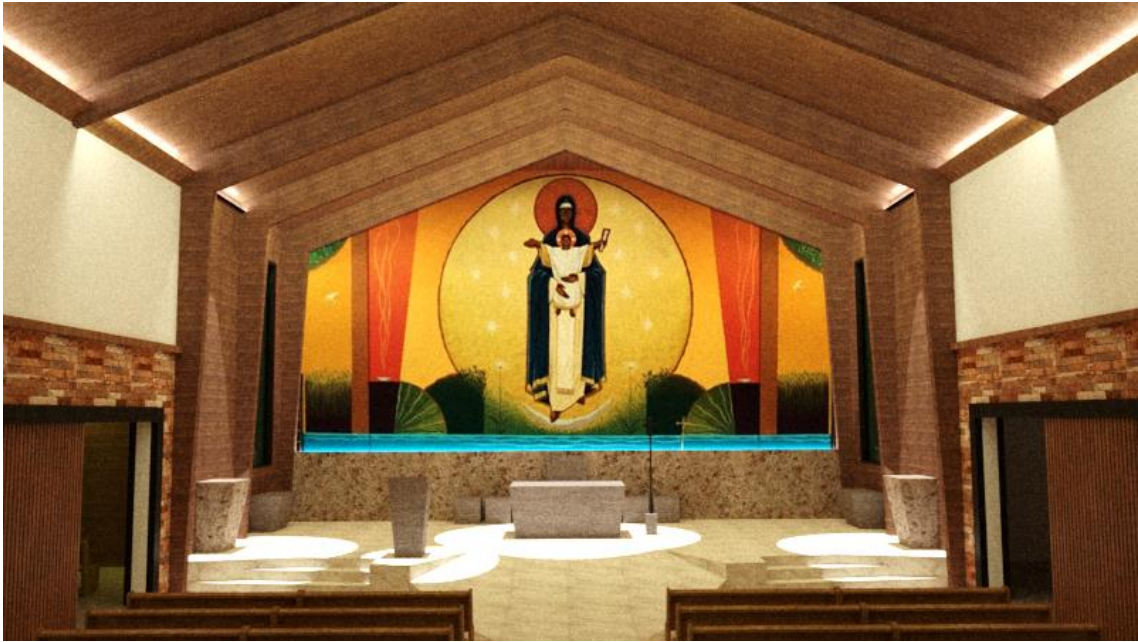
6.3 Desafios

O projeto presente ainda se encontra em fase de estudo, diversos detalhes ainda precisam ser melhor estudados, bem como é necessária a compatibilização das disciplinas de projeto – principalmente o projeto estrutural, visto que a estrutura é projetada para ser fabricada *off site* e montada no local. Ainda assim, o estado atual do estudo oferece uma perspectiva onde já é previsível o potencial da tipologia estrutural adotada para tal uso.

6.4 Perspectivas

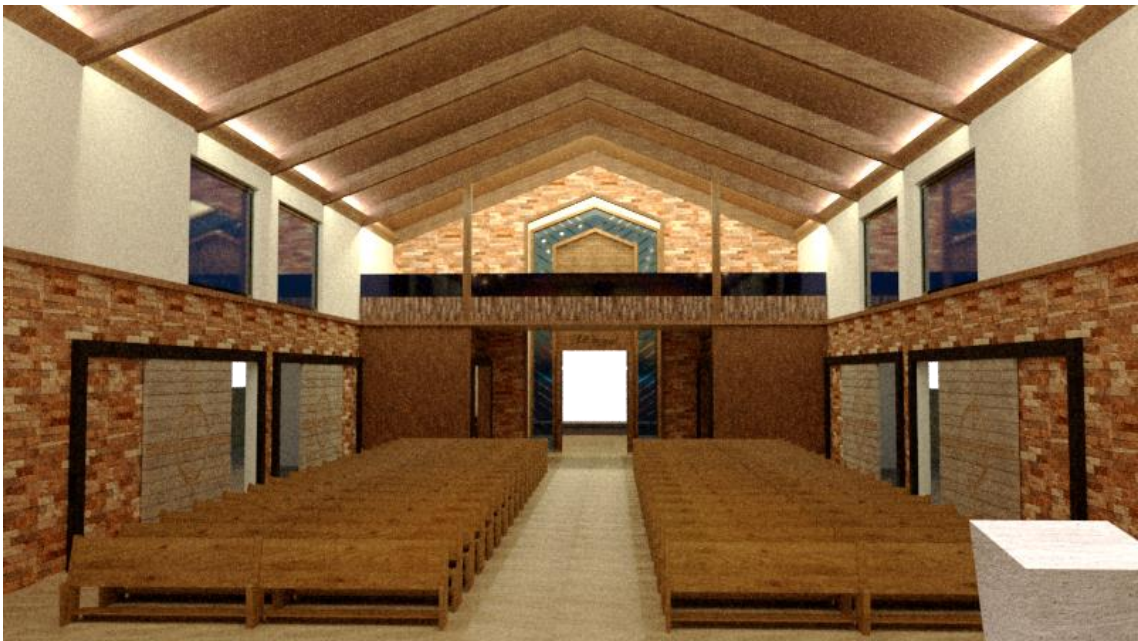
A seguir estão dispostas algumas imagens renderizadas (FIGURAS 40 a 45) a partir da modelagem arquitetônica inicial do projeto, para facilitar a visualização, do exterior e interior. É possível visualizar as vigas de madeira laminada colada que sustentam a cobertura e, no presbitério, o modo como formam pórticos completos aparentes, auxiliando na setorização dos espaços. O uso da madeira na estrutura não implica necessariamente que o material esteja exposto, mas a concepção do projeto torna as partes aparentes de madeira, associadas aos demais materiais e revestimentos, esteticamente agradáveis.

Figura 40 – Vista do presbitério.



Fonte: Do autor.

Figura 41 – Vista da nave da igreja a partir do presbitério.



Fonte: Do autor.

Figura 42 – Vista externa diurna.



Fonte: Do autor.

Figura 43 – Fachada frontal diurna.



Fonte: Do autor.

Figura 44 – Vista externa noturna com iluminação.



Fonte: Do autor.

Figura 45 – Fachada frontal noturna com iluminação.



Fonte: Do autor.

7 CONCLUSÃO

A madeira faz parte da história da humanidade desde o seu início, acompanhando e possibilitando a evolução dos povos, como presença constante nas mais variadas formas e situações. Notadamente, a madeira sempre esteve presente nas construções, e assim o permanece, em menor ou maior grau de participação, da estrutura ao revestimento, assim como nos móveis e utensílios. Falar da história da arquitetura envolve invariavelmente em falar da madeira.

Embora, no contexto brasileiro, outros materiais de construção tenham se consolidado na construção civil, a madeira jamais deixou de fazer parte das edificações, ao menos em alguma etapa de sua construção, constituindo um elemento vital para o seu desenvolvimento. A vertente ecológica da madeira, em detrimento dos grandes impactos gerados pelo concreto e pelo aço, é justificativa suficiente para que sua participação cresça significativamente no mercado da construção civil.

Com base nas informações apresentadas neste trabalho, a madeira é um material que apresenta excelentes propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas. Sem desqualificar os materiais convencionais, amplamente utilizados com desempenho satisfatório, a madeira se apresenta como uma relevante opção para tal fim, podendo obter, se corretamente utilizada, uma performance que pode superar os padrões tradicionais. Se percebe, nos últimos anos, uma tendência ao retorno das estruturas de madeira, desta vez abarcadas em tecnologia e pelos estéticos atraentes para os padrões atuais. Sob essa ótica, as técnicas de construção como o sistema plataforma e a madeira laminada colada, que já dominam o setor nos países desenvolvidos, se mostram promissoras para atender as demandas brasileiras, o que inclui a edificação de templos e espaços religiosos.

Não é uma inovação propriamente dita a proposta de erigir igrejas utilizando a madeira como material de construção, haja vista que já é empregada para tal fim há muitos séculos. Mas é inovador, tendo em vista o dispendioso e demorado processo de construção de uma obra de maior vulto, como é o caso de uma igreja, o uso de sistemas leves em madeira de rápida execução, que carregam consigo, se não ainda custos atrativos, uma relação custo-benefício formidável, sobretudo nos aspectos ambientais e estéticos.

Assim, é procedente afirmar que a proposta deste trabalho de demonstrar a aptidão da madeira como componente estrutural para a construção de espaços religiosos é coerente e condizente com a potencialidade desse extraordinário material.

REFERÊNCIAS

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

ABREU, Luciana Barbosa de. **Ensaio não destrutivo para avaliação da integridade de elementos estruturais de madeiras em construções históricas**. 2010. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ACOSTA, M. S., MASTRANDREA, C.; ZAKOWICZ, N.; LACHANCE, D. **Curso: Construcción en madera con tecnología canadiense adaptada a Argentina**. UNLP, La Plata, Argentina. 11 a 15 maio 2015.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**: volume 5. São Paulo, SP: E. Blücher, 2011. 141 p. (Sustentabilidade, v. 5).

BENADUCE, C. **Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden e Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret e Golfari**. 1998. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11149/tde-20190821-114000/pt-br.php>>. Acesso em: 19 out. 2019.

BÍBLIA Sagrada de Aparecida. 7. ed. Aparecida, SP: Santuário, 2010. 1920 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo, SP: Nobel, 1991. 154 p.

CALIL JÚNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, SP: Manole, 2003. 152 p.

CAPTIVO, M. T. M. **Arquitetura de espaços religiosos contemporâneos: análise morfológica**. 2016. 119 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitetura) – Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/ma/dissertacao/846778572211659>>. Acesso em: 19 out. 2019.

CONFERÊNCIA NACIONAL DOS BISPOS DO BRASIL. **Orientações para projeto e construção de igrejas e disposição do espaço celebrativo**. São Paulo, SP: Paulus, 2013. 144 p. (Estudos da CNBB, v. 106).

CÓDIGO de Direito Canônico. 23. ed. rev. São Paulo, SP: Loyola, 2015. 504 p.

CATECISMO da Igreja Católica. 23. ed. rev. São Paulo, SP: Loyola, 1999. 944 p.

COSTA, Lúcio. **A arquitetura dos jesuítas no Brasil**. Revista do serviço do patrimônio histórico e artístico nacional. Rio de Janeiro, RJ, n. 5, p. 128-195, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-53202010000200009>>. Acesso em: 7 out. 2019.

DONNINI, D.; JOSÉ, S. **Aumentam os católicos no mundo. Diminui o número de sacerdotes.** Vatican News, Cidade do Vaticano, 7 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.vaticannews.va/pt/vaticano/news/2019-03/aumentam-catolicos-mundo-diminui-numero-sacerdotes.html>>. Acesso em: 18 out. 2019.

DUART, M. A. et al. **Sistemas construtivos.** Curitiba, PR: Livro Técnico, 2013. 104 p.

FAUST, E. Sobre la Práctica de la Construcción Sacra Católica: El modernismo a la luz del Concilio Vaticano II en la Iglesia Santo Antônio, Minas Gerais, Brasil. **Arquitectura y Cultura**, Escuela de Arquitectura, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, v. 9, n. 9, p. 110-125, 2017. Disponível em: <<http://www.arquitecturaycultura.com/assets/articulo5.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2019.

FERNANDES, J. C. T. da R. **A história da madeira como material na arquitetura.** 2013. Dissertação (Mestrado Integral em Arquitetura) – Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ulusiada.pt/handle/11067/834>>. Acesso em: 3 out. 2019.

GESUALDO, F. A. R. **Estruturas de madeira:** notas de aula. Uberlândia: [s.n.], 2003. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

GONÇALVES, J. M. C. **Desenhar com madeira.** 2012. Dissertação (Mestrado Integral em Arquitetura) – Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ulusiada.pt/handle/11067/308>>. Acesso em: 3 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório 2019.** São Paulo, SP: [s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção e Extração Vegetal e da Silvicultura.** Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/15f538e9095614fc3204f828b22fa714.pdf>. Acesso em: 3 out. 2019.

JOHNSON, C.; JOHNSON, S. **O espaço litúrgico da celebração:** guia litúrgico prático para a reforma das igrejas no espírito do Concílio Vaticano II. São Paulo, SP: Loyola, 2006.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães: CITCEM, 2012. p. 201-213. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/26503>>. Acesso em: 3 out. 2019.

LYRA, C. C. 2006. Prefácio. In: ANDREACCI, F.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Madeiras históricas do barroco mineiro: interfaces entre o patrimônio cultural material e a anatomia da madeira. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 62, n. 2, p. 241-251, abr./jun. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201162202>>. Acesso em: 11 out. 2019.

MEIRELLES, C. R. M. et al. Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. In: FÓRUM DE PESQUISA FAU MACKENZIE, 3., 2007, São Paulo, SP. **Anais eletrônicos...** São Paulo, SP: Mackenzie, 2007. p. 1-6. Disponível em: <https://www.academia.edu/35298662/MACK_III_FORUM_CELIA_REGINA>. Acesso em: 5 out. 2019.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. 4. ed. Curitiba, PR: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/propriedades%20da%20madeira.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

PASTRO, C. A casa da beleza. **Vida Pastoral**, v. 50, n. 267, p. 7-14, jul./ago. 2019. Disponível em: <<https://www.vidapastoral.com.br/artigos/liturgia/a-casa-da-beleza/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

PEREIRA, Andréa Franco. **Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição**. São Paulo, SP: Blucher, 2013. 132 p.

PERLIN, J. **História das florestas: a importância da madeira no desenvolvimento da civilização**. Rio de Janeiro, RJ: Imago, 1992. 490 p.

PERLIN, J. A forest journey - the story of wood and civilization. 2005. In: FERNANDES, J. C. T. da R. **A história da madeira como material na arquitetura**. 2013. Dissertação (Mestrado Integral em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ulusiada.pt/handle/11067/834>>. Acesso em: 3 out. 2019.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5**. 6. ed., rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2003. xii, 224 p.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo, SP: Zigurate, 2000. 271 p.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Ed.) **Natural polymers and agrofibers based composites**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. p.115-134.

SAGRADA CONGREGAÇÃO PARA O CULTO DIVINO. **Instrução Geral do Missal Romano**. São Paulo, SP: Paulus, 1992. 1088 p.

STUNGO, N. **Wood: new directions in design and architecture**. Sacramento: Chronicle Books, 2001. 240p.

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de madeira**. 3. ed. Florianópolis: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/Apostila_Madeiras_2015-1.pdf>. Acesso em: 8 out. 2019.

TENÓRIO, L. L.; NASCIMENTO, F. B. C. Perfil e memórias do elemento estrutural: madeira. **Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 3, p. 147-162, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/3713>>. Acesso em: 7 out. 2019.

TORRES, J. T. C. **Sistemas construtivos modernos em madeira**. 2010. 166 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/JoaoTorrespdf/Sistemas%20construtivos%20em%20madeira.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

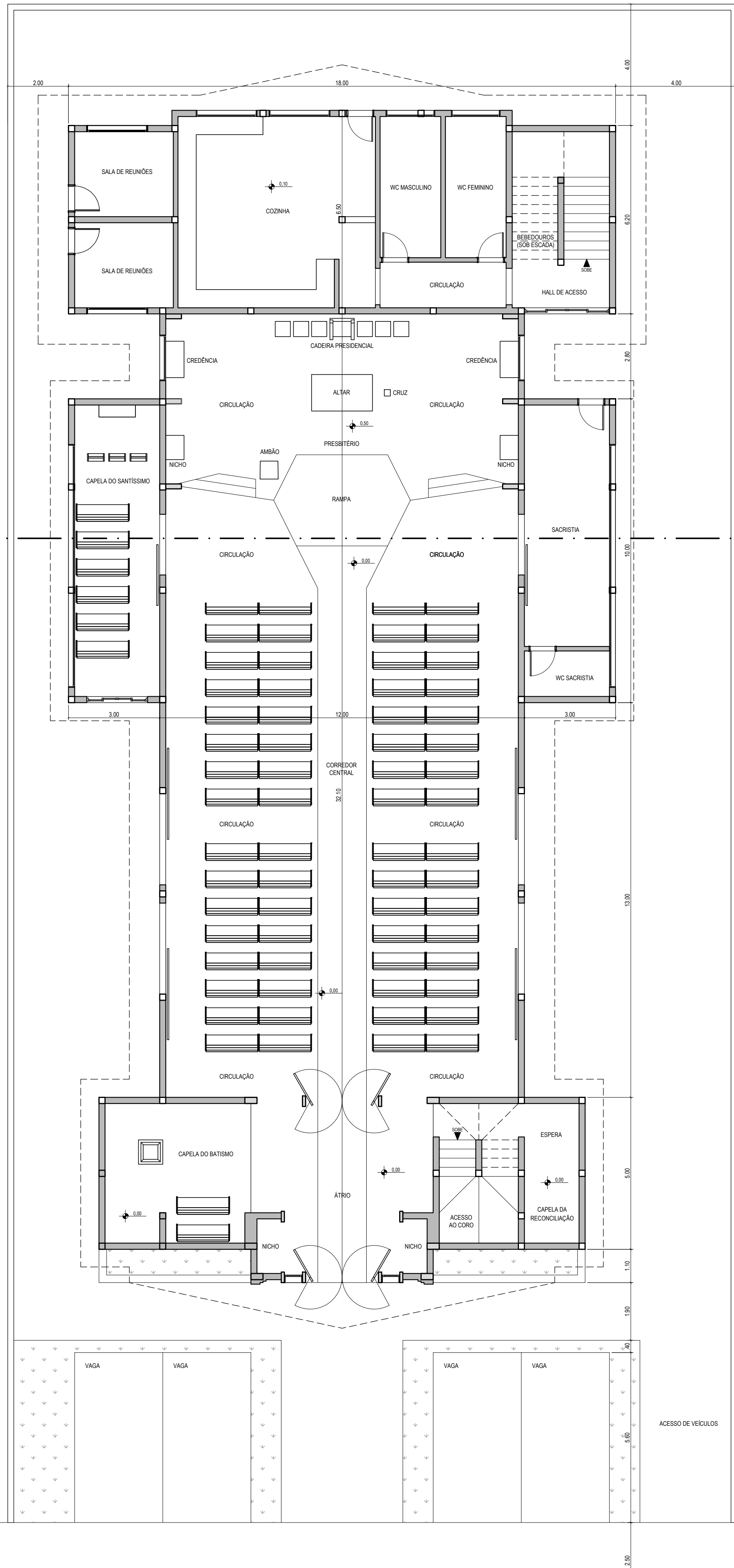
VIEIRA, C. N. Legitimação da precariedade da taipa de mão no Brasil por políticas públicas de habitação rural, entre outros. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA, 19., 2019, Oaxaca, México. **Anais eletrônicos...** Oaxaca, México: [s.n.], 2019. Disponível em: <http://ibomex.org/archivos/resumen/3a_19_SIACOT_Artigo_exemplo_pt.pdf>. Acesso em: 19 out. 2019.

WEIMER, G. Evolução da Arquitetura Indígena. **Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 13 mai. 2014. Disponível em: <<https://www.ihgrgs.org.br/artigos/membros/G%C3%BCnter%20Weimer%20-%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20Arquitetura%20Ind%C3%ADgena,%202014.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2019.

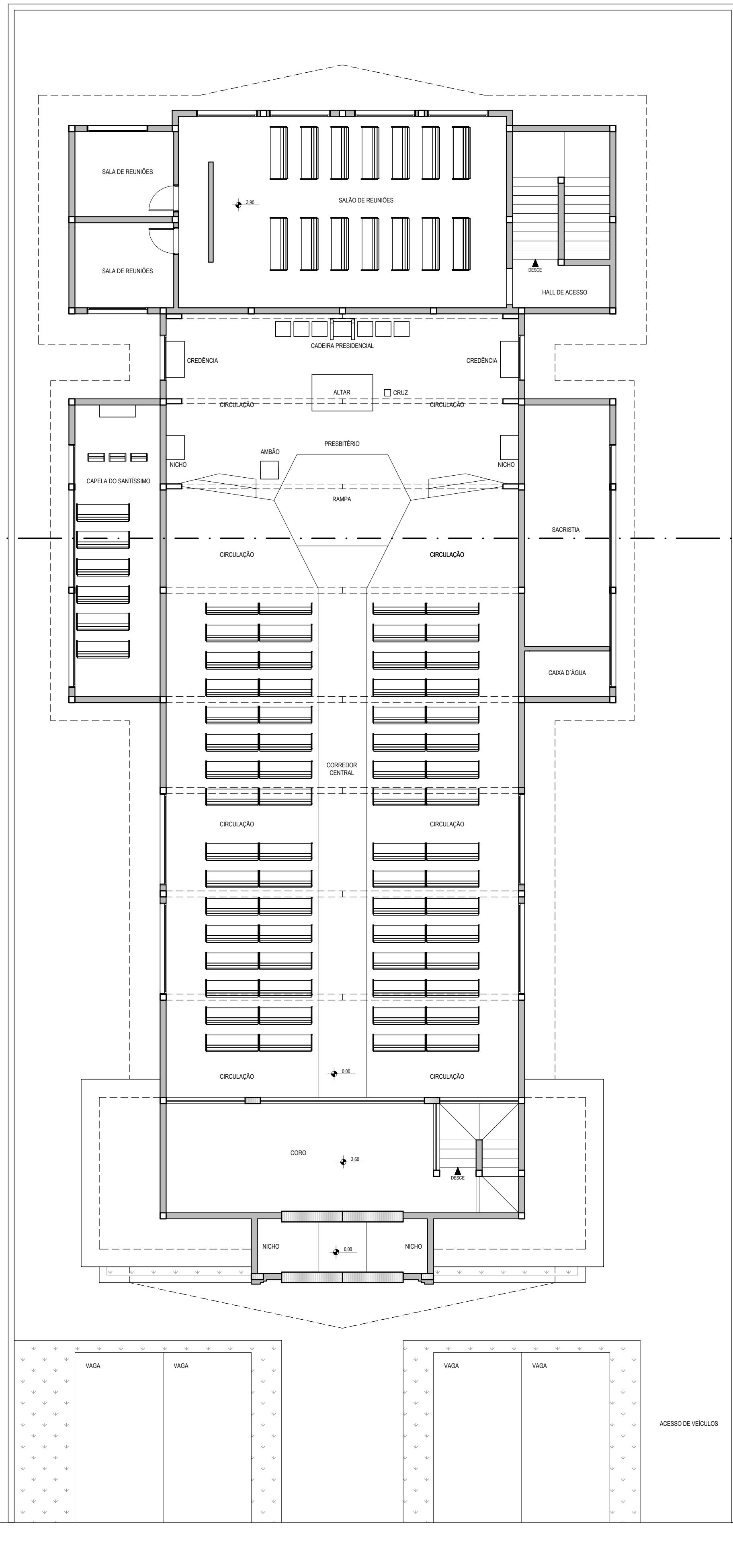
ZANI, A. C. Capelas. In: _____. **Arquitetura em madeira**. Londrina, PR: Eduel, 2013. 396 p. Disponível em: <http://www.uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura%20em%20madeira_digital.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

APÊNDICE A – ANTEPROJETO DE UMA IGREJA EM MADEIRA

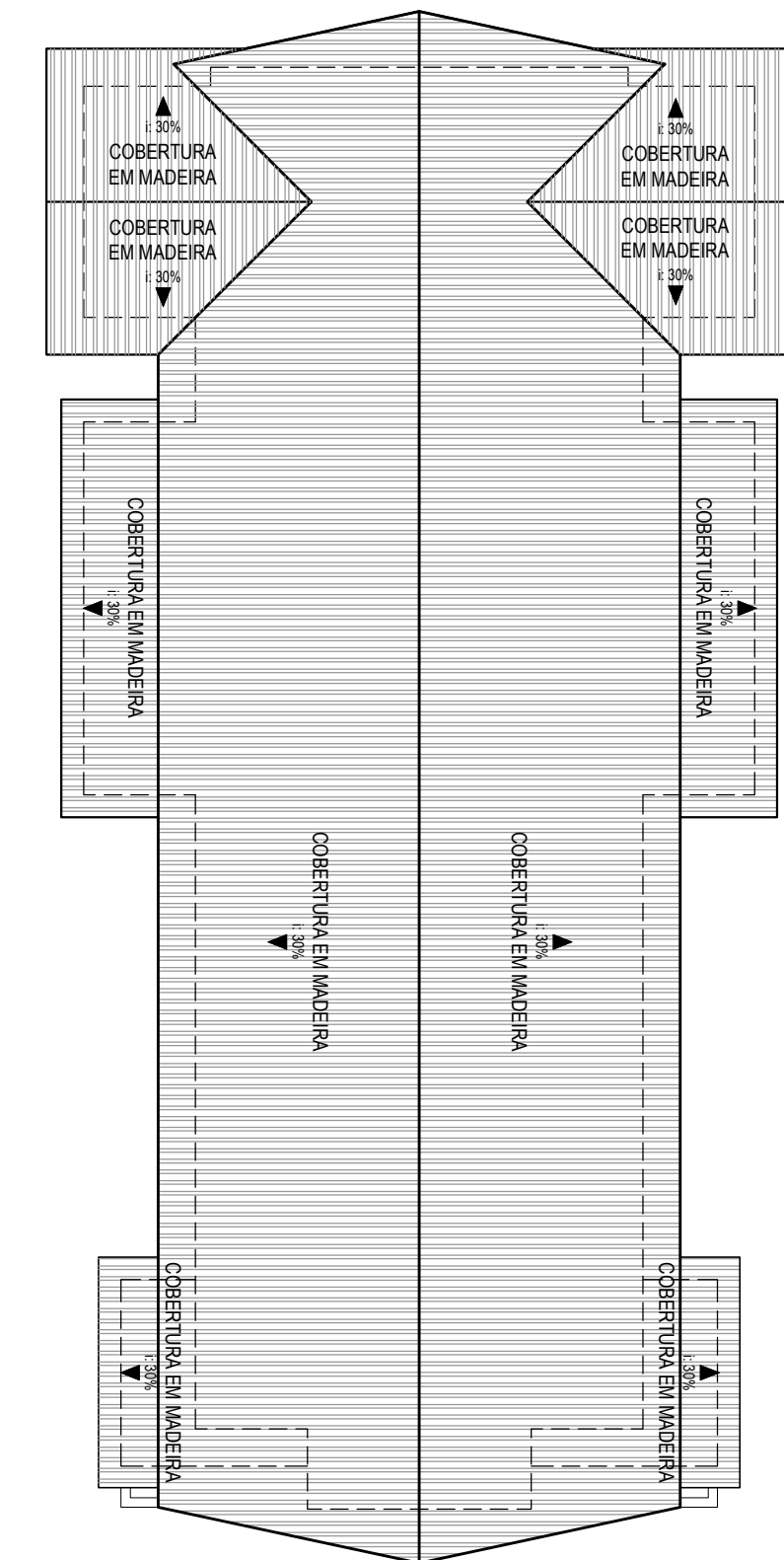
Consta neste apêndice uma prancha em formato A1, contendo as plantas baixas, um corte esquemático e o diagrama de cobertura da igreja proposta.



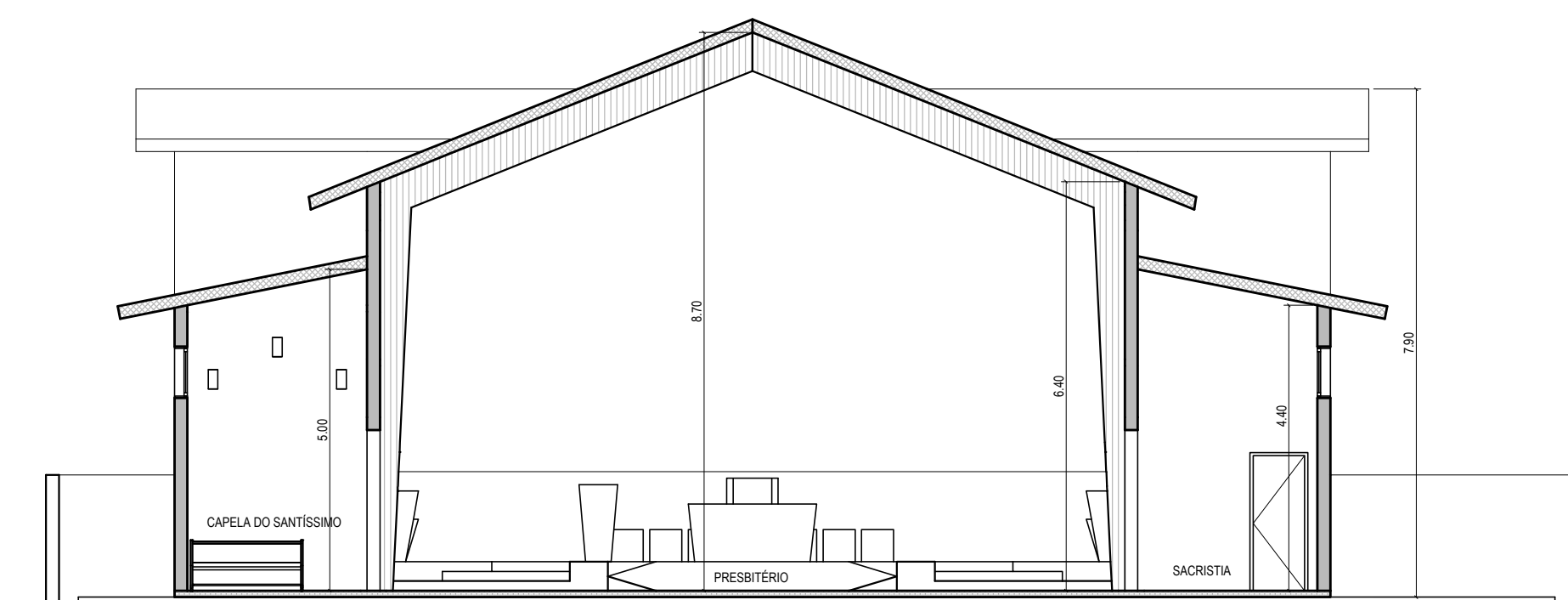
ESTUDO DE PROJETO
PLANTA BAIXA - NÍVEL TÉRREO
 ESCALA 1:100 - ÁREA: 88,99 m²



ESTUDO DE PROJETO
PLANTA BAIXA - NÍVEL SUPERIOR
 ESCALA 1:100 - ÁREA: 100,00 m²



ESTUDO DE PROJETO
COBERTURA
 ESCALA 1:200



ESTUDO DE PROJETO
CORTE A-A
 ESCALA 1:100

SIMBOLOGIAS	
[Pattern]	MADEIRA LAMINADA COLADA
[Pattern]	WOOD LIGHT FRAME
[Pattern]	PILARES DE MLC
[Pattern]	COBERTURA EM MADEIRA
[Pattern]	PLATAFORMA EM MADEIRA



PROJETO			
ESTUDO DE PROJETO PADRÃO DE IGREJA EM ESTRUTURA DE MADEIRA (MLC + WLF)			
CONTEÚDO	PLANTAS BAIXAS (TÉRREO E SUPERIOR), CORTE A-A, COBERTURA	UNIDADE	m
DESENHO	BRUNO ANTONIO DA SILVA	DATA	01/11/2019
		ESCALA	INDICADA
		FOLHA	1/1