



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

SILVIA BETANIA SCALI

**SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM MADEIRA:
ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE VEDAÇÕES**

CAMPINAS
2021

SILVIA BETANIA SCALI

**SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM MADEIRA:
ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE VEDAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Tadeu Mascia

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA SILVIA BETANIA SCALI ORIENTADA PELO PROF. DR. NILSON TADEU MASCIA.

ASSINATURA DO ORIENTADOR



CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Sca45s Scali, Silvia Betania, 1977-
Sistema construtivo híbrido com madeira : análise de diferentes tipos de vedações / Silvia Betania Scali. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Nilson Tadeu Mascia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Construções híbridas. 2. Corymbia Citrodora. 3. Patologia. 4. Madeira - Vedação. 5. Sustentabilidade. 6. Desenvolvimento sustentável. I. Mascia, Nilson Tadeu, 1956-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Hybrid construction system with timber: analysis of different types of walls

Palavras-chave em inglês:

Hybrid constructions

Corymbia

Pathology

Wood – Wall

Sustainability

Sustainable development

Área de concentração: Construção

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Nilson Tadeu Mascia [Orientador]

Patrícia Stella Pucharelli Fontanini

Akemi Ino

Data de defesa: 26-01-2021

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-4940-2118>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/3420150561897203>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO COM MADEIRA:
ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE VEDAÇÕES**

Silvia Betania Scali

Dissertação de Mestrado aprovado pela Banca Examinadora, constituída por:

**Prof. Dr. Nilson Tadeu Mascia
Presidente e Orientador/Universidade Estadual de Campinas**

**Profa. Dra. Patricia Stella Pucharelli Fontanini
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dra. Akemi Ino
Universidade de São Paulo**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 26 de janeiro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida e da saúde para buscar meus objetivos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nilson Tadeu Mascia, pelo apoio e motivação nas horas mais difíceis e por compartilhar um pouco de seu vasto conhecimento e experiência com tanta humildade e paciência.

À empresa Scali Mendes Arquitetura Sustentável, pelo apoio financeiro e a toda sua equipe, por darem todo suporte necessário durante minha ausência.

Aos professores do programa de Pós-graduação da FEC e da FEAGRI, que ministraram as disciplinas que cursei ou que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Aos funcionários de todos os setores da Unicamp, os quais sempre estiveram prontamente dispostos a dar suporte nas pesquisas e demais atendimentos.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Estruturas de Madeiras da FEC, por todo apoio, motivação e amizade.

E finalmente, à minha família, em especial aos meus filhos Guilherme e Gabriela, pela compreensão em virtude da minha ausência e sobretudo porque são minha motivação e força maior. Ao meu esposo, Luis Gustavo, pelo incentivo nos momentos de dúvidas e cansaço. Por fim, dedico esse trabalho aos meus pais, Neusa e Valdir, meus avós e meu tio Valdir, responsáveis por eu ser quem sou.

RESUMO

A construção civil gera uma quantidade significativa de resíduos, além de consumir energia e materiais não renováveis em suas demandas, causando preocupações crescentes que tornam importante buscar soluções envolvendo novas tecnologias construtivas. No setor da construção civil, os sistemas construtivos em madeira focam principalmente em sustentabilidade e na industrialização das construções, contribuindo com aspectos ambientais, sociais e econômicos. Neste contexto, os sistemas construtivos em madeira, tipo pilar-viga, *wood frame* ou CLT (*Cross laminated timber*), apresentam potencial na substituição daqueles convencionais de construção. Além destes sistemas, destacam-se os híbridos, que mesclam diferentes materiais de construção, tendo as peças de madeira a função estrutural principal. Este estudo analisa edificações constituídas de sistemas estruturais híbridos, que utilizam peças estruturais roliças de madeira de reflorestamento da espécie *Corymbia Citriodora* com diferentes tipos de vedações, tendo o sistema estrutural principal em pilar-viga. O objetivo é identificar manifestações patológicas encontradas na interface de diferentes materiais, avaliar as diretrizes de projeto e execução adotadas, bem como correlacioná-las com as patologias e possíveis causas, evidenciando-se as vantagens e desvantagens entre os materiais utilizados. Foi realizada análise a partir de pesquisa empírica de manifestações patológicas conhecidas e relatadas de sete edificações com diferentes idades, com três diferentes tipos de materiais para vedações empregadas: blocos de concreto, cerâmicos e placas de *drywall* e cimentícias. Deste modo, registrou-se projeto, execução e patologias, apresentando manutenções preventivas e corretivas para melhorar o desempenho e vida útil das construções híbridas. Além disto, foram analisados os métodos de ligação na interface da madeira e alvenarias, utilizando-se plantas arquitetônicas e registros fotográficos desde a execução até o presente momento. Com base nos resultados obtidos, as discussões relatam as técnicas de execução, possíveis agentes causadores das patologias encontradas e visam contribuir com informações técnicas sobre construções híbridas, que utilizem madeira em seu sistema construtivo bem como os materiais passíveis de serem utilizados em tais edificações. Observa-se que as placas cimentícias e *drywall* tiveram melhor desempenho com pequenas fissuras, ao passo que os blocos de concreto e cerâmicos evidenciaram trincas e fissuras mais significativas. Neste contexto, a escolha dos materiais de vedação que apresentam melhor compatibilidade na interface com a madeira e o sistema estrutural híbrido, utilizando técnicas de fixação adequadas, bem como a junção de projeto, execução e as manutenções preventivas são soluções eficazes para este tipo de construção.

Palavras-chave: Sistema construtivo híbrido, *Corymbia Citriodora*, Patologia, Vedações, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction generates a significant amount of waste, besides consuming energy and non-renewable materials in its demands, causing growing concerns that make it important to seek solutions involving new construction technologies. In the civil construction sector, wood construction systems focus mainly on sustainability and the industrialization of construction, contributing with environmental, social and economic aspects. In this context, timber construction systems, such as beam-pillar, wood frame or CLT (Cross laminated timber), have the potential to replace those conventional construction systems. Besides these systems, hybrids stand out, which mix different construction materials, having wood pieces as the main structural function. This study analyses buildings made up of hybrid structural systems, which use structural pieces of reforested wood of the *Corymbia citriodora* species with different types of walls, having the main structural system in beam-pillar. The objective is to identify pathological manifestations found at the interface of different materials, to evaluate the design and execution guidelines adopted, as well as to correlate them with the pathologies and possible causes, highlighting the advantages and disadvantages among the materials used. An analysis was carried out based on empirical research of known and reported pathological manifestations of seven buildings of different ages, with three different types of wall materials used: concrete blocks, ceramics and drywall and cementitious plates. Thus, design, execution and pathologies were registered, presenting preventive and corrective maintenance to improve the performance and useful life of hybrid constructions. Moreover, the connection methods in the timber and masonry interface were analyzed, using architectural plans and photographic records from the execution to the present moment. Based on the results obtained, the discussions report the execution techniques, possible agents that cause the pathologies found and aim to contribute with technical information about hybrid constructions that use timber in their construction system as well as the materials that can be used in such buildings. It is observed that the cement plates and drywall had better performance with small cracks, while the concrete and ceramic blocks showed more significant cracks and fissures. In this context, the choice of sealing materials that present better compatibility in the interface with wood and the hybrid structural system, using adequate fixation techniques, as well as the project junction, execution and preventive maintenance are effective solutions for this type of construction.

Keywords: Hybrid construction system, *Corymbia Citriodora*, Pathology, Walls, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Centro Pompidou, Metz, França	23
Figura 2 – Perspectiva do Park Hotel Nova Friburgo - RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944	24
Figura 3 - Park Hotel Nova Friburgo – RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944 a	24
Figura 4 – Park Hotel Nova Friburgo – RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944 b	25
Figura 5 – Casa Pinho, Irati-SC	25
Figura 6 – Novos conceitos em desenvolvimento	26
Figura 7 – Crescimento do setor do plantio de árvores x outros setores brasileiros, 2019	28
Figura 8 – Crescimento na arrecadação de tributos pelo crescimento no setor de árvores plantadas, 2019	28
Figura 9 – Investimentos do Setor Florestal/Madeireiro, 2019	29
Figura 10 – Porcentagem de plantio de madeiras de reflorestamento no Brasil, 2019	29
Figura 11 – Casa com estrutura pilar-viga de madeira e vedações em <i>steel-frame</i> - Casa Gianvecchio, Cajamar-SP, 2013	31
Figura 12 – Classificação das tipologias construtivas de edificações segundo Kolb	33
Figura 13 – Comparativo Frame (Kolb) x Pilar-Viga (ScaliMendes)	36
Figura 14 – Exemplo de um piso concreto-madeira utilizado na Europa, em construções mistas	37
Figura 15 - Instituto Dona Ana Rosa, situado na cidade de São Paulo, São Paulo	39
Figura 16 - Exemplo de perfis de metálicos sendo instalados no sistema pilar-viga de madeira	40
Figura 17 - Obra em andamento em 2013	41
Figura 18 - Torre de Cristal, localizada em Madrid, na Espanha	44
Figura 19 - Centro administrativo da Petrobrás, em Macaé, Rio de Janeiro	44
Figura 20 - Gráfico da Lei de Evolução de Custos: custos relativos à fase de intervenção	46

Figura 21 - Gráfico Relação custos de Aquisição x Custos de Manutenção e Reparo sobre o ponto do custo do ciclo de vida (CCV)	47
Figura 22 – Análise das origens patológicas nas edificações brasileiras	48
Figura 23 – Fissuras no reboco causadas por problemas na estrutura autônoma e Infiltração ascendente e erosão por respingo de chuva – apodrecimento do pilar de madeira	50
Figura 24 - Exemplos de patologias ocorridas em LSF	51
Figura 25 – Fixação de montantes em estrutura pilar-viga de madeira roliça	52
Figura 26 – Obra em andamento e finalizada, registros fotográficos pós execução em 2013 e 2019	53
Figura 27 – Tabela 22 da NBR 7190: Categoria de uso da madeira	55
Figura 28 – Aplicação conforme tabela de categoria de uso	55
Figura 29 – <i>Eucalyptus</i> para tratamento entrando em autoclave	56
Figura 30 – Classes de resistência para dicotiledôneas	56
Figura 31 - Método de investigação: estudo de caso – esquema de planejamento metodológico	64
Figura 32 - Edificação da residência A	75
Figura 33 - Edificação da residência B	78
Figura 34 - Edificação da residência C	82
Figura 35 - Edificação da residência D	85
Figura 36 - Edificação da residência E (a)	88
Figura 37 – Registro de manutenção na parede de estudo da residência E	91
Figura 38 - Edificação residência E (b)	92
Figura 39 - Edificação residência E (c)	93
Figura 40 - Edificação residência E (d)	94
Figura 41 - Edificação residência F (a)	95
Figura 42 - Edificação residência F (b)	97
Figura 43 - Edificação residência G	99
Figura 44 - Detalhes executivos	103
Figura 45 – Registros de patologias e reparos em estudos anteriores	104
Figura 46 - Instalação de pregos metálicos na interface madeira/alvenaria	104
Figura 47 - Gráfico de inchamento e retração	106

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADROS

Quadro 1 - Classificação das aberturas conforme sua espessura	49
Quadro 2 - Residências analisadas, 2019	66
Quadro 3 - Informações de levantamento de dados das obras projetadas, executadas e analisadas, 2019	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPM	Associação Brasileira de Preservação de Madeira
ACA	Arseniato de Cobre Amoniacal
ACC	Cromato de Cobre Ácido
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
CLT	Cross Laminated Timber
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FFTT	Find the Forests Through the Trees
FPL	Forest Products Laboratory
FTC	Finnish Timber Council
FUPEF	Fundação de Apoio a Universidade Federal do Paraná
IBDA	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura
LSF	<i>Light Steel Frame</i>
MLC	Madeira Laminada Colada
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organizações das Nações Unidas
OSB	Oriented Strand Board
PU	Poliuretano
UPM	Usina de Preservação Madeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVOS GERAIS	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	CONTEXTO HISTÓRICO À ATUALIDADE DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA ROLIÇA	20
3.2	MADEIRA E SUAS APLICAÇÕES	26
3.3	SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA	29
3.3.1	Estruturas de madeiras mistas	36
3.4	SUBSISTEMAS DE VEDAÇÕES	38
3.4.1	Steel frame - Fechamentos externos com placas cimentícias	39
3.4.2	Steel frame - Fechamentos internos em gesso acartonado (drywall)	40
3.5	SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO	41
3.6	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	44
3.6.1	Manifestações patológicas em madeira	50
3.6.2	Manifestações patológicas em steel frame	51
3.6.3	Manifestações patológicas do sistema híbrido: madeira x steel frame	52
3.7	AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO E DURABILIDADE DAS MADEIRAS	53
3.7.1	Preservação de madeiras	58
3.7.2	Tipos de preservantes e Selo Qualitrat	60
4	METODOLOGIA	62
5	DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ANALISADAS	66
6	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	74
6.1	CASO A	74
6.2	CASO B	78
6.3	CASO C	81
6.4	CASO D	84
6.5	CASO E	87
6.6	CASO F	95
6.7	CASO G	98
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	101
7.1	PATOLOGIA NOS MATERIAIS	101
7.2	PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE UM PAVIMENTO	101
7.3	PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE DOIS PAVIMENTOS	102
7.4	SOLUÇÕES EMPREGADAS	102
8	CONCLUSÕES	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De modo geral, uma grande parte das pessoas, quer seja no Brasil ou no exterior, não se encontra totalmente convencida e sensibilizada para as questões ambientais que exponencialmente vêm deteriorando nosso planeta.

No entanto, essa preocupação vem crescendo e, nessa ótica, é necessário estudar e criar soluções envolvendo novas tecnologias construtivas. Considerando-se essas questões, a madeira se destaca por ser totalmente renovável, porém seu uso ainda é alvo de preconceito.

A indústria da construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos, tanto durante suas atividades construtivas urbanas quanto na obtenção de sua matéria-prima. O cimento, que é a base deste setor, provém do calcário, um mineral de fonte não-renovável que pode ser encontrado em jazidas naturais, cuja exploração causa enorme impacto ambiental (MECHI; SANCHES, 2010). O atual cenário ambiental tem grandes preocupações com as volumosas quantidades de resíduos gerados, sejam industriais ou urbanos, tais resíduos podem ocasionar danos ambientais caso não tenha destinações adequadas. Diante deste contexto, as tecnologias limpas entram com grande impacto para se utilizar esses resíduos. Uma das maneiras mais adequadas para se solucionar este problema é propor formas alternativas, tais como um modelo construtivo mais eficiente e a utilização de resíduos como matéria-prima (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012). Acrescenta-se a tais soluções, o emprego de materiais mais sustentáveis nas construções.

O sistema construtivo com madeira roliça, utilizado na sua forma in natura é um dos mais antigos exemplos da utilização da madeira para construção de habitações, oferecendo em seu emprego construções rústicas e de acabamento muitas vezes rudimentar. Todavia, com o aumento da utilização do material ao longo de décadas, a busca por sustentabilidade na construção civil e o resgate da arquitetura vernacular (BARDI, 2012), com a desmistificação do seu uso e aprimoramento das técnicas de execução, tem-se difundido cada vez mais sua utilização de formas variadas, surgindo, assim, uma nova demanda de mercado.

O sistema construtivo com madeira roliça tem a característica arquitetônica

de oferecer construções com design rústico, com acabamentos que recorrem a madeira in natura, trazendo à atmosfera uma sensação de conforto e aconchego.

Já o sistema híbrido, que mescla diferentes materiais na construção de edificações, no qual a madeira tem a função estrutural principal, tanto residenciais quanto comerciais, ganhou espaço no mercado da construção, pois otimiza recursos, gera menos resíduos e reduz o tempo dos processos construtivos.

Esta mescla de sistema construtivo pilar-viga de madeira com subsistemas de vedações de materiais diversos vem aflorando questionamentos de como utilizá-los, suas vantagens e desvantagens, quais técnicas a serem aplicadas na ligação com a estrutura de madeira, os comportamentos físico e mecânico de cada material de vedação. Della Noce (1996) já havia avaliado a interface dos materiais nesse tipo de construção, enquanto Partel (1999) abordado o *Corymbia Citriodora* e seus diferentes tipos de sistemas estruturais. Há ainda alguns estudos de caso desenvolvidos por Folz e Ino (2012), que abordaram o sistema construtivo com vedações de taipa, entre outros.

Sob esta ótica, técnicas rudimentares de construção ou a ausência de técnicas nestes tipos de construções são constatadas, sendo praticamente desconhecidas as manifestações patológicas ocorridas nas edificações em virtude da união da madeira e estas vedações, destacando-se fissuras e trincas, funções de deformabilidades diferentes dos materiais envolvidos neste sistema construtivo.

As manifestações patológicas, nesse caso, são intrínsecas dessa tipologia de construção híbrida, como já mencionado anteriormente, em virtude principalmente da higroscopicidade da madeira, característica esta explicada pela constituição química da madeira, composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina.

Um outro fator importante e associado às manifestações patológicas em construções em madeira refere-se à retratibilidade da mesma, que é um fenômeno relacionado à sua variação dimensional, em função da troca de sua umidade com o meio ambiente, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico. Este equilíbrio pode sofrer variações pelo surgimento de outros fatores que vão gerar mais ou menos manifestações patológicas, as quais podem ter origem nas falhas decorrentes da concepção ainda na fase de projeto, na negligência durante execução das medidas preventivas e/ou que minimizem tais ocorrências (TAKESHITA, 2016).

À luz destas considerações, é importante associar as manifestações

patológicas com a norma brasileira, ABNT-NBR 15575 (2013), em sua definição sobre a vida útil das edificações como uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes, ou seja, o período de tempo em que estes elementos se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos. Esta capacidade de resistir a intempéries é observada com interação da estrutura não só com o ambiente em que está inserido, mas com as condições de uso, operação e manutenção.

Tendo em vista que as pesquisas são necessárias em relação aos sistemas construtivos utilizando-se a madeira em geral, é natural que se busquem informações sobre interação com os materiais tradicionalmente mais usados no mercado, uma vez que as construções que utilizam madeira têm, ainda, composições com outros materiais.

Diante disto, difundir técnicas de execução, avaliar as vantagens e as desvantagens de cada material de vedação, com base nas manifestações patológicas identificadas, e determinar ações para minimizá-las impactará diretamente na segurança e durabilidade das construções.

Com vistas à apresentação e divulgação de informações técnicas aos profissionais que atuam na área de especificação de materiais, este estudo visa, com um conteúdo empírico, voltar-se às questões relativas às construções híbridas com madeira e vedações de bloco de concreto, bloco cerâmico e *drywall* com placas cimentícias, apresentando projeto, dados, fotos com conteúdo ilustrativo, identificando as manifestações patológicas encontradas: fissuras e/ou trincas. Esta pesquisa também apresenta e divulga informações técnicas aos profissionais que atuam na área de especificação de materiais. Foram considerados estudos de caso de sete edifícios residenciais, construídos com madeira tratada da espécie *eucalyptus corymbia*, localizados no estado de São Paulo e finalizados, num período médio de cinco anos.

São analisados os sistemas estruturais utilizando a espécie *eucalyptus corymbia* e materiais de vedações diversos, que resultaram em construções mistas, compostas ou híbridas e são relatadas as técnicas construtivas utilizadas, identificando as manifestações patológicas encontradas em face da deformabilidade diferente de cada material de vedação e da madeira. Tais análises objetivam correlacionar patologias e suas possíveis causas, apresentando vantagens e desvantagens entre os materiais tradicionais e novas tecnologias empregadas, difundindo-se o uso da madeira roliça.

Neste contexto, este trabalho busca contribuir e avançar com as pesquisas no Brasil sobre as construções híbridas que utilizem a madeira como material principal do sistema construtivo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Neste contexto, muito se tem discutido e analisado sobre espécies de madeira, ligações e diretrizes de projeto para estas edificações, porém, verifica-se que há pouca literatura nacional disponível que apresente estudos de construções híbridas.

Considerando-se que as pesquisas se fazem necessárias em relação aos sistemas construtivos utilizando-se a madeira em geral, é natural que se busquem informações sobre a sua união com os materiais tradicionalmente mais usados no mercado, uma vez que as construções que utilizam madeira são ainda, em sua maioria, mistas. Neste sentido, busca-se mesclar os materiais, pois, culturalmente, existe uma maior aceitação deste tipo de sistema construtivo composto por parte do mercado imobiliário.

Globalmente, a indústria da construção civil é um consumidor significativo de recursos naturais, e o ritmo de consumo está atingindo níveis sem precedentes (UNECE, 2016). Segundo o manual de divulgado pela UNECE/FAO: Promoção de materiais de construção sustentáveis e as implicações sobre o uso de madeira em edifícios. Uma revisão das principais políticas públicas na Europa e América do Norte, são apresentados dados significativos:

1. O setor de construção civil é responsável por mais de um terço do consumo global de recursos anualmente;
2. A fabricação de materiais de construção consome cerca de 10% do fornecimento global de energia;
3. Os resíduos de construção e demolição (C&D) contribuem em cerca de 30% para os fluxos de resíduos sólidos em muitos países desenvolvidos, com a maior parte dos resíduos sendo associados à fase de demolição;
4. No século XX, a utilização da matéria prima natural no sistema econômico global aumentou oito vezes, enquanto o consumo de materiais de construção cresceu 34 vezes. Em 1900, apenas 33% do total de materiais não energéticos (ou não-transportadores de energia) eram materiais de construção. Em 1998, esse número

havia crescido para 70-73%. A produção e o uso desses materiais significam menor consumo de energia, menor esgotamento natural de recursos e poluição, e são geralmente menos tóxicos tanto para o planeta quanto para seus ocupantes.

De acordo com documento que resultou da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92): “Suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de fazer o mesmo”. Ou seja, tal definição visa promover consumo consciente de recursos naturais e mitigar a geração de resíduos, apostando em novas técnicas construtivas “limpas” ou “secas”.

Conforme o Art. 2º da Resolução Nº 307, de 05 de julho de 2002 do CONAMA, foi empregada a seguinte definição: I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha

Neste sentido, o uso da madeira reduz a “pegada” de carbono dos edifícios, contribuindo significativamente para a construção mais sustentável. Um edifício de madeira minora a energia utilizada e contribui para a “pegada de carbono” desde a construção até sua ocupação e é também muito fácil de ser demolido e ainda reciclado no final da vida útil.

O macro complexo da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais. Estima-se que a construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. O setor utiliza grandes quantidades de materiais com conteúdo energético relevante, que necessitam ser transportados a grandes distâncias. Estima-se que cerca de 80% da energia necessária para a construção de um edifício é basicamente consumida na produção e transporte de materiais (MARINHO et al., 2014; TICIANE, 2005).

Para que sustentabilidade seja aplicada em toda a cadeia da construção civil, é necessária uma mudança de paradigma por parte dos agentes que atuam nesse mercado e priorizar a madeira como material de construção principal, que é fonte renovável, na substituição de outros sistemas estruturais utilizados, contribui

significativamente para mitigar os impactos. Utilizada em sua forma original, a madeira roliça estudada no presente trabalho, também emprega menor energia no seu processamento.

O relatório apresentado pela Organizações das Nações Unidas (ONU) denominado “Promoção de materiais de construção mais sustentáveis e as implicações sobre o uso de madeira em edifícios” fornece uma visão geral da política atual e do ambiente regulatório em relação aos materiais de construção mais sustentáveis no setor de construção na Europa e na América do Norte e comenta sobre a eficácia dessas políticas na condução da adoção de produtos de madeira. O estudo realizou um amplo levantamento em uma série de políticas, iniciativas e programas, a fim de documentar as circunstâncias atuais como ponto de partida para novas discussões, reuniões técnicas e debates políticos com vistas a melhorar o uso da madeira em edifícios. Para tanto, o documento apresenta capítulos com metas dentro da Política de Recursos de Madeira que são entregues por meio de um Plano de Ação para utilização da Madeira, que prevê treinamento, consultoria técnica, desenvolvimento de padrões de P&D e um programa de financiamento para ajudar pesquisadores, designers e fabricantes a promover o uso da madeira. Desde 2005, cerca de 1.500 edifícios estruturados em madeira de vários andares foram concluídos, a maioria dos mesmos sendo construções híbridas (UNECE, 2016). Nesse sentido, o Brasil precisa avançar as pesquisas que utilizam a madeira neste tipo de sistema construtivo híbrido.

Muitos cientistas e pesquisadores agora veem a floresta e o uso da madeira como uma das soluções mais importantes para alcançar a sustentabilidade. As emissões de gases de efeito-estufa para produzir uma tonelada de madeira serrada são cerca de 13% do que é necessário para o mesmo peso de concreto e menos de 5% do que é necessário para o mesmo peso de aço. Além do baixo impacto ambiental da produção, a madeira é facilmente reciclável para fazer outros produtos e, no final de sua vida útil, pode ser usada como combustível. A pegada de carbono relativamente baixa da madeira se encaixa bem com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que dão forte ênfase ao papel das florestas e de um setor florestal gerenciado de forma mais sustentável na contribuição para o desenvolvimento sustentável global. O documento apresentou muitas das medidas políticas tomadas na Europa para superar a falta de conhecimento e o equívoco sobre as construções de madeira (UNECE, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

São metas deste trabalho a difusão de novas técnicas construtivas ligadas à construção híbrida, bem como contribuir para as questões de sustentabilidade no setor, além de apresentar estudos anteriores e posteriores às execuções, com um acompanhamento por período prolongado das mesmas.

Revisar a literatura disponível sobre o sistema estrutural que une pilar-viga de madeira e vedações diversas, resultando em uma construção mista ou híbrida, sistemas compostos em geral, até então sem terminologia definida.

Analisar e correlacionar projeto e execução, identificar manifestações patológicas, apresentar as principais vantagens oferecidas pelo sistema híbrido utilizando madeira e vedações diversas, bem como apresentar os materiais de melhor desempenho e menor apresentação de patologias.

Divulgar estudo que possibilite comparar com outras edificações existentes, com as mesmas características, e correlacionar com outros sistemas construtivos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Constatar a eficiência das construções híbridas, ainda que com manifestações patológicas diversas, sem prejuízo estrutural para a edificação, diminuindo, assim, o preconceito com a utilização de madeira *eucalyptus* roliço como sistema estrutural pilar-viga de edificações;
- b) Obter avaliação e análise prolongada das condições das edificações pós-obra, identificando medidas de manutenção e reparos das manifestações patológicas identificadas para o pós-obra.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção, serão apresentadas informações provenientes de estudos anteriores referentes ao tema das estruturas com madeira e seu panorama atual no Brasil e no mundo, em especial, utilizando-se *eucalyptus* tratado em autoclave, bem como material resultante de estudo relativo ao tema abordado nesse trabalho. Dessa maneira, busca-se expor de forma sucinta o que já foi estudado anteriormente, assim como projetos e construções que abrangeram o tema.

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO À ATUALIDADE DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA ROLIÇA

As construções em madeira já são há muito tempo conhecidas e foram muito utilizadas durante toda a História da humanidade. Desde o período Neolítico, o seu uso era comum, possivelmente pela sua abundância natural. Inicialmente usada para suportar pequenas cargas, como uma cobertura de folhas, depois utilizada em grandes construções dos últimos milênios (SOUTO; BUENO; SILVA, 2016).

Na Europa, existem ruínas de cidades do período Neolítico construídas inteiramente com madeira. Tais casas eram construídas apenas enfileirando e agrupando os troncos das árvores. A madeira foi um dos primeiros materiais de construção utilizados pelo homem, com registros que indicam o seu uso a partir do período Neolítico (entre 1200 a.C e 4000 a.C), sendo a facilidade com que era encontrada e de sua extração razões para seu uso. Provavelmente, nesta época, era utilizada como apoio para a cobertura feita de folhas ou capim.

Sabe-se que no ano 700 a.C. em Biskupin, na Polônia, existiu uma povoação com construções em casas de troncos. A partir do ano 1000 d.C., na Escandinávia, era frequente a construção de casas de troncos dispostos tanto na horizontal como na vertical (COSTA; REDIGHIERI, 2008).

Bardi (2012, p. 333), analisando o comportamento do homem rural, no seu habitat natural, destaca:

O homem do povo sabe construir, é arquiteto por intuição, não erra; quando constrói uma casa, a constrói para suprir as exigências de sua vida; a harmonia em suas construções é a harmonia natural das coisas não contaminadas pela cultura falsa, pela soberba e pelo dinheiro.

Desta forma, é possível entender a razão deste resgate da arquitetura vernacular e a importância de discutir novas soluções tecnológicas para a larga utilização da madeira nos dias atuais, bem como o uso do *eucalyptus* em sua forma original. Há uma busca por construções que remetam à natureza e mimetizem o entorno a fim de se aproximar do meio ambiente.

Com o desenvolvimento humano refletindo nas construções, a edificação de estruturas com grandes dimensões como armazéns e celeiros obrigou os construtores da antiguidade a buscarem novas formas de utilizar a madeira; surgiram, assim as escoras e os travamentos longitudinais (SOUTO; BUENO; SILVA, 2016).

No Brasil, o consumo de *eucalyptus* na fabricação de papel e de chapas de fibras de madeira corrobora com o grande desenvolvimento que tem sido dado ao reflorestamento com esses gêneros. A madeira da espécie *eucalyptus corymbia* pode e deve ser amplamente estudada, bem como os sistemas construtivos em que é aplicada, pois sua capacidade de reflorestamento, tratamento preventivo e suas boas características mecânicas fazem com que a madeira seja cada vez mais difundida. Neste contexto, a madeira como material de construção renovável apresenta inúmeras potencialidades, dentre as quais o plantio e manejo mais sustentável, bem como a possibilidade de adequação a diversos sistemas estruturais (ANDRADE; VECCHI, 1918; PARTEL, 2008).

O aperfeiçoamento de sistemas construtivos mistos, com estrutura de madeira e vedações em alvenarias convencionais e outros materiais disponíveis, segundo Barata e Gadini (2008), poderia viabilizar a madeira como um dos principais materiais de construção. Tal fato considerava questões como o maior controle de qualidade e eficiência no processo produtivo de componentes estruturais em madeira em unidades de pré-fabricação, a racionalidade e rapidez no processo de montagem em canteiro de obra e a maior possibilidade de redução de desperdícios com adoção de conceitos de coordenação modular no projeto, com o emprego de fechamentos em alvenaria. Isso é o que atualmente vemos ocorrendo no mercado madeireiro, a industrialização dos sistemas construtivos que utilizam madeira.

A madeira roliça é um dos produtos com menor grau de processamento da madeira, sendo que, em alguns casos (escoramentos de lajes, pontaletes), sequer a casca é retirada, consumindo muito menos energia em sua produção, sendo assim, mais sustentável. Em construções rurais, é usual o emprego em estruturas de telhado, também tem sido cada vez mais utilizado nas construções de sistema híbrido (ZENID,

2009). Um aspecto fundamental, no entanto, que distingue a madeira dos demais materiais, está relacionado à sua produção de modo mais sustentável nas florestas nativas e plantadas e nas modernas técnicas silviculturais empregadas nos reflorestamentos, que permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado (ZENID, 2009). É importante ressaltar que no Brasil, mesmo possuindo uma alta capacidade de produção de madeira, ainda é reduzido o emprego da madeira na construção civil, de forma racional e mais sustentável.

Na última década, segundo Shigue (2018), vem crescendo a atenção sobre a utilização da “madeira de lei”, que por anos foi extraída sem qualquer regulamentação e assim contribuiu para o aumento considerável do uso da madeira de reflorestamento, e este aspecto tem sido destacado como uma das principais alternativas para se reduzir a pressão sobre as espécies nativas, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país.

A construção mais sustentável de novas edificações e infraestruturas e reabilitação mais sustentável de edifícios existentes pode iniciar uma etapa significativa, no sentido de uma melhoria de desempenho ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus cidadãos (MARQUES, 2008).

Gabriel e Weigert (2017) expõem informações referentes a construções habitacionais em madeira, realizando um importante trabalho de levantamento e exposição do acervo histórico da utilização da madeira especificamente na cidade de Pato Branco-PR.

Dos trabalhos mais recentes abordando madeira na construção, os mesmos focam quase que em sua totalidade em *wood frame* e madeira lamelada colada (Figura 1). No sistema mais utilizado de madeira, como as paredes são confeccionadas com montantes de madeira e placas de Oriented Strand Board (OSB), os revestimentos devem ser adequados visando proporcionar melhor adaptação à estrutura. O uso de *sidings* tem sido uma opção para revestimentos externos, podendo, inclusive, ser aplicado no método convencional. Placas cimentícias também podem recobrir as paredes, proporcionando acabamentos similares aos de alvenaria comum, além de conferir à estrutura impermeabilização em áreas de exposição à alta taxa de umidade (CALIL JR; MOLINA, 2010). Porém, destes sistemas mencionados e trabalhos encontrados, nenhum apresenta as patologias decorrentes.

Figura 1 - Centro Pompidou, Metz, França.



Fonte: KUIKEN; MENTEGAZZI, 2014.

Altoé (2009) apresenta duas alternativas apenas para resolver possíveis problemas na interface dos materiais madeira e alvenaria, sem identificar as causas ou diretrizes de projeto que possam minimizar o problema.

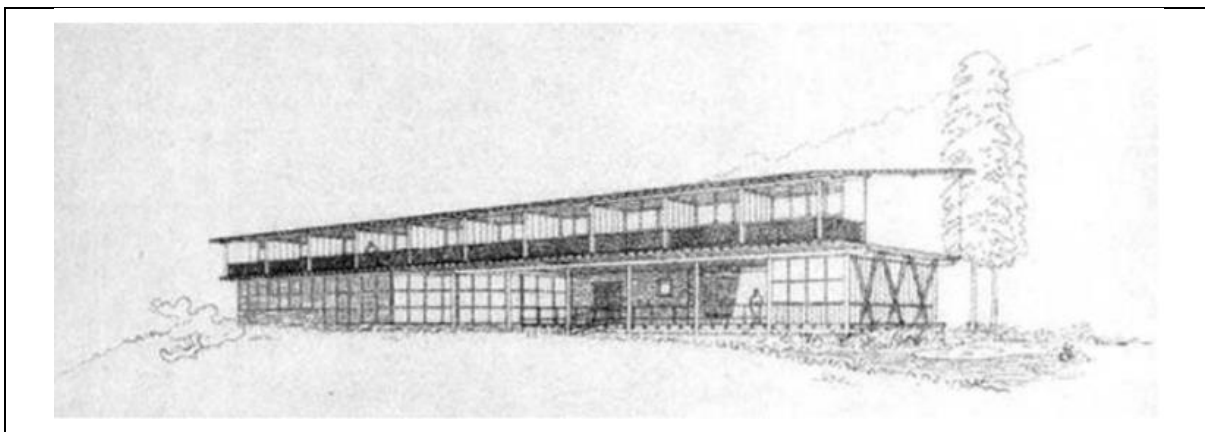
Segundo Teribele (2011), a maior parte dos trabalhos aborda e investiga as características estruturais, físicas e químicas do material madeira.

Sobre as patologias desenvolvidas nas interfaces entre o sistema de vedação e a estrutura de *eucalyptus* roliço, encontram-se apenas alguns estudos e que relatam o fato de serem mais frequentemente encontradas em fachadas mais expostas ao sol direto e às chuvas (INO, 2012).

Segundo Silva e colaboradores (2012), estudos recentes apostam em soluções estruturais híbridas que combinam a madeira, concreto e outros materiais, a exemplo da obra de Lúcio Costa de 1944 (Figuras 2, 3, 4) e da Casa Pinho (Figura 5), de modo a atingir alturas mais arrojadas e reduzir o número de paredes resistentes. São exemplos: a *Barents House* e o edifício proposto no sistema construtivo *Find the Forests Through the Trees* (FFTT) (Figura 6), desenvolvido no Canadá, que pretende provar a possibilidade de se atingir 30 andares utilizando uma estrutura em madeira. Além das potencialidades estruturais evidentes, o recente direcionamento para a maior utilização da madeira para a construção estrutural tem sido motivado por questões ambientais, devido à capacidade da madeira de armazenar dióxido de carbono, econômicas, com relação à sua simplicidade e rapidez de construção, e sociológicas, em virtude da previsão do aumento da densidade populacional nos

meios urbanos. Há também que se salientar que o nível de desempenho e a simplicidade associados a este material demonstram capacidade de vir a proporcionar grande flexibilidade aos projetistas que focam nesta nova composição material para exploração de sistemas estruturais inovadores.

Figura 2 – Perspectiva do Park Hotel Nova Friburgo - RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944.



Fonte: SCHWARTZ et al., 2000.

Figura 3 - Park Hotel Nova Friburgo – RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944 a.



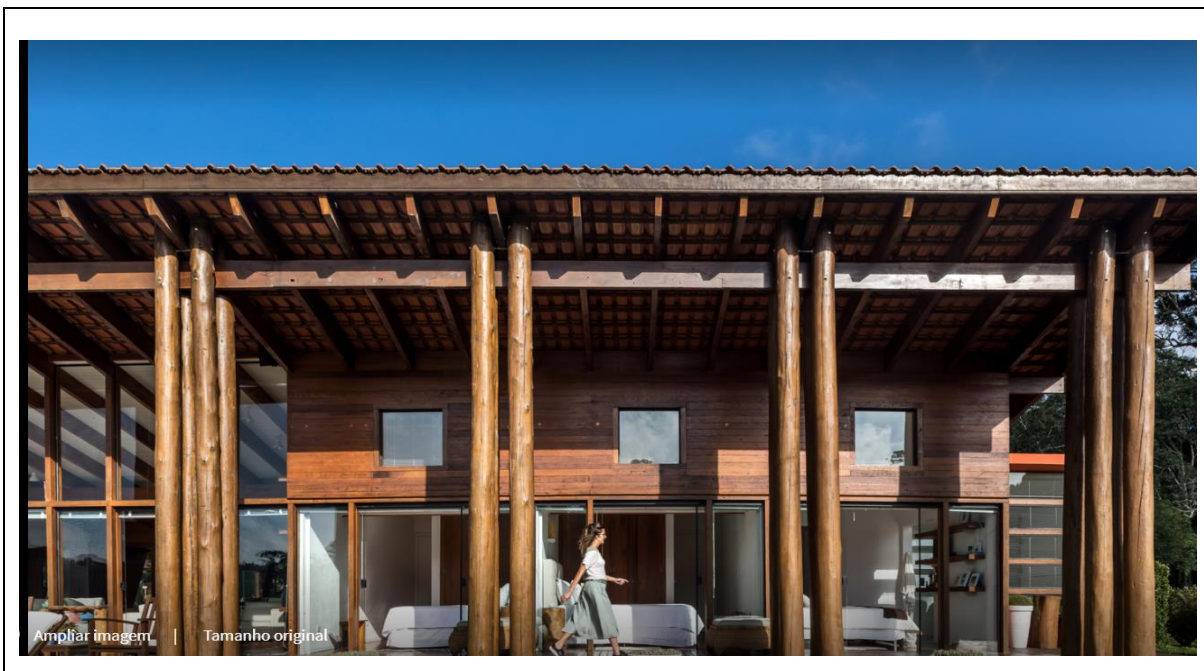
Fonte: KON, 2020.

Figura 4 – Park Hotel Nova Friburgo – RJ, arquiteto Lúcio Costa, 1944 b.



Fonte: KON, 2020.

Figura 5 – Casa Pinho, Irati-SC.



Fonte: CANALLI ARQUITETURA, 2019.

Figura 6 – Novos conceitos em desenvolvimento.



A: Barents House, Reiulf Ramstad Architects; B: Edifício proposto baseado no FFTT system.
 Fonte: SILVA, 2012.

No Brasil, existe a DATec, específica para construção em *wood frame*. A norma brasileira está em revisão e deve sair em 2021 (Comissão de Estudos ABNT/CE-002:126.011) (TECVERDE, 2018). Para sistemas construtivos híbridos, não há nada em andamento. Atualmente, construções deste gênero utilizam normas estrangeiras em conjunto com a NBR 7190:1997 (a norma em questão se encontra em revisão em comissão da ABNT). O manual e as normas mais recomendados são o *Wood Frame Construction Manual* de 2018 (AWC, 2018); *Deutsches Institut für Normung* 1052, de 1998 e a EUROCODE 5, parte 2, de 2004.

3.2 MADEIRA E SUAS APLICAÇÕES

Uma nova demanda começou a surgir no mercado, com o sistema construtivo pilar-viga de madeira com vedações de materiais diversos, e esse novo sistema começou a gerar questionamentos em torno de qual a forma mais adequada de utilização, quais técnicas aplicar na ligação da interface destes materiais, quais os comportamentos físico e mecânico desses materiais trabalhando em conjunto, bem como suas vantagens e desvantagens, já que cada material tem deformabilidades

diferentes. Esses questionamentos vão desde os conhecidos e discutidos sobre a própria madeira no que diz respeito a madeiras nativas e plantadas, aplicação, tratamento, uso e manutenção.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), a produção de madeira cresce pelo quarto ano consecutivo, depois da crise econômica mundial de 2008/09 (FAO, 2017). O Instituto Brasileiro da Árvore (IBÁ) (IBÁ, 2019) apresenta os dados comprovando esse crescimento em vários aspectos da cadeia produtiva de madeira, conforme apresentado nos gráficos (figuras 7, 8 e 9), embora em sua maioria ainda se apresente dados referentes à madeira para celulose. São dados que comprovam não só o crescimento, como o investimento no setor, bem como as regiões brasileiras onde se planta mais *eucalyptus* no Brasil (figuras 10 e 11).

Nos países tropicais, como o Brasil, a durabilidade natural da madeira é um dos principais fatores que determinam sua utilização (MENDES; ALVES, 1988).

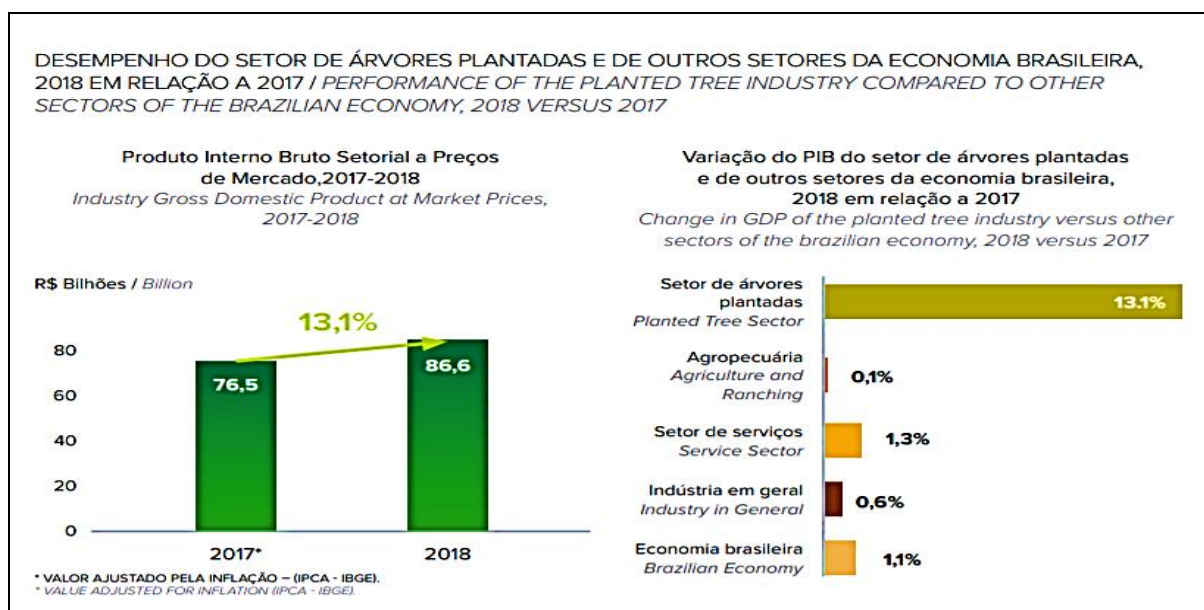
O Brasil é um país que apresenta grande variabilidade e disponibilidade de espécies de madeiras, provenientes de extensas florestas tropicais (madeiras certificadas) e imensas áreas de reflorestamento. O uso da madeira para fins estruturais ocorre em níveis muito inferiores à capacidade e enorme potencial do setor, conforme relatado por Macêdo (2000), que afirma existir, somente no estado de São Paulo, áreas de reflorestamento superiores a 950.000 hectares. Rico em recursos naturais, a madeira nativa sempre foi um recurso abundante no País, mas com o crescimento industrial, madeiras de menor durabilidade natural (de florestas plantadas) passaram a ser usadas em menor escala.

A produção em 2013 superou o nível anterior à recessão de 2007 para todos os grupos de produtos de madeira, com especial exceção à madeira serrada. A adoção de políticas e consumos bioenergéticos na Europa contribuirá para um crescimento relevante em 2013, no que se refere aos derivados de madeira. A produção mundial de derivados de madeira atingiu um máximo histórico, o expressivo número de 358 milhões de metros cúbicos, sendo 7,8% superior a 2012 e 30% superior a 2009 (CARVALHO, 2016).

O Brasil é claramente um país com expressão no quesito madeiras, e que acompanha a evolução do crescimento na área da produção, do consumo, como também na produtividade de plantios florestais, em especial a de *eucalyptus*, segundo Carvalho (2016), “Com os maiores e melhores clones do mundo e a melhor

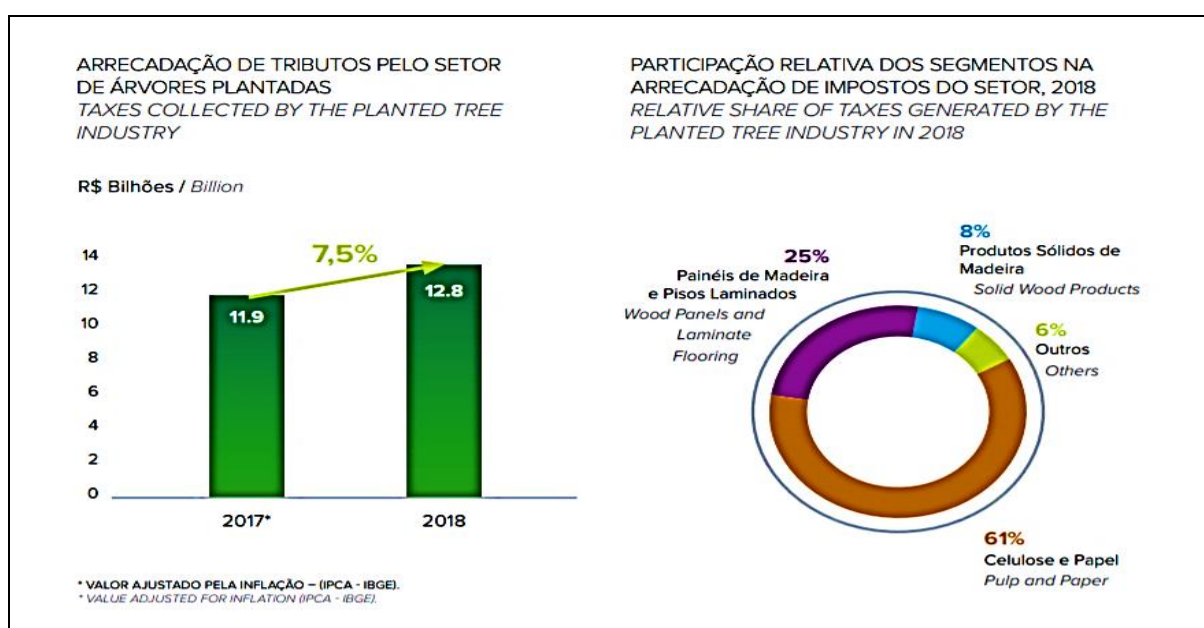
engenharia genética”. O ano 2015 fica marcado pelo aumento das exportações, considerando um volume superior a 564 mil metros cúbicos de painéis de derivados de madeira reflorestada, tendo como principais destinos os mercados da América Latina e do Norte.

Figura 7 – Crescimento do setor do plantio de árvores x outros setores brasileiros, 2019.



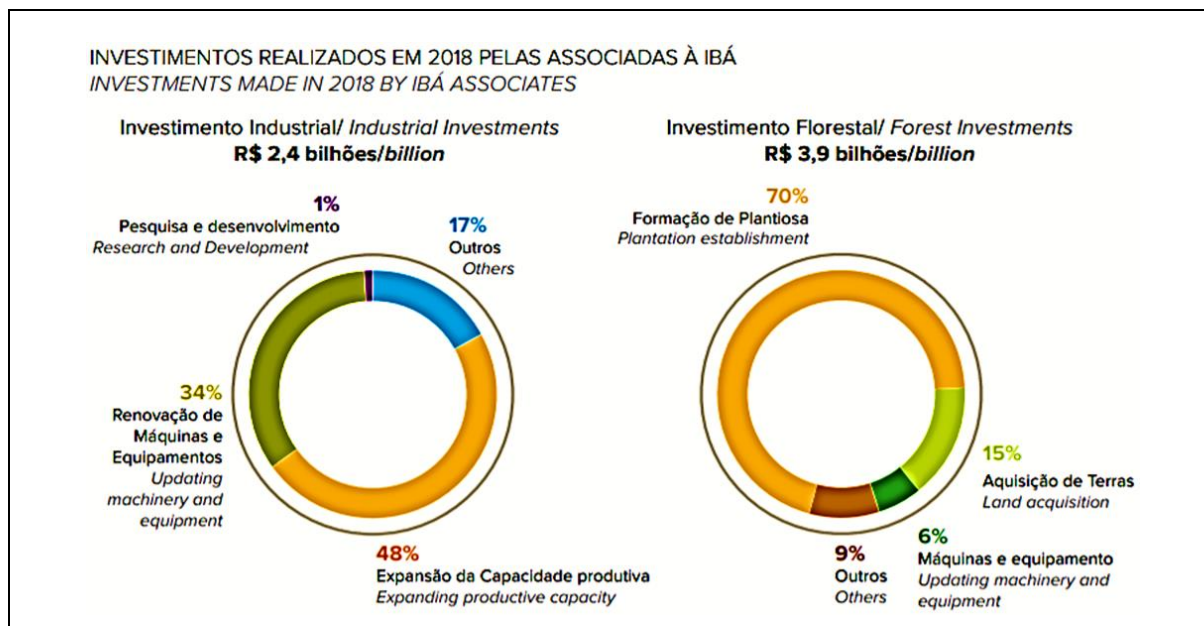
Fonte: IBA, 2019.

Figura 8 – Crescimento na arrecadação de tributos pelo crescimento no setor de árvores plantadas, 2019.



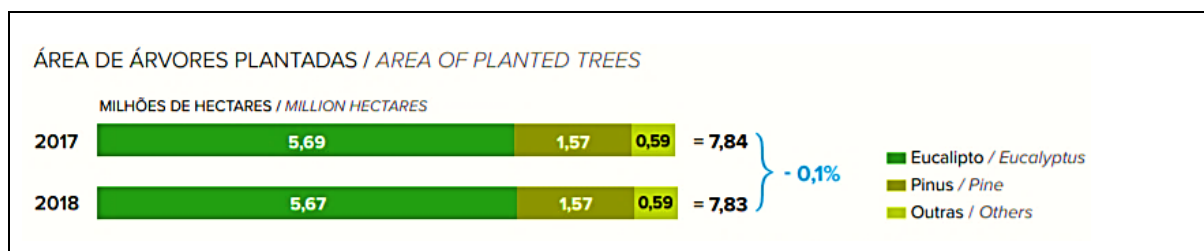
Fonte: IBA, 2019.

Figura 9 – Investimentos do Setor Florestal/Madeireiro, 2019.



Fonte: IBA, 2019.

Figura 10 – Porcentagem de plantio de madeiras de reflorestamento no Brasil, 2019.



Fonte: IBA, 2019.

3.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA

Com o mercado madeireiro em franca expansão em virtude da madeira a ser novamente utilizada em grande escala como elemento estrutural, pois é mais sustentável para ser aplicada na construção civil, há necessidade de se utilizar cada vez mais madeiras de durabilidade natural reduzida (soft wood). São madeiras de reflorestamento, que crescem mais rapidamente e dependem mais de tratamento preservativo que prolonguem a sua vida útil. Quando utilizada em estruturas projetadas de forma adequada, associada às classes adequadas e manutenções preventivas periódicas, a madeira se apresenta como um material estrutural, que possui qualidades que concorrem diretamente com a maioria de outros materiais

convencionais utilizados nas diversas áreas da construção civil, como transportes e edificações, entre outros Andrade Jr. et al. (2012) e Stolf et al. (2014).

Zangiácomo et al. (2016) apontam que no Brasil, o dimensionamento das estruturas de madeira é feito com o uso da NBR 7190, que estabelece as premissas e os métodos de cálculo para o projeto estrutural (ABNT, 1997). Além das definições de projeto, esta norma apresenta ainda metodologia para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira, e também, propriedades de algumas poucas espécies de madeira são divulgadas, outras podem ser consultadas no catálogo Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

As estruturas de madeira carecem de estudo aprofundado constante, considerando-se um novo panorama mercadológico e avanços tecnológicos que o Brasil apresenta na construção civil. A utilização da madeira atualmente ainda é relativamente pequena; mas, certamente, com o desenvolvimento de novas técnicas associadas a novos conceitos de eficiência construtiva, as aplicações dessas estruturas no campo da engenharia civil e arquitetura vão aumentar e já demonstram interesse do consumidor e da cadeia produtiva.

O conhecimento do comportamento destas construções híbridas também pode evoluir nesse sentido, de modo a diminuir o preconceito com a madeira utilizada na habitação de forma mais maciça e estruturalmente, proporcionando, além de uma construção mais sustentável, conforto acústico, conforto térmico, e eficiência estrutural, além de uma obra mais rápida e mais limpa. Isso dependerá da ampla divulgação de suas vantagens e de estudos que demonstrem, com segurança, o desempenho estrutural das estruturas híbridas, estando essa dissertação de mestrado inserida nesse contexto.

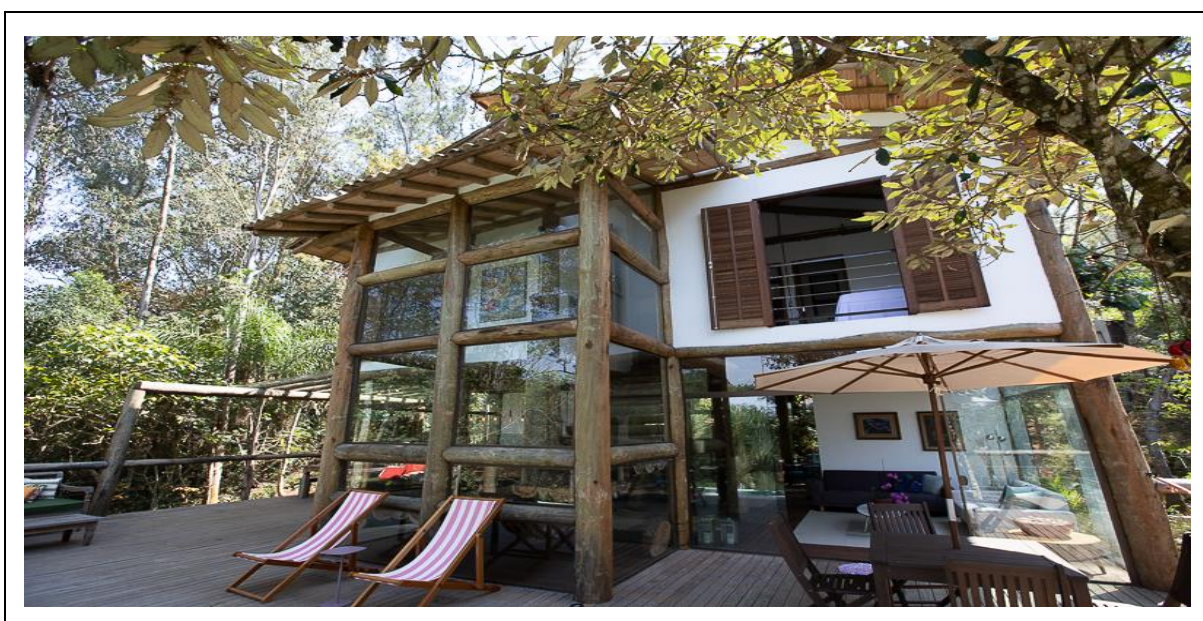
Acrescenta-se ainda que o uso da madeira apresenta indubitáveis vantagens econômicas para o setor da construção civil, devido, sobretudo, à redução do prazo da construção, possível em função das facilidades de pré-fabricação de peças e agilidade de montagem, além de apresentar baixo consumo energético para construção em comparação com outros materiais, como concreto e o aço (PEREIRA, 2018).

Na combinação dos sistemas construtivos, estruturas metálicas e concreto ou madeira e concreto, entre outras junções, chega-se a estruturas híbridas, nas quais, para um mesmo componente, é possibilitado um desdobramento mais amplo

de funções. Entende-se também por construção híbrida a utilização de diferentes tipos de fibras num mesmo componente (PAHL et al., 2005)

O mundo vem discutindo a utilização da madeira em edifícios de grande porte. No 4º Congresso Latino-americano de Estructuras de Maderas, em Montevideu, no Uruguai, em 2019, foram apresentados vários trabalhos. O sistema misto estudado é desenvolvido pelo escritório Scali Mendes e já são mais de 60 casas projetadas e executadas à exemplo da figura 11.

Figura 11 – Casa com estrutura pilar-viga de madeira e vedações em *steel-frame*
- Casa Gianvecchio, Cajamar-SP, 2013.



Fonte: SCALIMENDES, 2013.

Kolb (2008) apresenta em seu livro a classificação mais detalhada encontrada das tipologias construtivas de edificações, sendo divididas em seis, conforme (Figura 12):

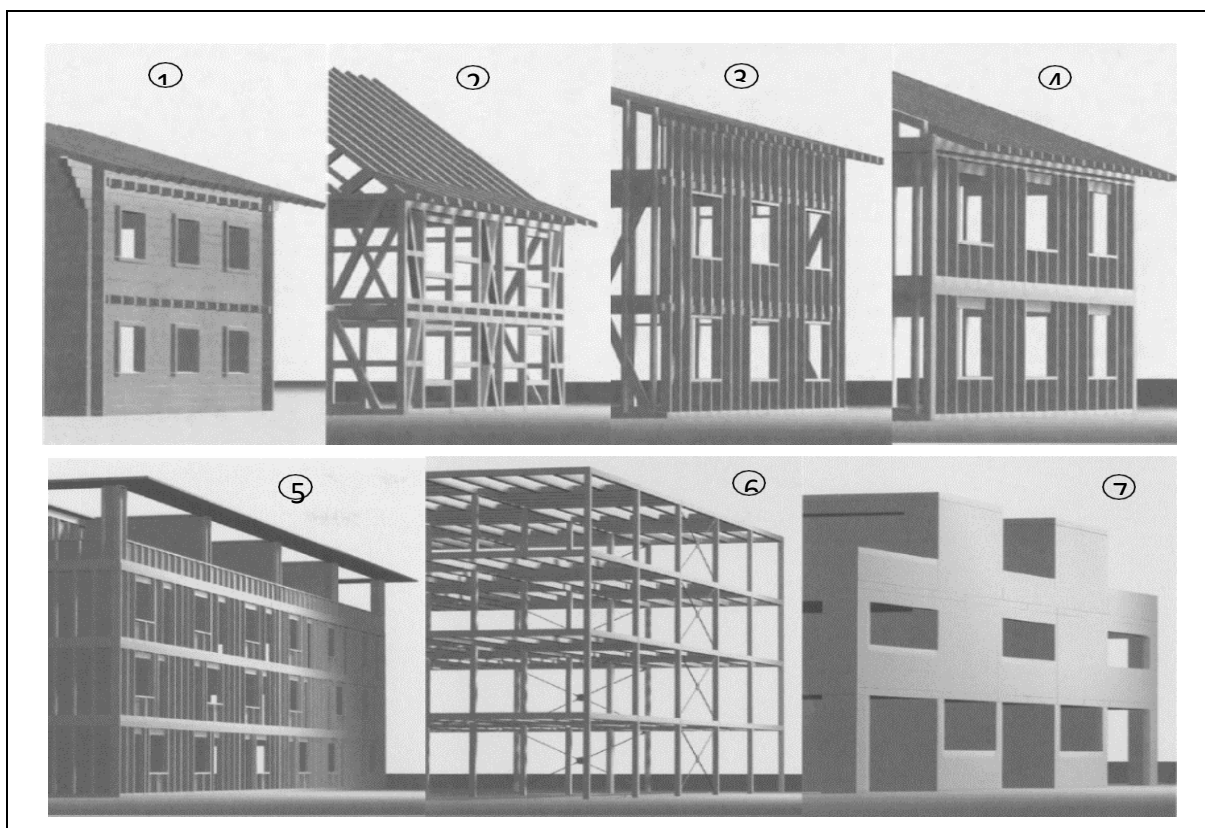
- **Construção com troncos sobrepostos (*log construction*):** São um tipo de construção tradicional em diversos países, predominantemente em regiões de clima frio e com grande disponibilidade de florestas. A madeira é utilizada na forma de troncos, que podem ser roliços ou serrados, que quando unidos conformam paredes autoportantes. O que caracteriza esse tipo de construção é a sobreposição dos elementos de forma horizontal;
- **Construção com quadros de madeira (*timber-frame construction*):** Se referem a um tipo de construção do tipo pilar-viga com sistema de vedação

independente da estrutura. Tradicional e encontrada em diversos países da Europa, tendo como um dos exemplos as construções do tipo enxaimel. Nesta tipologia, a estrutura de madeira normalmente é deixada aparente;

- **Construção balão ou plataforma (*balloon* ou *platform-frame*):** As construções do tipo balão (*balloon-frame*), plataforma (*platform-frame*) e painel (*panel construction*) são diferentes etapas de desenvolvimento da mesma tipologia construtiva do tipo leve, que possuem como característica a utilização de componentes delgados de madeira serrada com dimensão padronizada dispostas na vertical com pequenos intervalos regulares entre si, formando os quadros estruturais. São utilizados painéis para a vedação, que também desempenham função estrutural ao conferir estabilidade ao conjunto, além de resistência aos esforços laterais. O que diferencia a construção tipo balão da plataforma é que, no primeiro, os quadros estruturais são compostos por peças verticais longas que se estendem por dois ou mais pavimentos. Já na construção tipo plataforma, os quadros compõem um pavimento por vez, o que permite certo grau de pré-fabricação;
- **Construção com painéis (*panel construction*):** As construções do tipo painel são descritas pelo autor como o modelo posterior às construções do tipo plataforma, diferenciando-se essencialmente pelo elevado grau de pré-fabricação, no qual a combinação do quadro estrutural conformado por peças delgadas com os painéis de vedação resultam em painéis completos com acabamento superficial, aberturas e instalações hidráulicas e elétricas já instaladas em fábrica, sendo necessária apenas a montagem dos painéis no local da obra;
- **Construção tipo quadro (*frame construction*):** Consistem na utilização da madeira em estruturas do tipo pilar-viga com sistema de vedação independente, configurando-se, porém como um modelo contemporâneo de construção, que se diferencia das construções *timber-frame*. Aqui se enquadram estruturas que fazem uso de produtos engenheirados em madeira, tais como vigas e pilares de madeira laminada colada (MLC);
- **Construção em madeira sólida (*solid timber construction*):** São aquelas em que são utilizados grandes painéis de madeira maciça para a construção de paredes autoportantes, tendo o cross laminated timber (CLT) como principal referência. As edificações podem ser compostas pela composição de painéis, ou

por elementos tipo caixa, totalmente pré-fabricados, nos quais é necessário apenas o empilhamento das caixas no local da obra.

Figura 12 – Classificação das tipologias construtivas de edificações segundo Kolb.



1: Construção com troncos (*log*); 2: Com quadros de madeira (*timber-frame*); 3: Balão (*balloon-frame*); 4: Plataforma (*platform-frame*); 5: Com painéis (*panel*); 6: Tipo quadro (*frame*); 7: Em madeira sólida (*solid timber*).

Fonte: KOLB, 2008.

O autor afirma que as primeiras três tipologias, ou seja, as construções com troncos sobrepostos, com quadros de madeira e balão e plataforma (também chamadas contemporâneas) são artesanais, que requerem a utilização de mão de obra com habilidade e experiência e que, atualmente, tais edificações são encontradas somente em alguns locais específicos, remetendo a tecnologias construtivas tradicionais. Já as construções com painéis (*panel*), do tipo quadro (*frame*) e em madeira sólida (*solid timber*) são referidas como tipologias contemporâneas, que fazem uso de produtos em madeira engenheirada e elevado grau de pré-fabricação, com destaque para a tipologia em madeira sólida, criada principalmente devido à introdução da tecnologia CLT, o que demonstra o quanto

significativo foi o seu desenvolvimento, a ponto de ser criado um novo meio de se construir em madeira.

O *Finnish Timber Council* (FTC) (VIHEMÄKI; TOPPINEN; TOIVONEN, 2020), instituição finlandesa de promoção ao uso da madeira, divide as tipologias construtivas em:

- construção com troncos (*log construction*);
- paredes autoportantes, que por sua vez são divididas em quadro estrutural (*pole frame*) e madeira sólida (*solid wood*);
- sistema pilar-viga;
- tecnologia elemento caixa (*box element*).

As construções com troncos (*log construction*) e em madeira sólida (*solid wood*) se referem exatamente às mesmas tipologias descritas por Kolb (2008), sendo utilizados inclusive os mesmos nomes. Já as construções do tipo quadro estrutural (*pole frame*) englobam as tipologias classificadas como balão, plataforma e painel, que se caracterizam como estruturas leves. O sistema pilar-viga envolve todas as tipologias construtivas que são compostas por este tipo de estrutura, que é independente dos sistemas de vedação, classificadas como quadros de madeira (*timber frame*) e quadros (*frame*) por Kolb (2008). E a tecnologia elemento caixa se refere a uma tipologia de construção que Kolb (2008) enquadrrou dentro das construções do tipo madeira sólida. É possível que um dos motivos pelos quais o FTC especifica esta como uma tipologia construtiva distinta seja, além do elevadíssimo grau de pré-fabricação, a possibilidade de utilização não somente de madeira sólida (*solid timber*) para compor paredes, pisos e lajes, como também de entramados de madeira como no sistema painel (*panel construction*) (VIHEMÄKI; TOPPINEN; TOIVONEN, 2020).

O *Forest Products Laboratory* (FPL) (2010), instituição norte-americana, classifica as construções e estruturas em:

- Construção com troncos (*log house*);
- Construção com quadros leves (*light-frame*);
- Construção *post-frame*;
- Construção em madeira pesada (*heavy-timber*).

A construção com troncos (*log house*) é a mesma descrita pelos autores anteriores, enquanto o aqui chamado de quadros leves (*light-frame*) engloba as

edificações do tipo balão e plataforma por Kolb (2008) e como quadro estrutural (*pole frame*) pelo FTC ((VIHEMÄKI; TOPPINEN; TOIVONEN, 2020). Já as construções classificadas como *post-frame* e madeira pesada (*heavy timber*), se referem a estruturas do tipo pilar-viga, em que o primeiro se refere a um tipo de construção que foi muito utilizado nos Estados Unidos, enquanto o segundo se refere a estruturas que fazem uso de componentes de grandes dimensões e sofisticados elementos de conexão, usando tanto madeira serrada quanto componentes engenheirados como a MLC.

Os autores Silva e Ino (2009) classificam as edificações em madeira em quatro tipos: troncos; pilar-viga, entramado e painel.

A construção com troncos encaixados se enquadra na mesma descrição de todos os autores anteriores. O sistema entramado engloba tanto os sistemas balão e plataforma descritos por Kolb (2008), quanto estruturas mais robustas, que o mesmo autor classificou como construção com quadros de madeira (*timber-frame*). Por sua vez, o sistema painel tem a mesma descrição da construção em painel de Kolb (2008). Já as construções do tipo pilar-viga envolvem tanto as estruturas independentes do sistema de vedação como também o sistema de encaixe em montantes, um dos principais sistemas construtivos em madeira utilizado no Brasil.

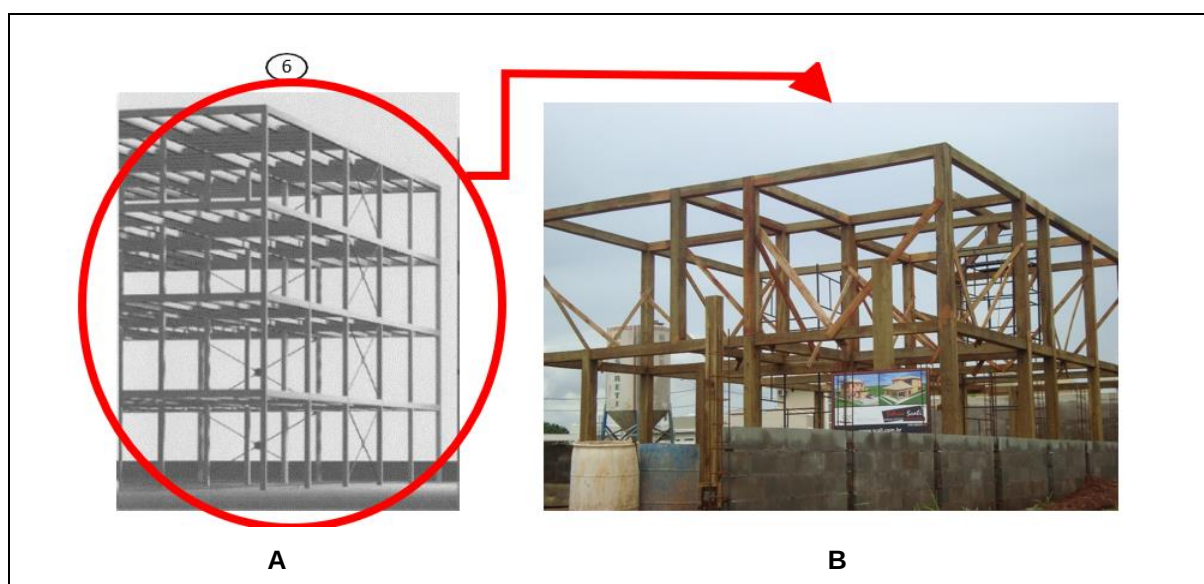
Portanto, verifica-se que apesar do termo *mass timber* ser comumente utilizado tanto em publicações científicas quanto por profissionais do setor da construção civil em madeira, é adotado tal denominação nas classificações de tipologias construtivas em madeira somente pela *FPIInnovations* (2013) e pela *Think Wood* (2016). Tanto Kolb (2008) quanto SUN (2016) adotam o termo *solid wood*, que se refere especificamente a construções com painéis maciços, o que o coloca como equivalente ao *mass timber*. Já Silva e Ino (2009) e o FPL (2010) não apresentam uma denominação correspondente a essa tipologia construtiva. Tal divergência é um indicativo de que as terminologias e classificações ainda estão em fase de desenvolvimento, tendo em vista que o debate sobre as novas tecnologias construtivas em madeira se intensificou a partir da década de 2010. No entanto, de acordo com artigos recentes o termo *mass timber* tem sido amplamente utilizado e, por isso, também foi adotado neste trabalho.

Segundo Shigue (2018), o termo *mass timber* é comumente adotado em diversas publicações, tanto em trabalhos científicos quanto por profissionais e instituições ligadas à construção civil e à indústria madeireira. Apesar disso, há

inconsistências em relação ao uso do termo. A *FPIInnovations* (2013), instituição canadense representante do setor florestal, e a *Think Wood* (2016), instituição norte-americana de promoção ao uso das tecnologias em madeira engenheirada na construção civil, apontam o termo *mass timber* como uma tipologia construtiva, juntamente com as estruturas pilar-viga (classificadas como *heavy-timber*) e as construções leves em madeira (*light wood-frame*). A tipologia construtiva do tipo *mass timber* é caracterizada pela utilização de painéis maciços, característicos da tecnologia CLT. No entanto, o termo *mass timber* se refere não somente aos painéis, como também a pilares e vigas, tornando, portanto, construções do tipo pilar-viga podem ser consideradas como *mass timber* quando utilizadas tecnologias como a MLC. Ao se consultar a literatura, foram encontradas variações da classificação das tipologias construtivas em madeira em função do tipo de tecnologia empregada nos componentes construtivos, assim como na forma de construção.

Nas estruturas analisadas no presente trabalho, fazemos analogia à estrutura denominada por Kolb (2008) como tipo “quadro” (frame), conforme podemos ver na figura 13.

Figura 13 – Comparativo Frame (Kolb) x Pilar-Viga (Scali Mendes).



A: Tipo quadro (*frame*); B: Estrutura em madeira *eucalyptus* aparelhado tipo pilar-viga, obra em Paulínia-SP, 2009.

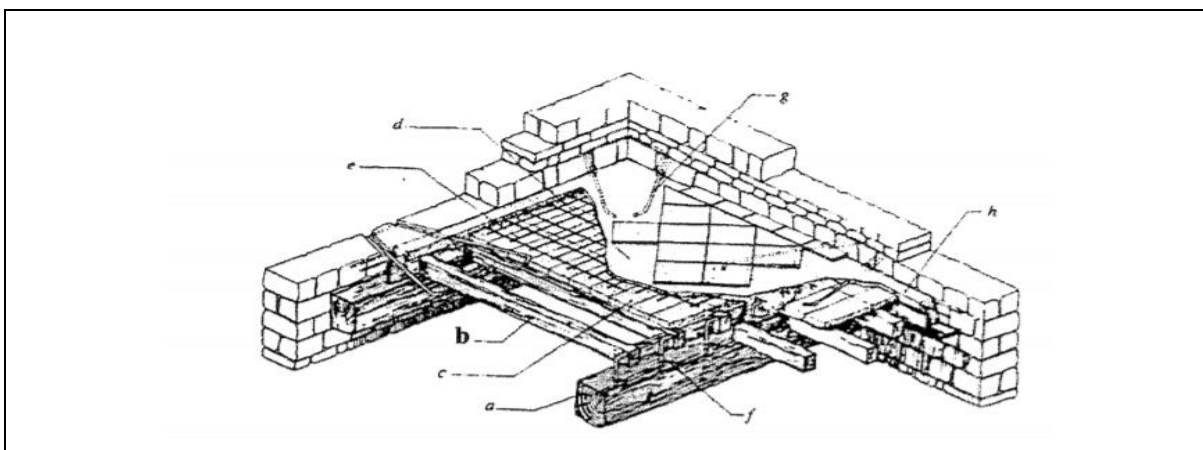
Fonte: KOLB, 2008; SCALIMENDES, 2009.

3.3.1 Estruturas de madeiras mistas

As estruturas em concreto e madeira são amplamente utilizadas em alguns

países tais como, Itália, Suíça, Rússia e Canadá, conforme descreve Ceccotti (1995). Seu uso se deve, principalmente, à união das qualidades do concreto, que atua somente resistindo às forças de compressão, e da madeira, que resiste aos esforços tanto de tração quanto de compressão. Obtendo-se, assim, uma estrutura eficiente, rígida e leve ao mesmo tempo (Figura 14).

Figura 14 – Exemplo de um piso concreto-madeira utilizado na Europa, em construções mistas.



A: viga principal; B: viga secundária; C: tijolos; D: concreto; E: malha de aço; F: conectores de aço; G: ganchos; H: vigota de concreto (cinta de amarração)

Fonte: CECCOTTI, 1995.

Quando comparada com estruturas de concreto, as estruturas mistas em concreto e madeira apresentam menor peso próprio, proporcionando fundação mais leve e econômica; execução mais rápida, o tempo de cura diminuto, mais econômica, com quantidade menor de formas e escoras.

Alvim et al. (2000) destaca que a utilização de sistemas estruturais mistos de madeira e concreto vem se tomando comum nos últimos anos, não só em virtude de uma necessidade mais sustentável, mas também em face da necessidade de um melhor aproveitamento das características de resistência e rigidez das espécies de madeiras, somadas aos aspectos da ser um material renovável, principalmente utilizando madeira de reflorestamento. Verifica-se que a associação do concreto e da madeira resulta em elementos com excelentes características arquitetônicas e estruturais, além de uma automação do sistema construtivo. As estruturas mistas em concreto-madeira também são utilizadas com sucesso em pontes, construções industriais, residenciais e esportivas, conforme apontou Stevanovic (1996). Sua aplicação se faz tanto em obras novas quanto em recuperações de obras antigas, como por exemplo em recuperação de pisos e pontes de madeira em estado avançado

de deterioração. Magalhaes e Chahud (1998) destacam a utilização das estruturas mistas no Brasil em reformas de obras do século passado, localizadas principalmente em Minas Gerais. Algumas dessas obras foram executadas com tabuas de madeira apoiadas em vigas de madeira; atualmente, a maioria destas construções necessitam de recuperação devido ao estado precário das tabuas do piso, apesar das vigas se encontrarem intactas. Um dos meios de recuperação consiste na substituição do piso por laje de concreto devidamente conectada as vigas de madeiras por meio de conectores metálicos. Segundo Richart e Williams (1943) as estruturas em madeira-concreto foram usadas com sucesso em pontes de estradas, coberturas de hangares, cais, prédios e plataformas. Várias pontes foram construídas nos Estados Unidos, nos estados do Oregon e Florida, e em vários estados do Canada. Ahmadi e Saka (1993) relatam que na região do Golfo Pérsico, os construtores utilizaram estruturas mistas de concreto-madeira em vez de estruturas em concreto armado, pois a região apresenta grandes variações de temperatura e umidade, além de um excesso de sais agressivos na atmosfera. Sob essas condições violentas, as estruturas em concreto armado têm sua vida útil bastante reduzida, pois a corrosão do aço causa a deterioração prematura do concreto. Deste modo, a solução encontrada foi a utilização das estruturas mistas, como as utilizadas em pisos das residências, em que a laje de concreto é sustentada por vigotas de madeira como utilizado em algumas das edificações que serão estudadas a seguir.

3.4 SUBSISTEMAS DE VEDAÇÕES

Além dos materiais mais tradicionais do mercado, como blocos cerâmicos e de concreto utilizados nas edificações estudadas, vale destacar o uso das placas cimentícias e do drywall, novas tecnologias de construção “seca”, conforme a obra de referência (Figura 15), que tendem a desempenhar as vedações de forma eficiente tanto como os mais convencionais.

Figura 15 - Instituto Dona Ana Rosa, situado na cidade de São Paulo, São Paulo.



Instituto Dona Ana Rosa, situado na cidade de São Paulo-SP, como exemplo de obra executada em *LSF*, com todos os componentes estruturais e de vedação devidamente dispostos e montados. Fonte: Revista Arquitetura e Aço, 2016.

3.4.1 Steel frame - Fechamentos externos em placas cimentícias

Utilizadas na pesquisa apresentada, as placas cimentícias são produzidas a partir da mistura de partículas da madeira e cimento Portland, comprimida e seca, podendo ainda ser reforçada com fibras. Estes compostos são prensados em alta temperatura, garantindo uniformidade e boa resistência à peça. Produzidas industrialmente, prontas para a aplicação em obra, essas placas podem ser fornecidas já com acabamento, outra possibilidade é que esse acabamento seja realizado em obra, a depender do tipo de textura adotada. A fixação dessas placas é realizada por meio de quadros modulares (montantes e guias) do próprio *steel frame*, gerando boas condições de travamentos dos painéis, mesmo quando utilizado na vertical.

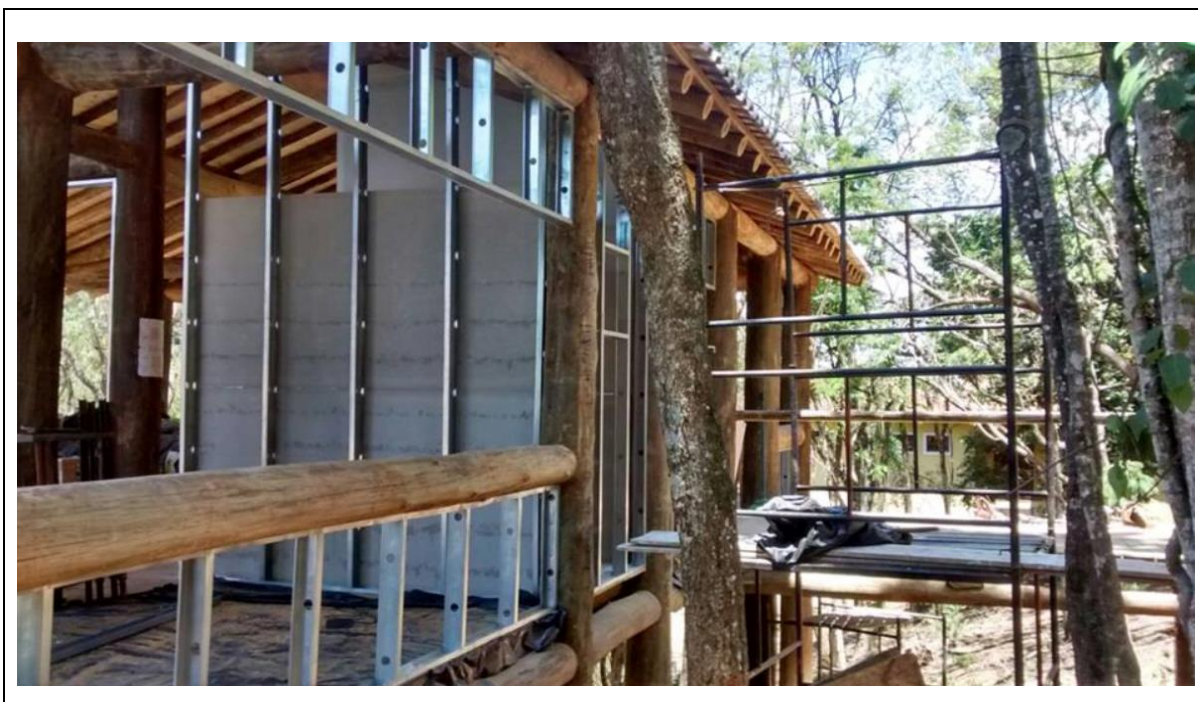
A combinação entre a resistência e flexibilidade da madeira com a durabilidade e rigidez do cimento, permitem um largo campo de aplicações, tanto em exteriores como em interiores. As placas são especialmente apreciadas pela sua elevada resistência ao impacto, ao fogo, à ação da umidade, ao ruído e aos fungos. Têm ainda a vantagem de poderem ser aplicadas como acabamento final, expostas à intempérie.

Quando comparadas a outras placas estruturais, em especial às placas OSB, as placas cimentícias apresentam algumas desvantagens, começando logo pelo preço, substancialmente mais elevado. Possuem um peso cerca de três vezes superior e, sendo mais rígidas, podem fissurar e tornam-se mais difíceis de cortar e

perfurar. Absorvem e aprisionam mais umidade e são sujeitas a variações mecânicas mais acentuadas.

No entanto, muitos consideram que a principal desvantagem diz respeito à fixação das placas sobre os elementos estruturais. Usualmente, as placas OSB necessitam de dois centímetros de apoio, com uma junta de dilatação inferior a três milímetros, podendo ser aparafusadas a uma distância mínima de 10 mm das extremidades. Daí os perfis metálicos (Figura 16) serem fornecidos com um mínimo de 43 mm de aba. Em contraste, as placas cimentícias costumam exigir maior junta e maior distância entre o parafuso e as extremidades. Isso implica em aumentar a aba dos perfis metálicos, incrementando ainda mais os custos da estrutura.

Figura 16 – Exemplo de perfis de metálicos sendo instalados no sistema pilar-viga de madeira.



Obra em andamento Pilar viga x vedações LSF – plaqueamento externo com cimentícias. Condomínio Capital Ville – Cajamar -SP.
Fonte: SCALIMENDES, 2013.

3.4.2 Steel frame - Fechamentos internos em gesso acartonado (*drywall*)

Segundo Ciocchi (2003), a placa de gesso acartonado foi inventada no final do século XIX e passou a ser empregada como elemento construtivo por reunir a qualidade da madeira (facilidade de trabalho) e da pedra (isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo). É composta de um miolo de gesso e aditivos envoltos por cartão

especial e fabricada a partir da gipsita natural. Essas placas de gesso acartonado são fixadas a uma estrutura metálica, podendo ser aplicadas em paredes e forros. Tem como aplicação menos usual a fixação colada sobre paredes de alvenaria.

Sistemas construtivos leves, como o *light steel frame* (LSF), abordado neste estudo, utilizam o gesso acartonado (Figura 17), rotineiramente como revestimento interno em suas unidades. Isso ocorre devido ao fato de sua estrutura portante ser muito próxima da estrutura metálica requerida por este sistema.

Figura 17 – Obra em andamento em 2013.



Obra em andamento Pilar viga x vedações LSF – instalação placas de drywall internamente. Condomínio Capital Ville – Cajamar -SP.
Fonte: SCALIMENDES, 2013.

3.5 SISTEMA CONSTRUTIVO HÍBRIDO

Quando ocorre um intercâmbio de componentes em uma mesma edificação, pode-se dizer que este é um sistema construtivo misto. No Brasil, tradicionalmente utilizam-se pilares e vigas de concreto com subsistemas de vedações também de concreto ou cerâmicas. No entanto, um sistema ou subsistema é misto quando associar este processo tradicional (ou não) com outro na mesma função de vedação, como as placas cimentícias, por exemplo, bem como ocorre no sistema construtivo principal de pilar-viga de *eucalyptus* e as vedações estudadas.

O fato de não precisar de grandes manutenções e reparos faz com que exista uma baixa geração de resíduos agressivos ao meio ambiente, consequentemente tem-se um baixo custo e a possibilidade de utilizar os novos materiais ecologicamente corretos, dando, assim, uma pequena contribuição para o processo de sustentabilidade na construção civil. A preocupação em construir edifícios que apresentem alto potencial de durabilidade é alcançada através do avanço na tecnologia e na ciência dos materiais, além de se buscar especiais cuidados à manutenção e na utilização dos edifícios (BRASIL, 2020).

A evolução da construção civil com a busca pela racionalização acaba trazendo novas tipologias para as edificações que permitem uma redução global nos custos. Dentro desta linha de racionalização, as vedações podem ser realizadas em fechamentos diversos, sendo denominadas nesta pesquisa como Sistemas Híbridos (devido à interação entre diferentes materiais). Esse trabalho está focado na análise das manifestações patológicas em sistemas utilizando o fechamento externo em placas cimentícias e internos em placas de gesso acartonado (*drywall*), entre outros materiais.

Tradicionalmente, os prédios construídos em estruturas metálicas, concreto ou madeira pareciam compor cenários de mundos diferentes. Defensores de uma ou de outra tecnologia empenhavam-se na defesa das vantagens de cada uma dessas alternativas em detrimento da outra, o que não contribuía em nada para o amadurecimento da engenharia e da indústria da construção no Brasil. Esse tempo, no entanto, está ficando para trás. Muitas vezes, a melhor solução está em encontrar a combinação de ambos.

Para muitos técnicos e representantes da comunidade acadêmica envolvidos nessa discussão, a adoção de construções mistas seria o caminho para uma mudança de cultura, abrindo espaço para o uso de estruturas metálicas e da construção industrializada no Brasil. Edifícios mistos são cada vez mais encontrados em todo o mundo e poderão ajudar a deixar para trás a tradição da construção artesanal em nosso país. A engenheira Iria Lícia Oliva Doniak, presidente da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), revela que no Brasil, a terminologia que possivelmente será adotada para construções com essas características é de construções híbridas. “Atualmente, a ABCIC e o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) avaliaram o tema e prepararam um manual que foi lançado durante a Construction Expo, em 2013, no qual as estruturas mistas foram

tratadas como estruturas híbridas”. A profissional explica que, na literatura internacional, existe a terminologia “estruturas compostas, mistas e híbridas”, definindo as estruturas compostas como aquelas em que há a presença dos dois materiais, com adesão ou solidariedade entre si, para compor uma seção estrutural. Na flexão, a solidariedade entre os dois materiais faz com que haja uma compatibilidade entre as deformações. Nesse conceito, a rigor, uma seção de concreto armado (concreto mais armadura de aço) é uma *composite section*, da mesma forma que uma viga metálica com conectores de cisalhamento e laje de concreto, formam uma *composite section*.

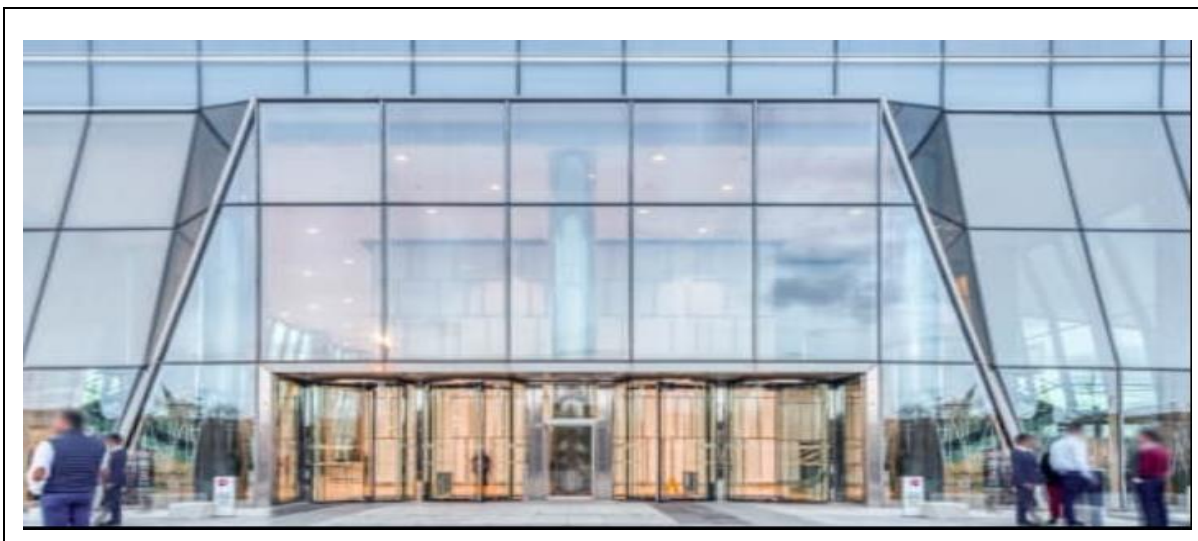
“A própria bibliografia adotada no Manual fib 19, refere-se a *composite structures* a exemplo da referência na *European Committee for Standardization*, em 1991-1-1, *Eurocode 4 – Design of Composite Steel and Concrete Structures*. Bruxelas 2004”, esclarece.

Ainda segundo a engenheira, a expressão “estrutura híbrida ou mista” está relacionada ao emprego de diferentes materiais para compor um sistema construtivo ou estrutural. Entretanto, ao contrário do que acontece nas *composite structures*, não ocorre, necessariamente, a aderência entre os materiais, nem a solidarização das deformações. “Em relação ao termo “híbrido”, os autores europeus e o Concrete Centre definem híbrido ou misto com o mesmo conceito.

Estudiosa do assunto, Iria Doniak está convencida de que um dos aspectos mais importantes para o êxito de empreendimentos desenvolvidos com base em construção híbrida é o planejamento e desenvolvimento do projeto. “Usualmente, são obras fortemente direcionadas para um conceito de industrialização e também para o tratamento das interfaces (transição entre um sistema construtivo e outro). São dois aspectos importantes do ponto de vista construtivo a serem abordados”.

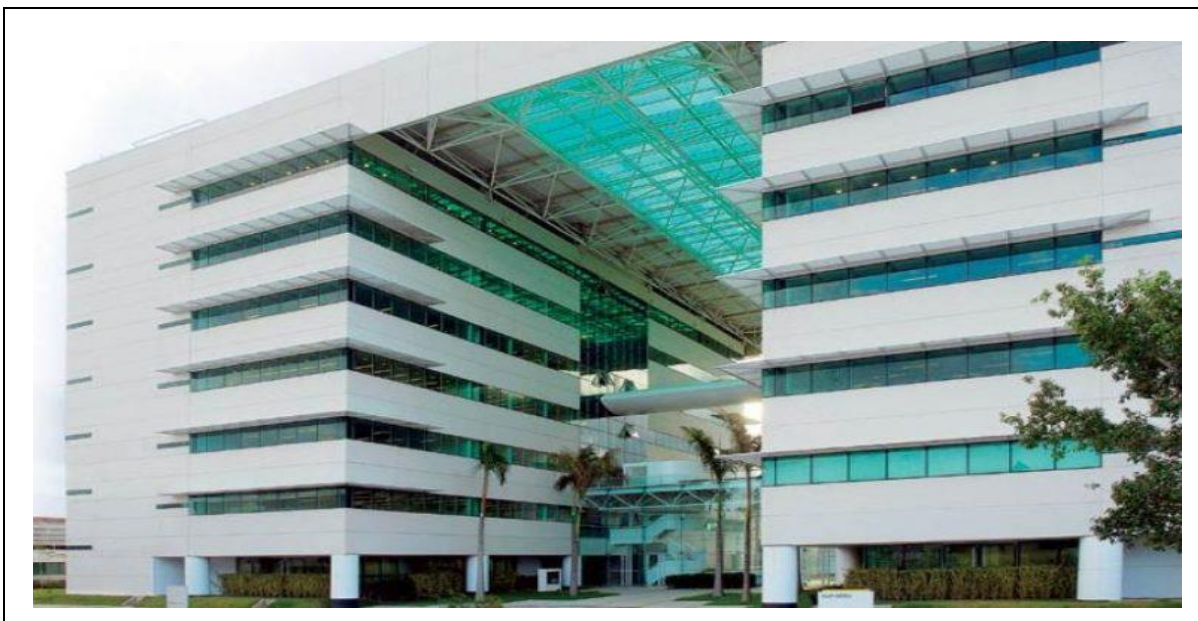
Com cases de sucesso reconhecido mundialmente, a presidente da ABCIC lembra a Torre de Cristal, localizada em Madrid, na Espanha (Figura 18), que usou estruturas compostas. Lembra também um projeto arquitetônico premiado no Brasil, o da sede da Petrobrás, em Macaé (RJ), criado pelo arquiteto Sidônio Porto (Figura 19). Outro bom exemplo de utilização harmônica entre os dois métodos construtivos é o edifício-sede da Teckma Engenharia, que tirou partido das vantagens do aço e da construção industrializada em concreto, para alcançar excelentes resultados em termos de redução de custos e de prazos na execução de projeto, assim como na “pegada” da redução dos impactos ambientais (IBDA, 2012).

Figura 18 - Torre de Cristal, localizada em Madrid, na Espanha.



Fonte: REGUS, 2019.

Figura 19 – Centro administrativo da Petrobrás, em Macaé, Rio de Janeiro.



Fonte: PROJETO, 2009.

3.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Segundo Nazário (2011, p. 1):

Patologia, de acordo com os dicionários, é a parte da medicina que estuda as doenças. A palavra patologia tem origem grega de “phatos” que significa sofrimento, doença, e de “logia” que é ciência, estudo. Então, conforme os dicionários existentes, pode-se definir a palavra patologia como a ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças.

Na construção civil é atribuída aos estudos dos danos ocorridos nas edificações. Essas patologias se manifestam por diversos tipos, tais como: fissuras, trincas, infiltrações, causando diversas outras patologias que podem vir a danificar as estruturas. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas (FRANCO; NIEDEMEYER, 2017).

Denomina-se por Patologias das Estruturas, o campo da Engenharia das Estruturas que estuda as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas dos sistemas estruturais e ou de deterioração dos elementos estruturais (SOUZA; RIPPER, 1998). No entanto, segundo Souza e Ripper (1998), a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria formação do Engenheiro Civil. O que ocorre é que todo o aprendizado da Engenharia de Estruturas tem sido feito, em nível de projeto e execução, pela abordagem das estruturas a serem construídas. Assim, a necessidade de reabilitar e manter estruturas existentes, ditada por razões tão diversas quanto as de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, está criando um novo conceito de ensino no que diz respeito à concepção e ao projeto estrutural, em que a avaliação do que já existe, em termos de capacidade de desempenho futuro (segurança, servicibilidade e vida útil), torna-se um dado fundamental (BRITO, 2014).

Para Barros e Sabbatini (2001), uma manifestação patológica ocorre em um edifício quando este, em um determinado período de sua vida útil, não apresenta o desempenho previsto.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), o conceito de desempenho implica quais as condições devem ser satisfeitas pelo produto, tanto no requisito como no critério e métodos de avaliação quando submetido às condições normais de uso. A norma de desempenho é utilizada como um procedimento de avaliação da atuação de sistemas construtivos, na qual se estabelecem parâmetros de mercado para minimizar a não conformidade e alcançar patamares diferenciados de desempenho do produto (ANTUNES, 2010). Essas definições indicam os níveis de segurança, sustentabilidade e habitabilidade do edifício e de suas partes (SILVA, 2009).

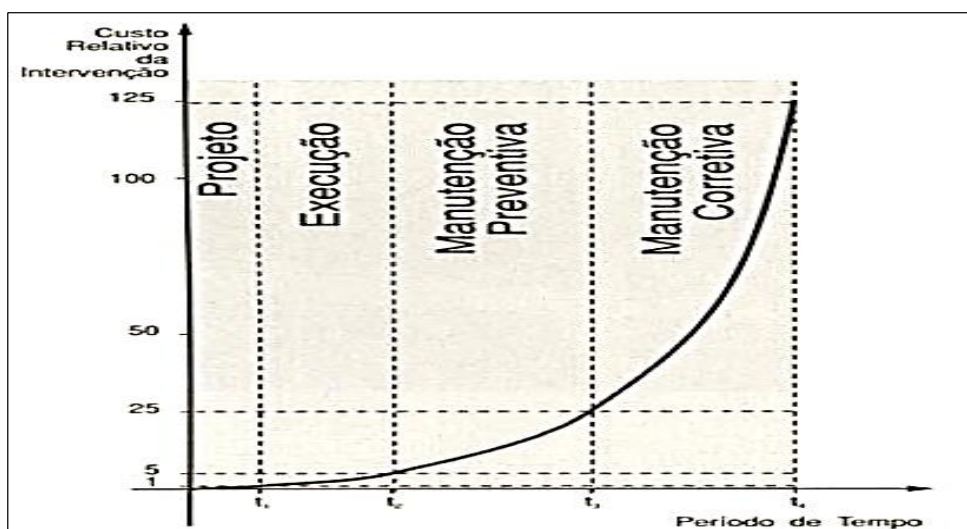
Geralmente, as manifestações patológicas que ocorrem ao longo da vida útil do edifício têm origem nas fases de elaboração de projeto e de execução. A manifestação patológica na fase de projeto ocorre pela inexistência de um projeto

específico ou por erros em sua concepção. Com relação à fase de execução, as manifestações ocorrem devido à má execução, que pode ser pela mão de obra não especializada ou pela falta de informação e domínio das técnicas de execução. (GROFF, 2011).

A utilização da norma de desempenho visa mitigar essas manifestações patológicas que ocorreram abundantemente em obras residenciais financiadas pelo poder público nos últimos anos. A causa das manifestações patológicas, de acordo com Helene e Monteiro (1993) apud Silva (2011), está relacionada a vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias, merecendo destaque as cargas excessivas, a variação de umidades, as variações térmicas, os agentes biológicos, a incompatibilidade de materiais, entre outros.

Os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, podendo até gerar novas manifestações em decorrência das primeiras, de modo que se pode afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis e mais econômicas, caso sejam executadas quanto antes se apresentarem os problemas, como expressa a já citada lei de Sitter (SILVA, 2007) (Figura 20).

Figura 20 - Gráfico da Lei de Evolução de Custos: custos relativos à fase de intervenção.



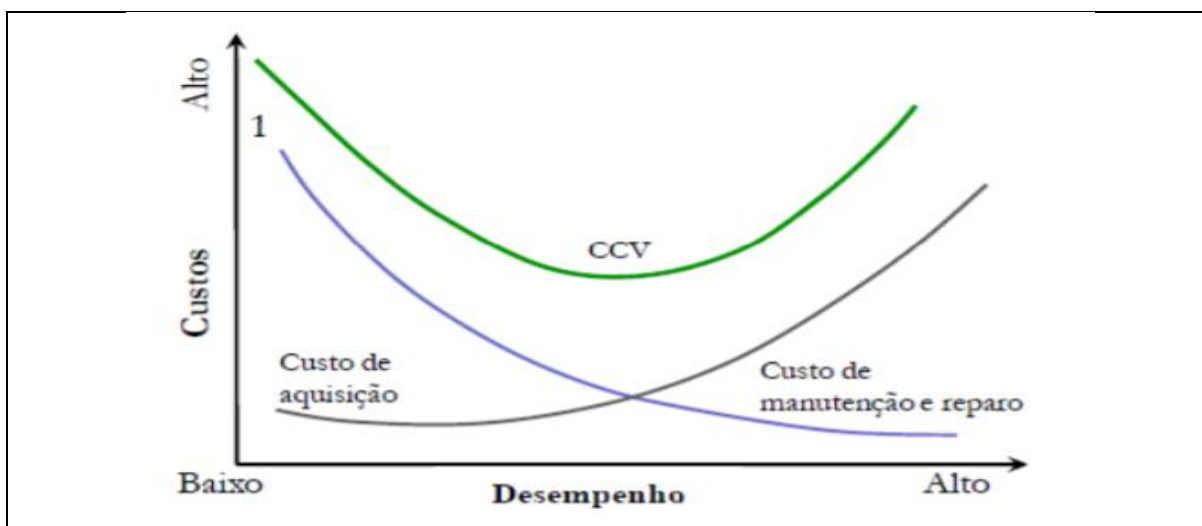
Fonte: HELENE; MONTEIRO (1993) apud SILVA (2011).

O desenvolvimento de novas tecnologias, processos construtivos e materiais de construção associado às exigências competitivas do setor tem fomentado a construção de edificações cada vez mais esbeltas e econômicas. No entanto, com o

progresso industrial e o crescimento das cidades, e conseqüentemente com o aumento da poluição urbana, as edificações passaram a ficar expostas a ambientes extremamente desfavoráveis. Com isso, com o passar do tempo, muitas construções começaram a apresentar níveis de degradação superior aos desejados, apresentando problemas relacionados à qualidade e à durabilidade, caracterizados pelo envelhecimento precoce devido, sobretudo, ao aparecimento de manifestações patológicas. Esses problemas afetam a estética, a segurança, a utilização e a durabilidade das construções. Tais fatos têm chamado a atenção da comunidade da construção brasileira para a necessidade do projeto para a durabilidade, do maior controle do projeto e execução de novas edificações e, sobretudo, da necessidade do constante monitoramento e/ou manutenção das construções existentes (POSSAN; DEMOLINER, 2013) (Figura 21).

A análise do CCV (Figura 21) exige conhecimento básicos de ciência dos materiais além do conhecimento multidisciplinar que a engenharia demanda, pode ser usada para justificar altos investimentos iniciais de um projeto, em razão dos benefícios econômicos advindos ao longo do tempo. Suas vantagens são mais bem percebidas quando se podem comparar diferentes alternativas de projeto, sendo que os maiores benefícios desta análise, são alcançados em projetos de novas edificações. A NBR 15575 de Norma e Desempenho deve ser aplicada, com relação à sustentabilidade, abrange a durabilidade, a manutenibilidade e os impactos ambientais da obra.

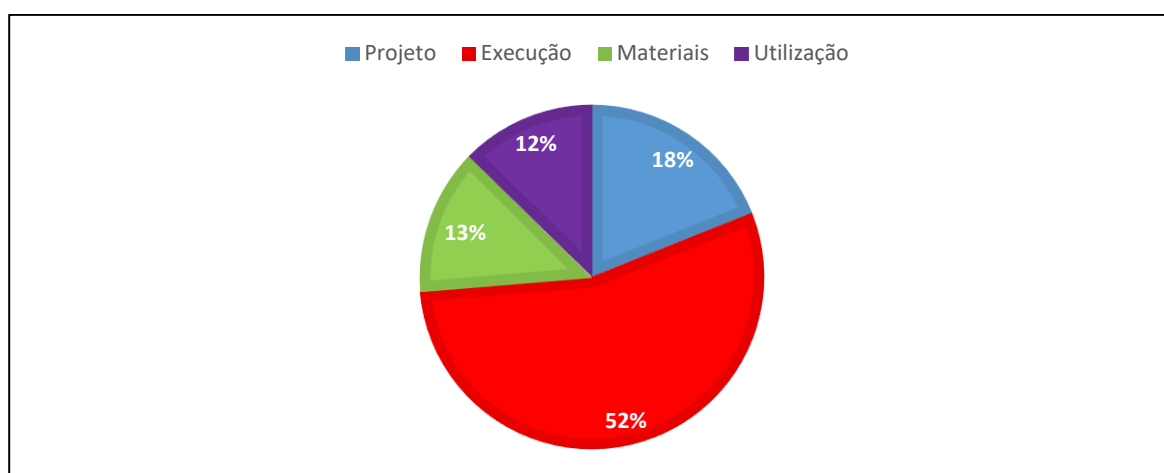
Figura 21 - Gráfico Relação custos de Aquisição x Custos de Manutenção e Reparo sobre o ponto do custo do ciclo de vida (CCV).



Fonte: POSSAN; DEMOLINER, 2013.

Dardengo (2010) demonstra pesquisa realizada nas edificações brasileiras, estudadas até o ano de 1988, na qual pode-se observar as causas das patologias existentes. Desse modo, o autor relata que os maiores problemas são provenientes da fase de execução, representando 52% dos casos pesquisados. Em seguida, estão as manifestações patológicas oriundas da fase de projeto e pela utilização de materiais de má qualidade, com representação de 18% e 13%, respectivamente (Figura 22).

Figura 22 – Análise das origens patológicas nas edificações brasileiras.



Fonte: Adaptado de DARDENGO, 2010.

O cenário da construção civil é crescente em virtude do desenvolvimento populacional e atrelado aos avanços tecnológicos. Apesar do surgimento de novas tecnologias e novos materiais desenvolvidos, assim como a madeira e suas diversas estruturas compostas que resultam em construções híbridas, as edificações estão apresentando cada vez mais manifestações patológicas das mais variadas espécies nas construções civis (FRANCO; NIEDERMEYER, 2017). Essas podem ter origem em diversas vertentes: fundações, deformações diversas de materiais, entre tantos outros fatores, ocasionando também inúmeras manifestações patológicas, entre elas, as fissuras, trincas e rachaduras.

O presente trabalho apresenta manifestações patológicas tipo fissuras e trincas em construções híbridas, mas no que diz respeito à Classificação das Fissuras em paredes de alvenarias, esta pode se dar por diversos critérios, dentre os quais, pela abertura e atividade. Magalhães (2004) as classifica em três tipos, no que diz respeito à abertura, como descrito a seguir:

a) Fissura fina – são as que possuem espessura menor que 1,5 mm;

- b) Fissura média – são as que apresentam espessura entre 1,5 mm e 10,00 mm;
- c) Fissura larga – são as que possuem espessura superior a 10,00 mm.

Segundo Oliveira (2012), as fissuras, trincas e rachaduras são manifestações patológicas observadas nas edificações, geralmente causadas por tensões dos materiais decorrentes da movimentação dos componentes (materiais distintos). Com isso, ocorrem quando os materiais forem solicitados por um esforço maior que a sua resistência característica, ocasionando a falha e provocando uma abertura. De acordo com a sua espessura, as aberturas podem ser classificadas em fissuras, trincas, rachaduras, fendas ou brechas (OLIVEIRA, 2012), conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das aberturas conforme sua espessura.

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: OLIVEIRA, 2012.

Outros autores também as classificam quanto à atividade. Segundo Duarte (1998), as fissuras também podem ser classificadas:

- a) **Ativas:** são as fissuras que apresentam variações de espessura durante um determinado período de tempo. Por exemplo, as fissuras ocasionadas por recalques diferenciais de fundações tendem a apresentar uma abertura crescente;
- b) **Inativas ou estabilizadas:** são as fissuras que não apresentam variações de espessura ou comprimento ao longo do tempo. Ocasionalmente por solicitações externas constantes, como a atuação de carregamentos excessivos ou fundações estabilizadas pós recalque.

Embora o presente trabalho não apresente medições, é importante destacar a possibilidade de novos estudos que caracterizem as aberturas segundo atividade e/ou tipo.

3.6.1 Manifestações patológicas em madeira

No território brasileiro, ocorre grande diversidade climática, pois o País apresenta grande extensão territorial com diferenças de relevo, altitude e dinâmica das massas de ar e das correntes marítimas, sendo que todos esses fatores influenciam no comportamento do material utilizado na edificação, porém, considerando questões climatológicas nesse estudo, as obras analisadas, apesar de localizadas em cidades diferentes, apresentam condições climáticas similares, já que todas se localizam no interior do estado de São Paulo. Considera-se, assim, que foram atingidos os objetivos propostos, mas o estudo pode ser desenvolvido por regiões, para melhor análise e classificação das manifestações patológicas.

Na madeira, as principais manifestações patológicas que ocorrem são as seguintes: alterações nas características físicas e químicas, perda de resistência devido à degradação do material, degradação superficial por apodrecimento, degradação por agentes atmosféricos, empenamento por secagem não controlada, dilatação ou retração devido às condições ambientais, deformações e vibrações excessivas, falhas nas ligações e/ou problemas nos apoios. As causas principais estão ligadas à ventilação insuficiente, falta de proteção superficial, erro na concepção, falta de limpeza e manutenção, agentes de degradação bióticos (fungos, bactérias, insetos xilófagos e xilófagos marinhos) (BRITO, 2014) (Figura 23).

Figura 23 – Fissuras no reboco causadas por problemas na estrutura autônoma e infiltração ascendente e erosão por respingo de chuva – apodrecimento do pilar de madeira.

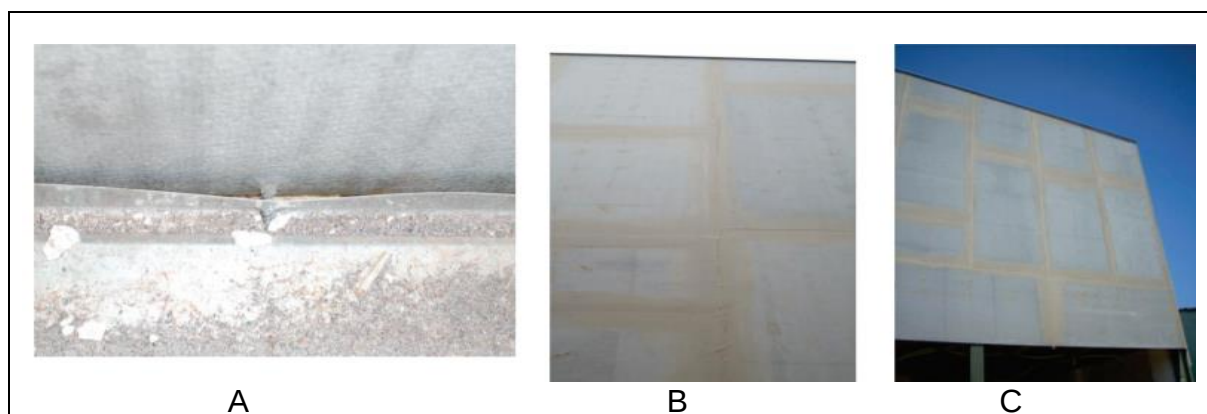


Fonte: OLENDER, 2006.

3.6.2 Manifestações patológicas em *steel frame*

No sistema LSF também ocorrem manifestações patológicas, sendo as mais frequentes: fissuras, falhas nas juntas entre chapas, vedações não aprumadas e ferrugem, causada por umidade. As fissuras ocorrem quando as vedações sofrem solicitação maior do que as dimensionadas. A resistência desse tipo de vedação aos esforços depende do material utilizado nas placas de fechamento e no sistema de fixação. Gaião et al. (2010) citam que as fissuras são uma das manifestações patológicas encontradas nas placas de gesso. Esta afirmação é corroborada por Campos (2010), que realizou uma avaliação de pós-ocupação, na qual os usuários relataram a ocorrência de fissuras nas placas de fechamento da edificação nas quais os fechamentos externos eram em placas cimentícias, e os internos em placas de gesso acartonado (Figura 24).

Figura 24 – Exemplos de patologias ocorridas em LSF.



A: elementos de fixação colocado incorretamente, deformação da guia; B E C: Tratamento de juntas em placas cimentícias com incidência de fissuras.

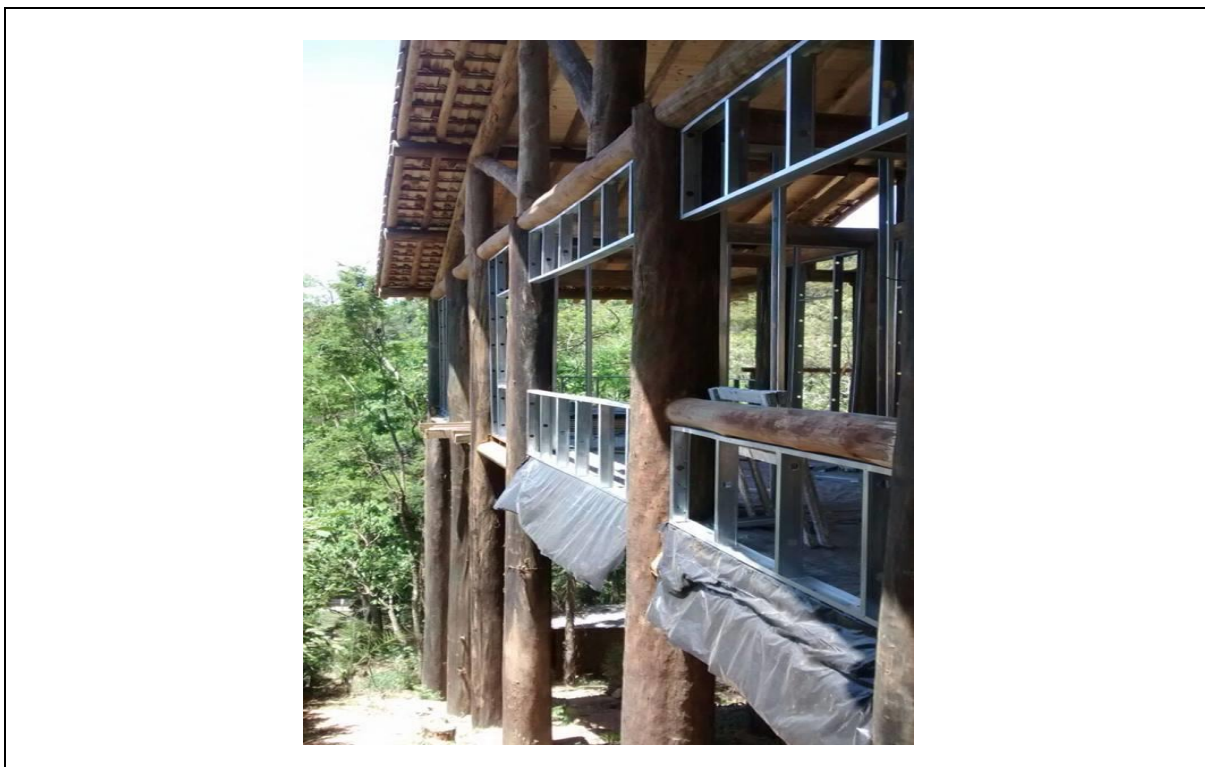
Fonte: TESTOLINO, 2011.

Gaião et al. (2010) observam ainda falhas nas juntas entre as placas, caracterizadas pelo destacamento da fita das juntas, geralmente ocasionados por erros na etapa de montagem dos painéis. Estas manifestações proporcionam declínio de desempenho dos sistemas de vedações, podendo ocasionar entrada de umidade, perda de desempenho e prejuízo visual do ponto de vista arquitetônico.

O alinhamento dos montantes de cada painel é de extrema importância para evitar excentricidades das cargas, caso existam mais de um pavimento diferente. Quando à estrutura, está em perfeito alinhamento, os esforços são transferidos na vertical pelo contato entre a alma dos perfis, onde de fato deve ocorrer este evento (MASO, 2017). Para esse alinhamento ocorrer nas estruturas de madeira roliça

(Figura 25) é necessário um desbaste nas superfícies irregulares, a fim de possibilitar a fixação de forma alinhada, no entanto, com o tempo, a madeira tende a sofrer com retratibilidade, podendo ocasionar o desalinhamento dos mesmos, o que causará fissuras.

Figura 25 – Fixação de montantes em estrutura pilar-viga de madeira roliça.

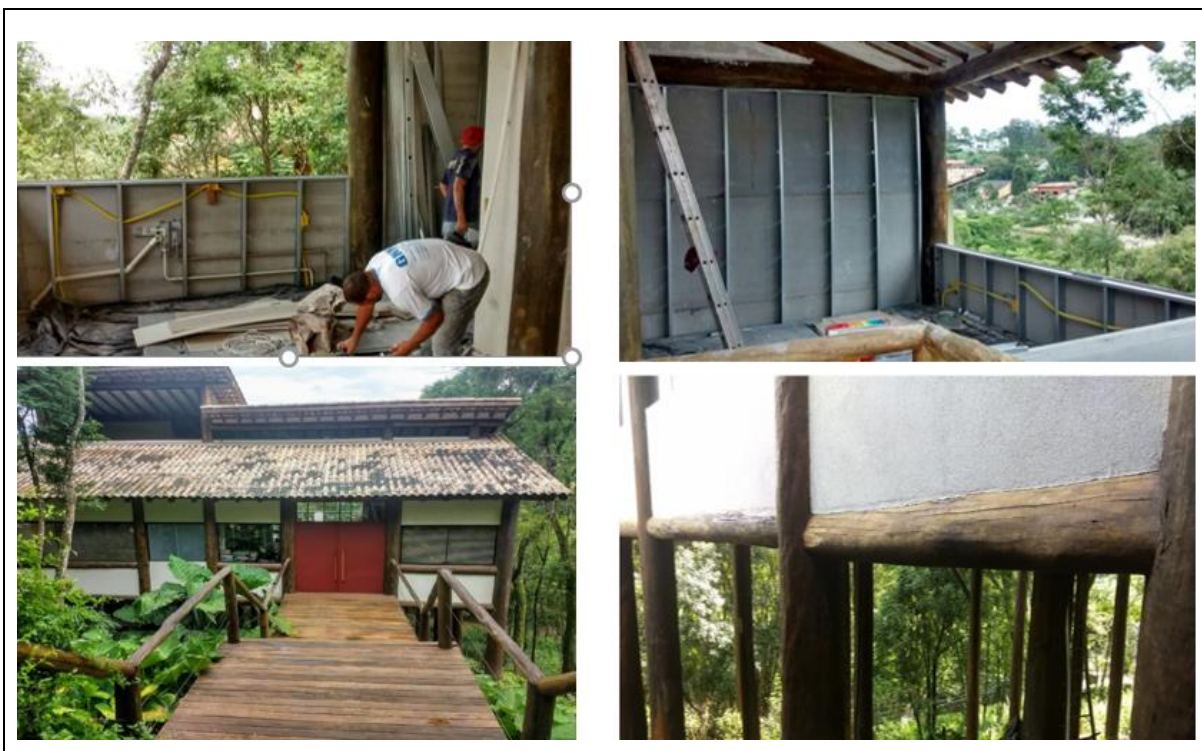


Fonte: SCALIMENDES, 2013.

3.6.3 Manifestações patológicas do sistema híbrido: madeira x steel frame

No sistema híbrido utilizando madeira e steel frame é comum haver o descolamento entre a estrutura de madeira e as placas de fechamento, fissuras horizontais entre as placas, destacamento da fita entre as juntas, que podem ocasionar fissuras e que podem afetar o revestimento, além de fissuras diagonais, que ocorrem normalmente em residências de dois ou mais pavimentos. Não foi encontrada literatura a respeito da união destes dois sistemas: pilar-viga de madeira /steel frame (Figura 26).

Figura 26 – Obra em andamento e finalizada, registros fotográficos pós-execução em 2013 e 2019.



Fonte: SCALIMENDES, 2013 e 2019.

3.7 AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO E DURABILIDADE DAS MADEIRAS

De acordo com a ISO 13823 (2008), durabilidade é definida como a capacidade da estrutura ou de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de Desempenho 11 descritos dessa norma para um projeto, por um período específico sob influência das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural. O conceito de durabilidade associa-se diretamente à vida útil. Refere-se às características dos materiais e/ou componentes, às condições de exposição e às condições de utilização impostas durante a vida útil da edificação. Destaca-se que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, está relacionada ao desempenho dos mesmos sob determinadas condições ambientais. O envelhecimento destes resulta das alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte devida à agressividade do meio ambiente. Para Mehta e Monteiro (2008), “uma vida útil longa é considerada sinônimo de

durabilidade”. Entre os diversos materiais destinados à construção civil e sujeitos à degradação ou desgaste natural por motivos diversos, a madeira é tida como material frágil justamente por ter características de higroscopicidade e retração, sofrendo mais com as exposições ambientais. Embora reúna qualidades de exceção que a elegem, sob muitos aspectos, sobretudo sob o critério da sustentabilidade, como material construtivo de elevado desempenho, ainda há muito preconceito com a sua utilização. Entretanto, como todo material orgânico, a madeira deve receber análise prévia das condições em que será aplicada, para identificar a necessidade de tratamento preservativo específico, buscando obter o melhor resultado quanto à durabilidade e resistência aos agentes biodeterioradores da madeira, como fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos. Atualmente, a NBR 7190 passa por revisão e seguimos as Classes de resistência conforme tabelas existentes, além de classificar visual e mecanicamente, conforme indicado na NBR 7190 atual, itens 4.3.5 e 4.4.4.3 5.2 em conjunto com uso da tabela 22 e recomendações do anexo D da respectiva norma (ABNT,1997).

O desconhecimento dos atributos e características da madeira inviabiliza a sua correta utilização. A madeira pode apresentar desvantagens para algumas espécies, de baixa durabilidade natural, rachaduras e empenamentos. Para tanto, faz-se necessária a avaliação de determinadas propriedades, adequando-as às madeiras em condições de uso, foco do presente trabalho, a fim de apresentar todas estas características para que profissionais possam fazer bom uso do material de forma que o mesmo tenha longa vida útil, atendendo, desta forma, o que a NBR 15575 determina. Com relação ao *eucalyptus corymbia*, madeira principal da pesquisa, por ser madeira de reflorestamento e, necessariamente, ser utilizada tratada em autoclave, do ponto de vista da preservação, além das informações descritas até aqui, alguns parâmetros devem ser observados:

- Escolha da espécie da madeira, com base nas propriedades intrínsecas de durabilidade natural, conforme figura 27 (tabela 22 da NBR 7190) e figura 28;
- Definição do risco biológico a que a madeira será submetida; adoção do método de tratamento e produto preservativo em função do risco biológico, visando o aumento da durabilidade da madeira;
- Em situações de maior risco e exposição aos agentes que degradam a madeira, como mourões, postes, dormentes e alguns componentes de construção, é

necessário o uso de madeiras de alta durabilidade natural ou tratadas (Figura 29), que lhe garantam maior resistência ao ataque de agentes xilófagos;

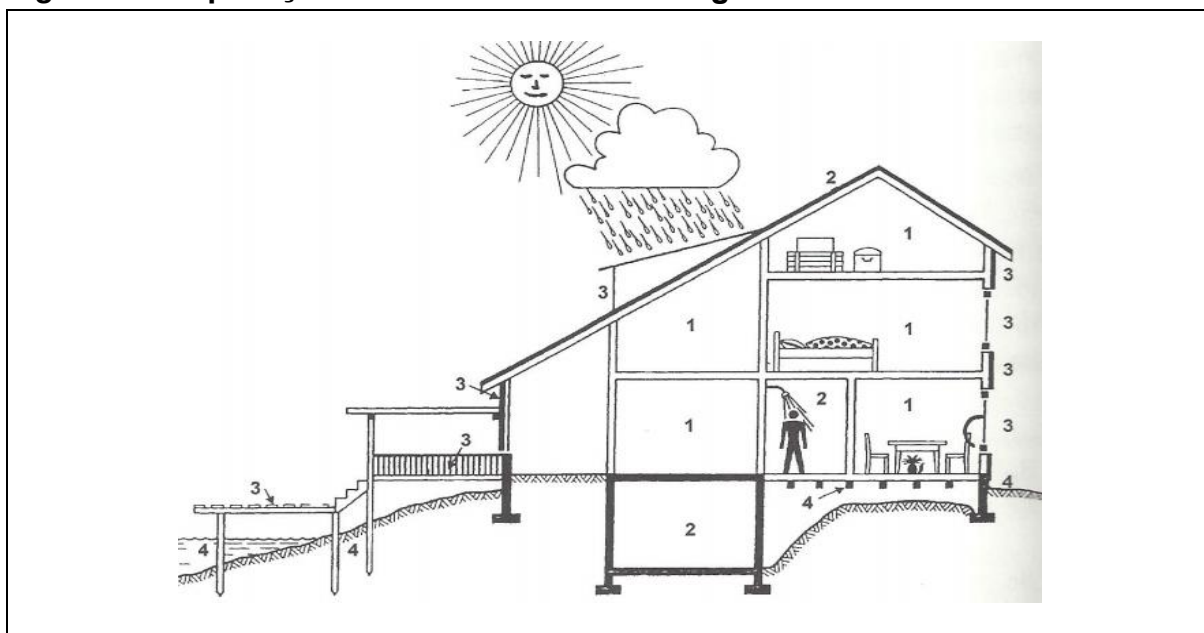
- Projetar, especificar as madeiras de acordo com a figura 30;
- Especificar técnicas de ligação, isolamento, aplicação, uso e manutenção para prolongar a vida útil do material.

Figura 27 – Tabela 22 da NBR 7190: Categoria de uso da madeira.

Categoria de uso	Condição de uso da madeira	Organismo xilófago
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira Cupim-subterrâneo Cupim-arborícola
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira Cupim-subterrâneo Cupim-arborícola Fungo embolorador/manchador Fungo apodrecedor
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos as intempéries.	
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfurador marinho Fungo embolorador/manchador Fungo apodrecedor

Fonte: ABNT, 1997.

Figura 28 – Aplicação conforme tabela de categoria de uso.



Fonte: CALIL JR; BRITO, 2010.

Figura 29 – *Eucalyptus* para tratamento entrando em autoclave.



Fonte: MONTANA QUÍMICA, 2014.

Figura 30 – Classes de resistência para dicotiledôneas.

DICOTILEDÔNEAS (para teor de umidade padrão de 12%)					
CLASSES	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{v,k}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9.500	500	650
C 30	30	5	14.500	650	800
C 40	40	6	19.500	750	950
C 50*	50	7	22.000	770	970
C 60	60	8	24.500	800	1.000

Nova Classe de Resistência proposta para revisão da NBR 7190.

Fonte: ABNT, 1997.

Para garantir a durabilidade da madeira, necessita-se de uma classificação quanto às condições de exposição que seja tão objetiva quanto possível, visando o conhecimento dos tratamentos preventivos e execução de detalhes minuciosos de projeto (BENEVENTE, 1995). Essa classificação deve levar em conta as condições de exposição prováveis de estruturas de madeira, considerando fatores tais como: temperatura normalmente presente, fontes de umidade, contato ou distanciamento da

madeira com o solo, presença de coberturas ou proteções nos elementos, entre outros.

No que diz respeito à madeira plantada e nos fatores que influenciam durabilidades e preservação, a durabilidade pode ser definida como a capacidade de se manter em serviço, por longo tempo, apresentando qualidades ou características originais (BENEVENTE, 1995).

A pesquisa apresenta as recomendações da NBR 7190/1997, atualmente vigente, no que diz respeito ao uso de madeira com função estrutural em uma edificação: madeira *eucalyptus corymbia*, preservada, de classe de resistência C30. É necessário entender sobre a aplicação do conceito de durabilidade e preservação das madeiras nativas e plantadas, quais tipos de preservação existem, dentre os quais, qual o mais utilizado no Brasil, tipos de preservantes, diretrizes de projeto e métodos de consulta para especificações dos tipos de madeira e de determinação de seu uso. Isso é necessário considerando-se que as edificações analisadas no presente trabalho se utilizam de madeira *eucalyptus* preservada em autoclave em sua estrutura. Nesse sentido, menciona-se apenas tópicos sobre: 10.7 Durabilidade da madeira e o anexo D - Recomendações sobre a durabilidade das madeiras. Todavia, a absorção de novos conceitos demanda esforços por parte dos usuários e, como há uma mudança mercadológica no que diz respeito aos tipos de sistemas construtivos utilizados, também haverá uma grande mudança no cenário do consumo e preservação de madeira. Em especial, com relação à madeira de reflorestamento, há muitos parâmetros a definir no que se refere à durabilidade e preservação na revisão da NBR 7190/1997, sendo que a NBR 16143/2013 – Preservação de Madeiras – Categoria de Usos também se encontra em revisão (ABNT, 1997; ABNT, 2013.)

De acordo com Ino (1997), para garantir a durabilidade de uma estrutura, é essencial o conhecimento da cadeia produtiva da madeira utilizada, considerando-se a importância em cada etapa do processo de produção (derrubada, retirada da árvore da floresta, transporte, armazenamento, desdobro, secagem, usinagem, pré-fabricação e aplicação).

Segundo Ino (1997), nos primeiros momentos da concepção do projeto, devem-se considerar as condições de exposição da estrutura. No detalhamento, é imprescindível que o projetista considere as condições de exposição relativas ao solo, à umidade e às intempéries. A garantia da durabilidade da estrutura, segundo ela, ainda está relacionada a alguns princípios:

- a) a madeira deve sempre estar em condições ventiladas;
- b) a madeira deve ser usada em condição seca, com umidade de equilíbrio ao ar;
- c) as extremidades e saliências da peça estrutural devem sempre estar protegidas;
- d) as águas pluviais devem escoar rapidamente nos elementos estruturais;
- e) o contato da madeira com o solo deve ser evitado, pois ocorre ascensão de umidade por capilaridade.

A qualidade da madeira está diretamente relacionada à sua aplicação, portanto, é necessário realizar ensaios de deterioração em campo, com espécies florestais da região em estudo, para obter resultados que possibilitem a classificação da deterioração e a recomendação ou não do seu uso em ambientes externos (JESUS et al., 1998).

Os ensaios de deterioração em campo, conhecidos como campos de apodrecimento, expõem a madeira ao solo, às intempéries do ambiente e a uma vasta gama de microrganismos e insetos xilófagos (PAES et al., 2009; VIVIAN, 2011).

É sabido que o desempenho mecânico de uma estrutura de madeira é condicionado pelo comportamento mecânico de suas ligações uma vez que a descontinuidade dos elementos estruturais resulta em concentrações de tensão, estas conexões estruturais têm sido estudadas desde os anos 70 do século XX, nos países da Europa (RAMMER, 2010). Nesse sentido, as ancoragens que vamos analisar entre pilar-viga e vedações diversas sofrem a mesma influência destes esforços, ora pelas próprias ligações madeira-madeira, ora na interface dos materiais diversos utilizados e avaliados na pesquisa.

3.7.1 Preservação de madeiras

No final do século XIX, com vistas de o tratamento de madeiras atender à demanda de dormentes utilizados nas ferrovias, o setor de preservação de madeiras foi impulsionado com significativo aumento das pesquisas científicas, normalização técnica e unidades industriais de preservação de madeira, acentuadas, especialmente, a partir da década de 1960. De lá até os dias de hoje, poucos avanços foram observados. As usinas de preservação utilizam basicamente madeiras de *eucalyptus* e *pinus*, realizando, principalmente, o tratamento preservativo em autoclaves sob pressão. Em pequena escala, utiliza-se o método de substituição de

seiva (VIDAL; EVANGELISTA; SILVA, 2015). Pode-se dividir as madeiras utilizadas no Brasil em dois grupos: madeiras nativas e madeiras plantadas, sendo apenas o segundo grupo, as de reflorestamento, que recebem tratamentos para se atingir maior durabilidade, já que são espécies de crescimento mais rápido, portanto com resistência menor, porém com maior tratabilidade. Os principais preservativos utilizados nos tratamentos são o CCA e CCB; utilizava-se também o creosoto, que está atualmente praticamente extinto (FERRARI, 2011).

A produção de madeira tratada antigamente concentrava-se, essencialmente, na produção de mourões de cerca, postes e dormentes. Como a tendência do setor de construção civil é utilizar peças para funções estruturais, estas vêm dominando grande parte do mercado madeireiro. Como vêm demonstrando as pesquisas sobre vários produtos, o CCA deverá se manter no mercado por vários anos, pela inexistência de produtos alternativos que apresentem a mesma eficácia, bem como à inexistência de relatos de que o produto apresente efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, embora, em alguns países, seu uso já tenha sido proibido. Madeiras reconhecidamente de alta durabilidade natural praticamente não estão mais disponíveis no mercado e, gradualmente, estão sendo substituídas por outras de rápido crescimento, exigindo, em contrapartida, tratamento preservativo.

Tal tratamento torna-se imprescindível para aumentar a vida útil de produtos dessas madeiras, bem como contribuir com a preservação das florestas nativas. Segundo Revista da Madeira (REMADE, 2007), a preservação de madeiras envolve qualquer procedimento ou conjunto de medidas que possa conferir à madeira em uso maior resistência aos agentes de deterioração, proporcionando-lhe maior durabilidade. Tais agentes podem ser de natureza física, química e biológica (agentes xilófagos), que afetam suas propriedades. O tratamento preservativo é imprescindível para madeiras de baixa durabilidade natural ou para porções permeáveis e passíveis de tratamento, como o alburno. A eficácia do tratamento é avaliada por meio da retenção e penetração de produtos, garantidas pelos níveis mínimos recomendados pelas normas técnicas. No mercado, existem diversos produtos preservativos, de natureza hidrossolúvel ou oleossolúvel, para tratamento preventivo ou curativo; diversos métodos são utilizados, com pressão atmosférica ou pressões artificiais. A combinação de produtos e processos confere à madeira padrões de qualidade diversos, adequando-a aos diferentes usos. No Brasil, emprega-se um baixo volume

de madeira tratada, quando comparado a outros países, como os Estados Unidos e Inglaterra (VIDAL; EVANGELISTA; SILVA, 2015).

3.7.2 Tipos de preservantes e Selo Qualitrat

No que se refere a preservantes naturais, pode-se incluir os cuidados básicos que o profissional deverá ter ao escolher, especificar a madeira, ou seja, utilizar a tabela de resistência das espécies para determinar seu uso, bem como projetar consultando a norma NBR 7190 e a sua tabela de classes de uso, especificando o isolamento dos contatos com umidade, entre outras diretrizes de projeto que serão determinantes na durabilidade da madeira, pois a preservação natural se refere à utilização da madeira, protegendo-a do contato com o solo e das fontes de umidade, de forma a se evitar a ação dos agentes deteriorantes, alta exposição solar, entre outros (ABNT, 1997).

A preservação indireta consiste no tratamento do meio em que a madeira está sendo utilizada com a finalidade de protegê-la. A preservação biológica envolve o emprego de organismos vivos na prevenção ao ataque dos organismos xilófagos. Na preservação química, são introduzidos produtos químicos dentro da estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimento. A preservação químico-sintética é o método mais utilizado hoje no Brasil, conforme mencionado anteriormente (ABNT, 1997). Mas esse tipo de preservação é questionável, devido ao seu potencial de ação nociva ao ser humano e pelos riscos de contaminação ambiental provocada pela disposição irregular dos resíduos da madeira tratada (é necessário apenas haver orientação para que o descarte da mesma ocorra de maneira correta).

Uma vez que se utilize a madeira tratada, é preciso conhecer os métodos de tratamento, a retenção de produto adequada para cada uso e aquisição de Usina de Preservação Madeira (UPM) de procedência, caso contrário, este tratamento não garantirá a qualidade do material. Neste sentido, existe atualmente um projeto da Associação Brasileira de Preservação de Madeira (ABPM) de lançar um selo para a madeira tratada, chamado *Qualitrat*, vinculado ao programa de autorregulamentação da ABPM. Tal programa garante qualidade e legalidade à madeira tratada. Com o selo de qualificação concedido às usinas de tratamento de madeira, após aprovação em

rigorosos critérios, os interesses dos produtores e consumidores de madeira tratada ficam plenamente protegidos.

Atualmente, as construções utilizando madeiras, tais como MLC e a madeira laminada cruzada CLT, vêm crescendo no Brasil, porém, o uso destas como um tipo de sistema estrutural em suas edificações já é utilizado na Europa há mais de 100 anos. No Brasil, é ainda mais expressivo o tratamento de peças de madeira *eucalyptus* roliças para uso estrutural no sistema pilar-viga.

A construção mais sustentável de novas edificações, de infraestrutura e de reabilitação mais sustentável de edifícios existentes podem iniciar uma etapa significativa, no sentido de uma melhoria da qualidade ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus cidadãos.

O aperfeiçoamento de sistemas construtivos híbridos, com estrutura de madeira e fechamento em drywall, segundo Barata e Gadini (2008), pode viabilizar o uso da madeira como principal material de construção, principalmente considerando o maior controle de qualidade e eficiência no processo produtivo de componentes estruturais em madeira em unidades de pré-fabricação e a racionalidade e rapidez no processo de montagem em canteiro de obras.

Apesar da viabilidade, as edificações em madeira sofrem ainda uma grande rejeição pelo desconhecimento de sua real capacidade e pelo conceito de fragilidade apresentado pela estrutura com relação ao ataque de organismos xilófagos, que consomem partes da madeira, causando danos ao seu funcionamento estrutural. Este fato pode ser contornado através da utilização de tratamentos preservativos específicos, como o uso de “arseniato de cobre cromatado (CCA), borato de cobre cromatado (CCB), cromato de cobre ácido (ACC) e o arseniato de cobre amoniacal (ACA)” (FERRO, 2013) e é nesse sentido que o presente trabalho analisa construções mistas, que utilizam madeira tratada e alvenarias convencionais, até então mais aceitas pelo consumidor.

4 METODOLOGIA

A pesquisa se baseia em estudos de casos múltiplos, com caráter descritivo, qualitativo e exploratório, e Godoy (1995, p. 58) aborda, de forma analítica, as diferenças entre os métodos quantitativo e qualitativo:

Num estudo quantitativo, o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido a priori, com hipóteses claramente especificadas e variáveis operacionalmente definidas. Preocupa-se com a medição objetiva e com a quantificação dos resultados. Busca a precisão, evitando distorções na etapa de análise e interpretação dos dados, garantindo assim uma margem de segurança em relação às inferências obtidas.

No caso do presente estudo, segundo Godoy (1995, p. 58), o estudo apresenta de maneira diversa, a pesquisa qualitativa pois não procura enumerar e/ou medir eventos os estudados. Parte de questões vivenciadas e registradas, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve. Esta pesquisa se desenvolve pela obtenção de dados descritivos sobre projetos e obras, processos interativos pela observação direta do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos participantes da situação de estudo.

Segundo Yin (2005), o uso do estudo de caso é adequado quando se pretende investigar o como e o porquê de um conjunto de eventos contemporâneos, neste caso de um sistema construtivo misto até então pouco utilizado e estudado. O autor assevera que o estudo de caso é uma investigação empírica que permite o estudo de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto atual, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Gil (2009) aponta alguns propósitos dos estudos de caso:

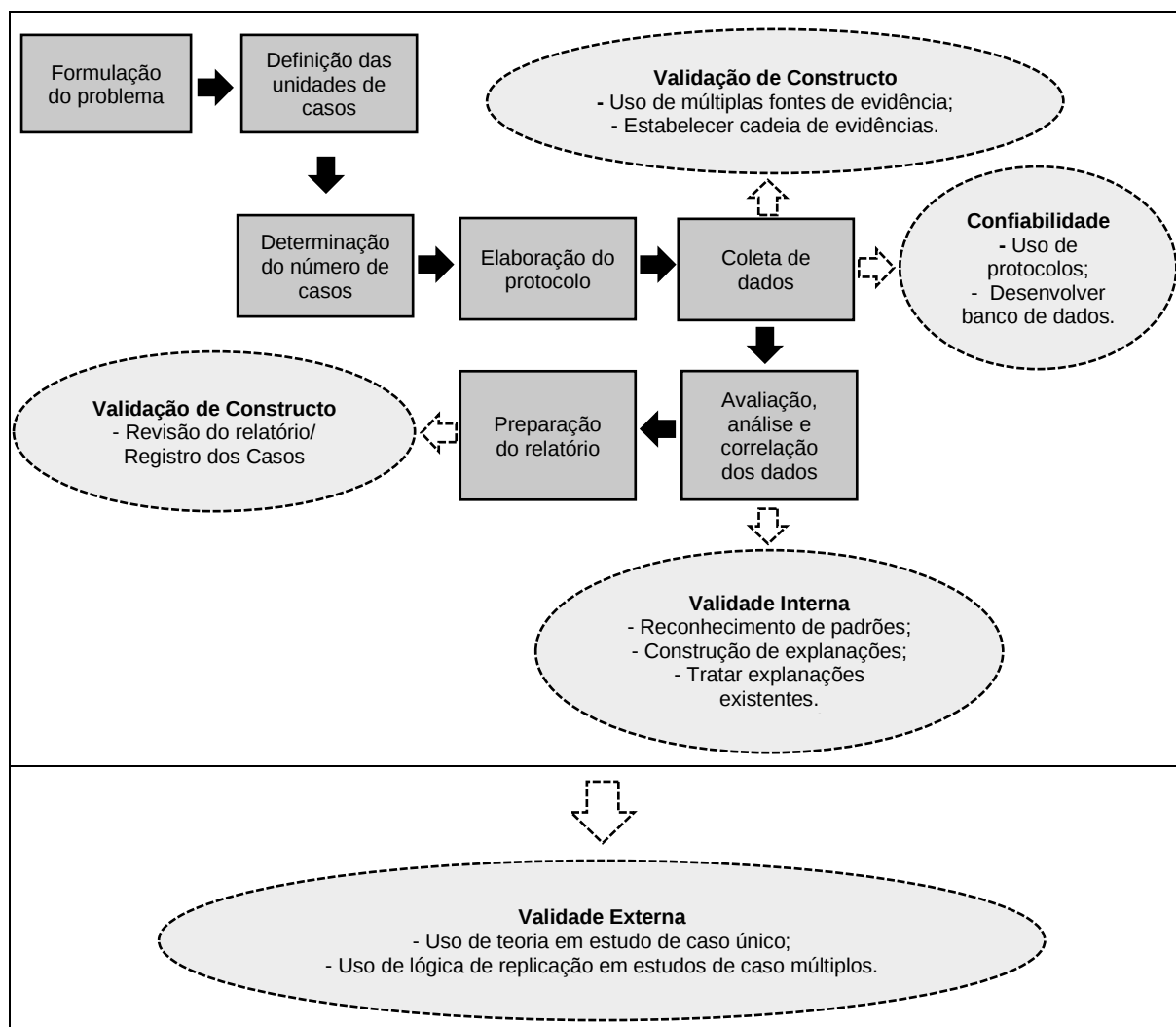
- 1) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- 2) preservar o caráter unitário do objeto estudado;
- 3) descrever a situação do contexto em que está sendo feita uma determinada investigação;
- 4) formular hipóteses ou desenvolver teorias e;
- 5) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações complexas que não permitam o uso de levantamentos e experimentos.

Yin (2005) menciona que a pesquisa na forma de estudo de caso inclui casos únicos e casos múltiplos – ambos como variantes dos projetos de estudo de

caso. O autor considera que o estudo de caso único é eminentemente justificável quando representa: (a) um teste crucial da teoria existente; (b) uma circunstância rara ou exclusiva, ou (c) um caso típico ou representativo, ou quando o caso serve a um propósito (d) revelador ou (e) longitudinal. De acordo com Yin (2005), a escolha de realizar múltiplos estudos de caso geralmente é ainda mais desafiadora, por ser mais ampla e robusta do que o estudo detalhado de um único caso, o que pode premiar o pesquisador com a ampliação das possibilidades de replicações teóricas e generalizações a partir de constatações e cruzamentos dos resultados dos casos.

Assim, o estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que abrange tudo, tratando da lógica de planejamento, das técnicas de coleta de dados e das abordagens específicas à análise dos mesmos. Nesse sentido, o estudo de caso não é nem uma tática para a coleta de dados, nem meramente uma característica do planejamento em si, mas uma estratégia de pesquisa abrangente (YIN, 2005), segundo esquema apresentado na figura 31.

Figura 31 – Método de investigação: estudo de caso – esquema de planejamento metodológico.



Fonte: Adaptada de YIN, 2005.

Os estudos de caso de sete edificações residenciais com duas tipologias: térrea e de dois pavimentos, projetadas e executadas no período entre 7 a 12 anos, situadas no interior de São Paulo, foram acompanhados desde o projeto até a execução das obras com o objetivo de realizar esta pesquisa de mestrado de estudos de casos definida com base na revisão da metodologia estudada e citada acima. Verificou-se como subsistema três diferentes tipos de vedações para compor o sistema construtivo híbrido, cujo sistema estrutural principal é pilar-viga, em *eucalyptus corymbia* tratado em autoclave, ora aplicados individualmente, ora aplicados na mesma edificação.

Com enfoque em materiais tradicionais: bloco de concreto e blocos cerâmicos e novas tecnologias para vedação: placas cimentícias e *drywall*, visou-se

contribuir para o aperfeiçoamento de técnicas construtivas com madeira, bem como ampliação de formulações teóricas a esse respeito, apresentando a possibilidade de serem utilizados em conjunto.

Para tanto, foram desenvolvidos os trabalhos conforme as etapas:

- a) Levantamento dos projetos arquitetônicos;
- b) Execução e acompanhamento das obras das edificações em questão;
- c) Execução de registros fotográficos periódicos durante execução e pós-obras;
- d) Identificação de materiais e subsistemas de vedação propostos em projeto para estruturas de madeira;
- e) Avaliação do comportamento das alvenarias de vedações, entre outros tipos de materiais para vedações em estruturas de *eucalyptus corymbia* roliço tratado em autoclave pós-execução das obras;
- f) Apontamento de manifestações patológicas e deformações diversas na interface dos materiais com a madeira, bem como nas diferentes vedações, por vezes encontradas no meio da parede ou na laje, indicando vantagens e desvantagens entre os materiais utilizados;
- g) Especificação e apresentação de técnicas utilizadas, correlacionando-as às manifestações patológicas;
- h) Mensurar vantagens e desvantagens de cada material utilizado nas vedações.

Com estes dados, foi possível avaliar a eficácia das medidas tomadas e a resposta dos materiais às medidas adotadas. O tempo de vida das edificações estudadas foi determinado com base na observação de que as manifestações patológicas ocorrem principalmente nos três primeiros anos pós-execução e, a partir do quarto e quinto ano, a estrutura de madeira tende a acomodar. Desta forma, todas as edificações foram construídas há mais de 6 anos.

Analisou-se as etapas de execução, avaliou-se medidas preventivas e os resultados, no intuito de se difundir o uso da madeira em sistemas construtivos mistos ou híbridos, combinando-a com blocos de concreto, blocos cerâmicos ou placas cimentícias/*drywall* em edificações. Procurou-se identificar o comportamento estrutural do sistema construtivo principal em madeira e os subsistemas utilizados. Com este objetivo, foram levantados os dados apresentados e discutidos conforme definido na metodologia aplicada.

5 DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ANALISADAS

Além da descrição dos tópicos da pesquisa apresentada nos capítulos anteriores e da metodologia descrita, seguem as descrições de dados dos sete estudos de caso divididas em duas tipologias de edificações: térrea e dois pavimentos apresentadas no Quadro 2. Para explorar as diferentes tipologias de construção e suas vedações diversas, suas manifestações patológicas, bem como sistemas mistos (híbridos) criados, foram fotografadas e analisadas as edificações com base em dados conhecidos dos materiais em questão, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Essas obras foram executadas nos anos de 2008 e 2015, em sistema híbrido madeira com *steel frame*, bloco cerâmico e/ou bloco de concreto, conforme se delineia no quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Residências analisadas, 2019.

Caso	Residência Local	Idade da Construção	Tipologia	Área (m²)	Patologia
A	Santana de Parnaíba - SP	12 anos	Térrea Suspensa	120	Não
B	Cajamar - SP	7 anos	Térrea Suspensa	150	Não
C	Santa Isabel - SP	10 anos	Sobrado	130	Sim
D	Embu das Artes - SP	8 anos	Sobrado	250	Sim
E	Itatiba - SP	7 anos	Sobrado	250	Sim
F	Itatiba- SP	6 anos	Térrea	140	Sim
G	Itatiba- SP	7 anos	Sobrado	250	Sim

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O quadro 3 exibe por meio do projeto arquitetônico e registro fotográfico uma foto durante a execução e uma foto da edificação finalizada. Nos Resultados serão registradas as etapas de execução, conclusão até o pós-obra, bem como identificadas as manifestações patológicas encontradas em cada uma, de acordo com a tipologia de cada uma, mesmo apresentando vedações de materiais diferentes. Foram registrados ainda detalhes de execução, vistorias pós-obras realizadas.

Quadro 3 – Informações de levantamento de dados das obras projetadas, executadas e analisadas, 2019.

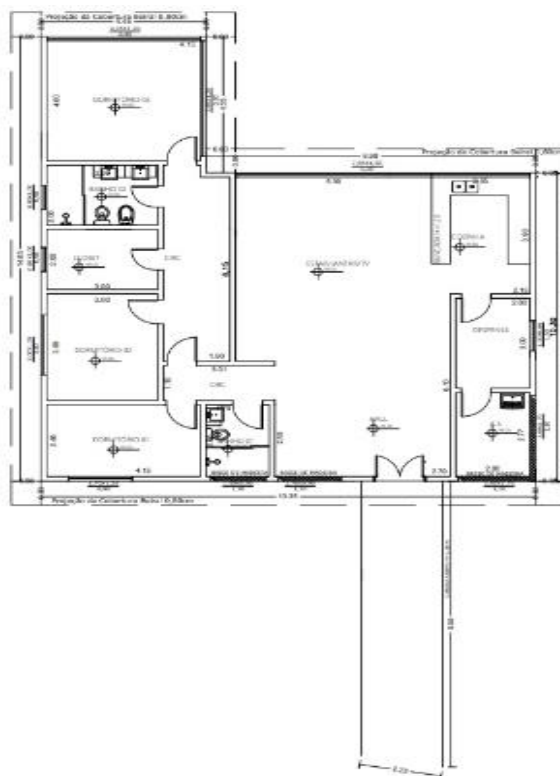
Edificação	Planta arquitetônica Registro/Execução Registro/Obra concluída	Solução empregada	Patologias
CASO A Residência Unifamiliar 120 m². Santana de Parnaíba – SP, 2009 Tipologia Térrea suspensa Vedação Blocos cerâmicos	  	Barra metálicas 3/8” instaladas a cada 3 fiadas de blocos bem como pregos metálicos nas interfaces pilar/bloco de concreto	Nenhuma manifestação patológica

Continuação quadro 3

CASO B
Residência
Unifamiliar
150 m²,
Cajamar –
SP, 2013.

Tipologia
Térrea
suspensa

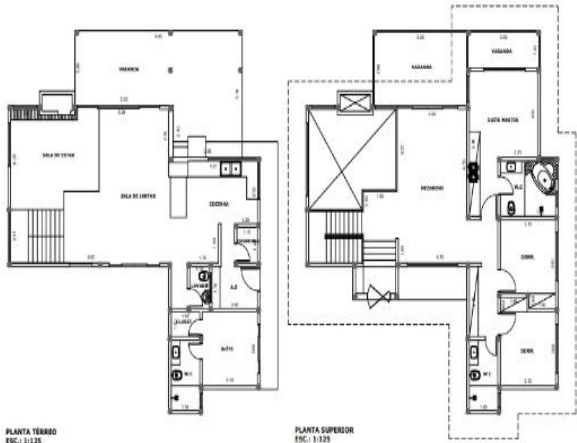
Vedação
Steel frame



Nenhuma
técnica
exceto as
tradicionais
do sistema
steel frame
como telas
na junção
de placas,
alinhament
o de perfis
com
desbaste
das toras
para
instalação

Nenhuma
manifestação
patológica

Continuação quadro 3

CASO C Residência Unifamiliar 300 m², Santa Isabel – SP, 2012. Tipologia Dois pavimentos Vedação Blocos cerâmicos	  	Nenhuma técnica adotada na interface dos materiais, apenas pregos metálicos na junção da laje/viga de madeira	Trincas e fissuras, na interface dos pilares internos e fissuras e descolamento da laje apoiada sobre as vigas de madeira
--	---	--	--

Continuação quadro 3

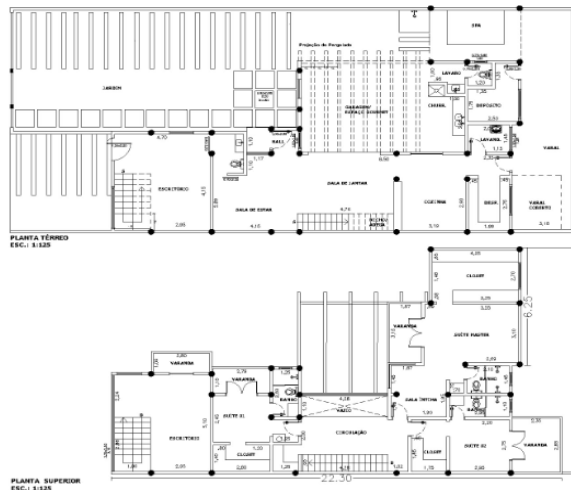
CASO D Residência Unifamiliar 250 m², Embu das Artes – SP, 2012. Tipologia Dois pavimentos Vedação Blocos de concreto	  		Vários pilares internos apresentara m descolamen to da argamassa
--	---	--	---

Continuação quadro 3

CASO E
Residência
Unifamiliar
250 m²,
Itatiba – SP,
2013.

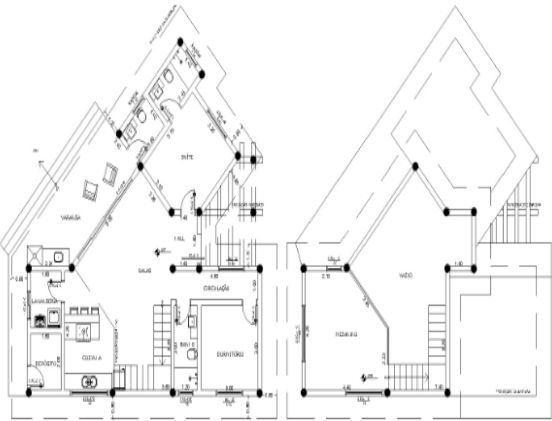
Tipologia
Dois
pavimentos

Vedação
Placas
cimentícias
e drywall x
blocos de
concreto e
cerâmicos

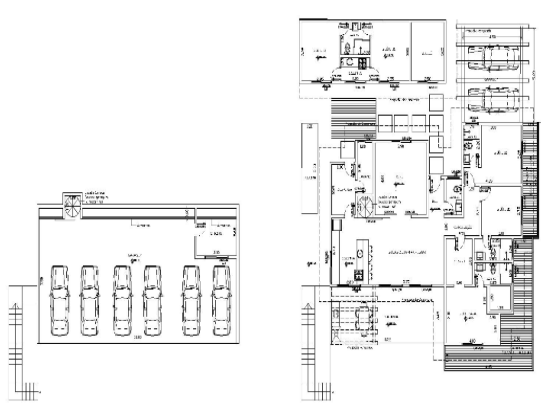


Dilatação
dos
materiais

Continuação quadro 3

CASO F Residência Unifamiliar 140 m², Itatiba – SP (2), 2013. Tipologia Térrea Vedações Placas cimentícias e drywall	  	Fissuras e trincas
---	---	---------------------------

Continuação quadro 3

CASO G Residência Unifamiliar 140 m², Itatiba – SP (3), 2013. Tipologia Dois pavimentos Vedações Blocos de concreto	  	Não foram instalados pregos metálicos nas interfaces dos pilares/alvenaria e nem barras metálicas nas	Fissuras diagonais por falta de contra-verga e trincas nas interfaces do pilar de madeira/alvenarias de bloco de concreto
--	---	--	--

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Todas as edificações avaliadas tratam-se de residências unifamiliares construídas em sistema estrutural de madeira tipo pilar-viga, com uso de *eucalyptus corymbia* roliço tratado em autoclave.

6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As fundações de todas as edificações analisadas foram do tipo rasas, com estacas escavadas com trado manual moldadas no local da obra, com sapatas com armações de aço dos blocos e das estacas medindo 50 cm x 50 cm x 50 cm com 4 barras de aço 3/8" (0,95 cm), em alguns casos, com 6 barras, e as brocas 20 cm de diâmetro com estribos de 15 cm em 15 cm e barras 3/8" (0,95 cm). Todas variando entre 1,5 e 5 m de profundidade. Alguns pilares com dupla estaca. Vigas baldrame 17 cm x 25 cm e concreto usinado de resistência 20 MPa.,

A seguir, são apresentados os resultados das manifestações patológicas, considerações sobre as etapas construtivas de cada uma das residências, bem como os registros das fissuras, com ênfase nas técnicas de execução utilizadas na etapa de construção para minimizar as manifestações encontradas em cada uma das edificações e método realizado e/ou sugerido para reabilitação.

6.1 CASO A

A edificação residência A foi executada com vedações em blocos cerâmicos, possui laje de piso H8, inserida em terreno com declive, sua tipologia é térrea suspensa (Figura 32).

Figura 32 - Edificação da residência A.



A: Laje H8 em execução (agosto de 2008)



B: Vista inferior da execução da laje H8 e vedações de blocos cerâmicos 19x29x39cm



C: Reboco sendo executado



D: Vista inferior da laje pronta sobre as vigas de madeira (janeiro de 2010)



E: obra pronta, em 2010



F: obra pronta, em 2019

Fonte: Arquivo pessoal, 2008/2019.

Manifestação patológica: Durante a execução, foram colocadas barras de aço 3/8" (0,95 cm) a cada três fiadas de blocos cerâmicos, bem como pregos metálicos medindo 17 cm x 21 cm na interface do pilar/alvenaria. A edificação tem 12

anos desde sua execução e não sofreu nenhum reparo de trincas e/ou fissuras, não apresentou nenhuma manifestação patológica. A fundação foi feita com sapatas 50 cm x 50 cm x 50 cm com estacas de 4,00 metros de profundidade, devidamente interligadas por vigas baldrame.

6.2 CASO B

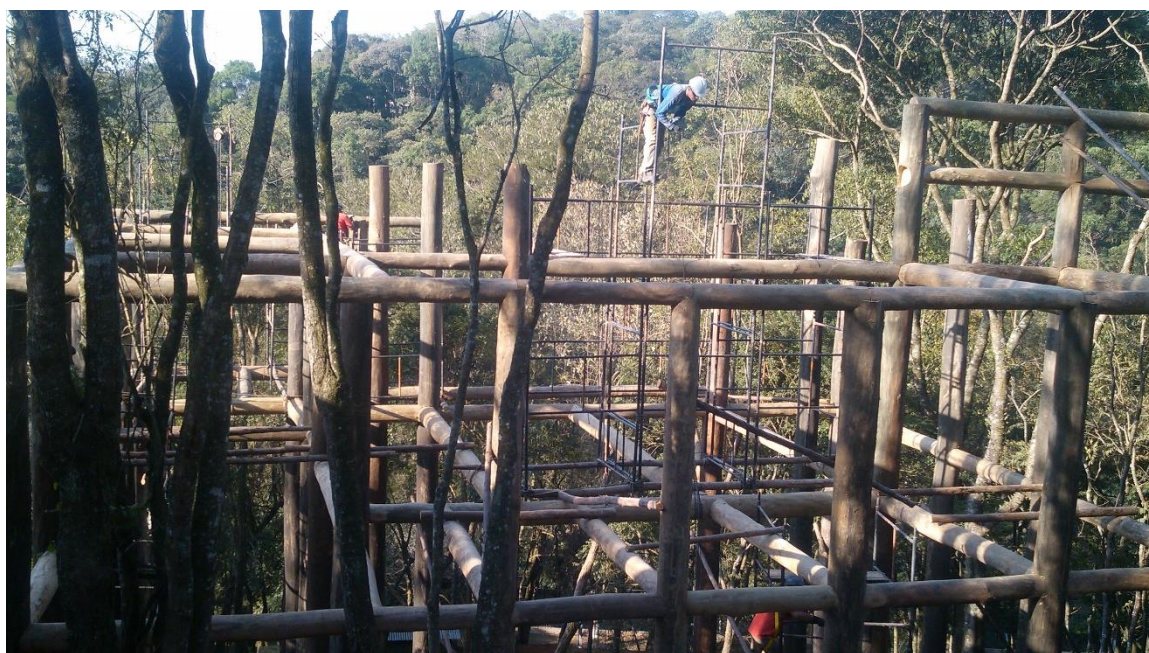
A edificação residência B foi executada com vedações em placas cimentícias e *drywall*, não possui laje, o piso de assoalho de garapeira de 15 cm suspenso foi fixado em barrotes 5x15, inserida em terreno com declive bem acentuado, sua tipologia é térrea suspensa (Figura 33).

Embora a tipologia e metragem sejam semelhantes à edificação A, os subsistemas de vedações são diferentes.

Figura 33 - Edificação da residência B.



A: Estrutura em execução, pilares sendo fixados (julho de 2013)



B: Estrutura pilar-viga de *eucalyptus* sendo executada (agosto de 2013)



C: Estrutura e cobertura executadas, assoalho de madeira instalado (setembro de 2013)



D: Vista frontal da estrutura pilar-viga de *eucalyptus* pronta, início da instalação dos perfis de alumínio (outubro de 2013)



E: Vista interna, instalação dos perfis de alumínio do sistema steel frame para receber placas de drywall internamente (outubro, 2013)



F: Placas cimentícias sendo instaladas externamente (outubro, 2013)



G: Finalizando vedações do sistema steel frame em estrutura pilar-viga de *eucalyptus* (outubro, 2013)

Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Manifestação patológica: Nenhuma manifestação patológica foi encontrada na edificação, em duas vistorias realizadas.

6.3 CASO C

A edificação residência C utilizou alvenaria convencional em blocos de concreto de 14 cm x 19 cm x 39 cm no pavimento inferior. No superior, blocos cerâmicos 19 cm x 29 cm x 39 cm e possui laje de piso H12. Nas imagens A e B, são observadas algumas etapas da construção da residência em análise, podendo verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente (Figura 34).

Figura 34 - Edificação da residência C.



A: estrutura pilar x viga em madeira e laje em execução em 2013



B: lajes de piso executadas recebendo as vedações em blocos cerâmicos



C: após 5 anos de execução, fissura e descolamento da alvenaria de vedação, fissura na laje de piso em 2017

Fonte: Arquivo pessoal, 2013, 2014 e 2017.

Manifestação patológica: Foram constatadas manifestações patológicas de trincas e fissuras, na interface dos pilares internos e fissuras e descolamento da laje apoiada sobre as vigas de madeira (imagem C). Na edificação da residência, foi aplicado poliuretano (PU) em todas as trincas e amaciados com massa corrida, bem como dado acabamento com pintura em tinta acrílica. Até o momento, não há registros de novas manifestações patológicas.

6.4 CASO D

Na edificação da residência D, a vedação ocorreu em alvenaria convencional em blocos de concreto de 14 cm x 19 cm x 39 cm, em algumas paredes as vedações foram executadas com tijolos maciços. Não possui laje de piso, apenas um mezanino com assoalho de madeira (Figura 35). As edificações B e C têm tipologias semelhantes à encontrada na D e materiais de vedações semelhantes, apenas diferem no vigamento intermediário: uma recebeu laje pré-moldada de concreto, e a última, apenas assoalho sobre barrotes de *eucalyptus* tratado aparelhado 5 cm x 15 cm.

Figura 35 - Edificação da residência D.



A: vedações em bloco de concreto em 2012



B: localização da parede pronta em 2013



C: blocos de vedação de concreto, não foram instalados pregos na interface da madeira/alvenaria



D: vista interna do descolamento de alvenaria de blocos de concreto na interface interna das paredes da residência, em Embu das Artes após 5 anos de executada.

Fonte: Arquivo pessoal, 2012, 2013 e 2017.

Manifestação patológica: Nas imagens A, B e C da Figura 35 são observadas algumas etapas da construção da residência em análise, podendo-se verificar que não foi efetuada aplicação de pregos na interface da parede e pilar de madeira, como forma de minimizar possíveis descolamentos da argamassa. Vários pilares internos apresentaram descolamento da argamassa, como ilustrado (Figura 35 /Imagem D). Foram reparados com PU, mas tornaram a surgir.

6.5 CASO E

Na edificação da residência E foi empregada alvenaria convencional em blocos de concreto de 19cm x 14cm x 39cm no pavimento inferior. No pavimento superior, as vedações foram executadas com placas cimentícias externamente, e com placas de drywall, internamente. Não possui laje de piso, todo pavimento superior possui barroteamento de madeira e piso de assoalho de madeira garapeira (apuleia leiocarpa) (Figura 36).

Nas imagens A, B, C e D da Figura 36 é possível observar algumas etapas da construção da residência, podendo-se verificar o método de construção, composto por sistema construtivo principal pilar-viga e subsistemas de vedação em diferentes tipos de materiais, resultando em sistema construtivo híbrido, conforme já mencionado anteriormente. Na interface dos pilares de madeira e vedações em bloco de concreto e com blocos cerâmicos, foram instalados pregos metálicos medindo 17 cm x 21 cm para junção da argamassa (imagens E e F), bem como a colocação de barra de aço 3/8" (0,95 cm) para graute, criando colunas embutidas e também fazendo a interligação da parede e pilar, a cada três fiadas de blocos. Durante a execução da obra apresentada no quadro 3 (CASO E), tipologia dois pavimentos na cidade de Itatiba-SP, foram adotadas medidas preventivas apresentadas na Figura 36 (imagem E e F).

Por fim, houve o registro fotográfico do ano de 2020, período no qual a edificação passou por reparos e manutenção das fissuras e trincas (Figura 37).

Figura 36 - Edificação da residência E (a).



A: estrutura pilar-viga em madeira x steel frame



B: quadros modulares prontos para receberem placas cimentícias externamente e drywall internamente



C: paredes de placas cimentícias externamente



D: placas de fechamento de drywall internamente



E: apresenta bloco cerâmico e pregos metálicos



F: blocos de concreto com barras de aço 3/8", executando grautes de reforço em paredes de grandes vãos

Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Figura 37 – Registro de manutenção na parede de estudo da residência E.



A: Trinca horizontal e descolamento interface pilar de madeira/alvenaria; B: Parede com reboco removido para manutenção e posterior aplicação de PU.

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A dilatação decorrente dos diferentes comportamentos físicos de cada material, ainda que tenham sido tomadas medidas preventivas nas interfaces, com a inserção de pregos metálicos e barras de aço (0,95 cm), inserindo-se grautes para reforço de grandes paredes de vedação, como pode ser observado na figura 38, para serem contidas, não evitaram as manifestações patológicas. As patologias puderam ser constatadas pelo lado exterior, após anos de execução: figuras 39 e 40.

Na edificação de dois pavimentos, nota-se a aplicação de pregos na interface de blocos e viga de madeira, a fim de minimizar possíveis fissuras, como pode ser observado na figura 40.

Figura 38 - Edificação da residência E (b).



Ligações nas interfaces verticais e horizontais da estrutura de madeira e alvenaria (blocos de concreto) com pregos metálicos na residência D.
Fonte: Arquivo pessoal, 2011.

Avaliando-se os materiais bloco cerâmico (de vedação e estruturais) e bloco de concreto, constatou-se que o de concreto apresenta pequenas fissuras e em menor quantidade, enquanto as paredes vedadas com blocos cerâmicos apresentam número maior de fissuras e trincas, inclusive com maior extensão diagonal e horizontal das mesmas. Isso ocorreu em maior escala nos casos de edificações com dois pavimentos, conforme pode ser observado na Figura 39.

Figura 39 - Edificação da residência E (c).



Fissuras horizontal e diagonal na interface da parede-pilar de madeira e na transição entre parede de bloco de concreto do pavimento térreo e parede de bloco cerâmico da parede superior na Residência D, após 5 anos de execução.
Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Figura 40 - Edificação da residência E (d).



Antes e depois da fase de execução, perspectiva geral da Residência D (indicação da localização das manifestações patológicas apresentadas na Figura 33 e 34).

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Manifestação patológica: A dilatação dos materiais decorrentes dos diferentes comportamentos físicos de cada material, ainda que tenham sido tomadas medidas preventivas nas interfaces, com a inserção de pregos metálicos e barras de aço 3/8" (0,95 cm), inserindo-se grautes para reforço de grandes paredes de vedação, como pode ser observado nas Figuras 36 e 38, para serem contidas, não evitaram as manifestações patológicas. As patologias puderam ser constatadas pelo lado exterior, após anos de execução: Figuras 37, 39 e 40.

6.6 CASO F

A edificação residência F foi vedada totalmente com placas cimentícias e *drywall*, mesclando os sistemas construtivos *steel frame* e pila-viga de madeira, resultando em uma construção totalmente "seca". Nas imagens A (Figura 41) são observadas algumas etapas da construção da residência, podendo verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente.

Figura 41 - Edificação residência F (a).





A: estrutura pilar x viga em madeira e instalação dos quadros modulares de steel frame com colocação das placas cimentícias das paredes externas



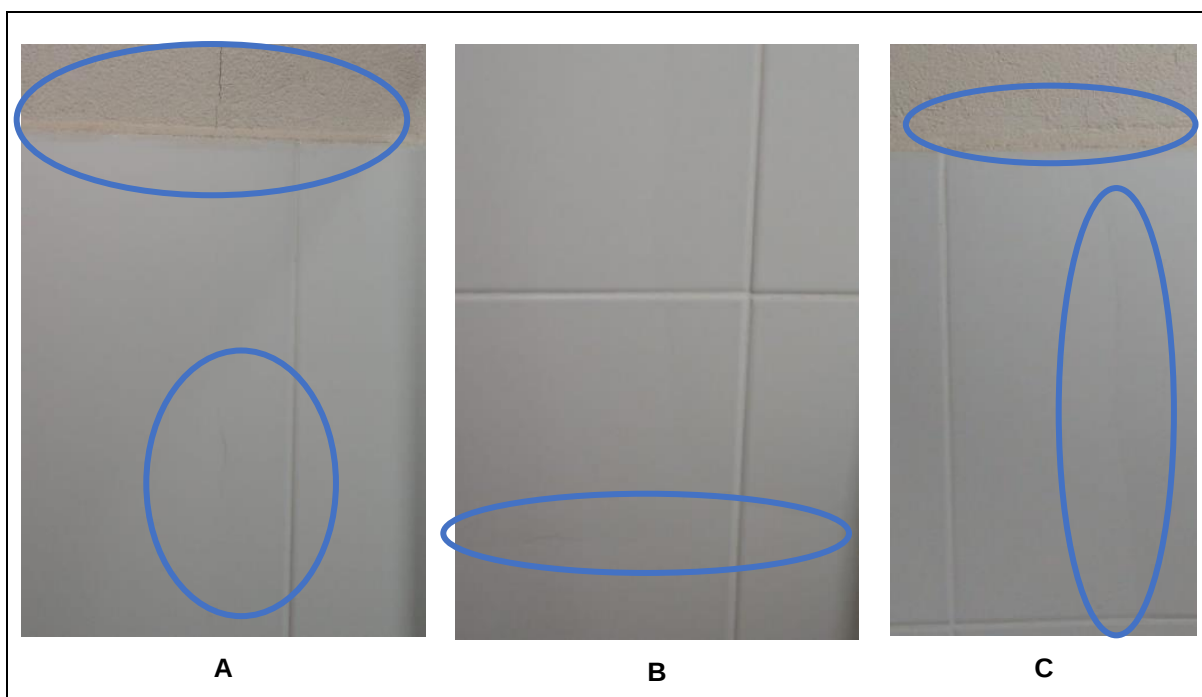
B/C/D: pode-se observar o aparecimento de manifestações patológicas. A manifestação apresentada nessas figuras é o descolamento entre a estrutura de madeira e as placas de fechamento internas (drywall)



E: descolamento da placa de fechamento da estrutura, causando fissuras. Interna e externamente (placa cimentícia), respectivamente

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Figura 42 - Edificação residência F (b).





A; B e C: fissuras nos revestimentos das paredes internos do banheiro. D: vista interna do banheiro e placas de drywall revestidas.
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Manifestação patológica: As manifestações patológicas ou sejam fissuras e trincas, observadas nas Figura 41 e 42, podem ocorrer interna e externamente nas placas de fechamento (internas de *drywall* e externas de cimentícias) e são causadas pelo diferente comportamento mecânico dos materiais, principalmente na interface das mesmas, pois esses materiais expandem ou retrai de acordo com as variações de temperatura e umidade do ambiente. Desta forma, os pontos em que os pilares estão faceando as fachadas apresentam maiores manifestações patológicas, refletindo nas paredes internas, conforme as imagens B, C, D e E (Figura 41), causando danos, inclusive, aos revestimentos cerâmicos aplicados às paredes (Figura 42). O modo de se minimizar e/ou reparar este tipo de manifestação é fazer, primeiramente, a ligação das placas cimentícias de forma adequada (com fitas apropriadas para o material) e depois, aplicação de PU nas interfaces pilar-perfil metálico-placas.

6.7 CASO G

A edificação residência G teve a sua vedação basicamente com blocos de concreto 19 cm x 29 cm x 39 cm. Observa-se, entretanto, na figura 43, duas fiadas de blocos cerâmicos foram assentados por sobre a porta balcão de um dos dormitórios, no sistema convencional de alvenarias. Neste caso, não foram adotados os devidos cuidados de instalação de pregos metálicos na interface pilar-viga de madeira e blocos, bem como as vergas e contravergas foram mal executadas, o que ocasionou

patologias mais severas. Na figura 43, é possível observar algumas etapas da construção da residência, podendo-se verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente. Na sequência, os registros de manifestações patológicas feitos em vistoria técnica, após 4 anos de execução da edificação.

Figura 43 - Edificação residência G.





Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Foi relatado pelos proprietários que, alguns meses antes da vistoria, fora executada uma obra em lote a aproximadamente 500 metros da edificação em questão, na qual foi utilizada fundação com estacas escavadas, pressupondo-se que as vibrações da obra também contribuíram para a incidência das manifestações apresentadas.

Manifestação patológica: fissuras e trincas.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, serão discutidas e avaliadas as diversas manifestações patológicas verificadas nos diferentes tipos de vedação e materiais mencionados, bem como técnicas preventivas adotadas em fase de execução.

7.1 PATOLOGIA NOS MATERIAIS

As vedações secas (tipo placas cimentícias e *drywall*) apresentaram apenas descolamentos e pequenas fissuras próximo aos pilares, enquanto os blocos de concreto e blocos cerâmicos de vedação evidenciaram trincas e fissuras mais significativas, junto aos pilares e em diversas regiões das paredes, horizontalmente e transversalmente dispostas, mas sem causarem danos estruturais às construções. Portanto, este tipo de vedação é também uma opção mais sustentável que aquelas convencionais, embora tenham apresentado patologias, as mesmas podem ser minimizadas com premissas básicas na fase de projeto.

Já em relação ao sistema *steel frame* como subsistema de vedação, o sistema estrutural é mais suscetível à movimentação, trabalhando de forma diferente da estrutura pilar-viga, causando maiores fissuras.

Foram observadas determinadas manifestações patológicas intrínsecas nas peças de madeira, como a retratibilidade e o inchamento. Não foi identificada a presença de micro-organismos, bolor ou qualquer sinal de biodeterioração de qualquer um dos materiais empregados.

7.2 PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE UM PAVIMENTO

Das sete residências analisadas, não apresentaram incidências patológicas as duas térreas suspensas, portanto, ainda que a estrutura seja mais suscetível à movimentação por ser suspensa, supõe-se que a boa “amarração” das paredes de vedação aos pilares e lajes, com fundação profunda e local de nenhuma movimentação de solo e nenhum atrito por veículo, resultaram em uma estabilidade e, conseqüentemente, na ausência de patologias ocorridas. Verificou-se que as edificações térreas apresentam as peças estruturais e com menor número de sintomas patológicos, pois as vigas e parte dos pilares estão protegidos pelo beiral, não sofrendo intempéries devido às alterações climáticas.

7.3 PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE DOIS PAVIMENTOS

Constatou-se, ainda, que edificações de dois pavimentos ou mais apresentaram variações dimensionais das peças de madeira, resultando em mais fissuras. Observou-se que por não existirem beirais na linha de vigas intermediárias, as peças permaneceram expostas à maior incidência solar e chuvas/intempéries que contribuíram para maior retração/dilatação da madeira. Os blocos cerâmicos, por serem menos resistentes que os de concreto, foram os que mais apresentaram trincas.

Outro fator que contribuiu para o aparecimento das manifestações patológicas nesse tipo de edificação se refere à deslocabilidade devido seu sistema estrutural que é composto por elementos, componentes e ligações entre as peças, que apresenta rigidez reduzida.

Uma terceira causa das fissuras que ocorrem nesses edifícios está relacionado com efeito de arqueamento das lajes de concreto e do arqueamento das peças de madeira.

À luz dessas considerações, verificou-se que as fissuras apareceram com maior frequência, em sentidos diversos nas interfaces do pilar alvenaria, do pilar/laje e também laje/parede conforme apresentado no estudo de caso B.

7.4 SOLUÇÕES EMPREGADAS

As medidas adotadas (ligações com pregos, instalação de barras 3/8" (0,95 cm) a cada 3 fiadas de blocos) nas interfaces dos pilares e vigas com as vedações também foram usadas para mitigar os efeitos da vibração e movimentações inerentes a cada tipo de estrutura. Em todas as edificações, foram observados descolamentos na interface pilar-vedação, com qualquer um dos materiais de vedação, ainda que em menor proporção. Quando adotadas tais medidas de ligações apresentadas durante a execução, verificou-se que o descolamento ocorreu interna e externamente na interface dos pilares e em outras regiões das paredes, porém em maior quantidade nas paredes e pilares do perímetro externo e nas regiões de maior insolação.

As fissuras e trincas podem e devem ser corrigidas com adesivo poliuretano (PU) e eliminadas após tempo de acomodação da estrutura (algumas destas edificações continuam em observação e parte destas já apresentaram novas fissuras e/ou o retorno das identificadas no presente momento). Constatou-se que há maior

dilatação nos três primeiros anos depois de finalizadas as obras, no entanto, apenas uma das edificações apresentou maior trabalhabilidade após cinco anos de execução. A causa provável reside em sua localização, em uma avenida de tráfego intenso, portanto, com maior vibração do pavimento e do solo pela passagem de veículos pesados.

A figura 44 (imagens A e B) apresenta detalhes do procedimento adotado nas edificações dos estudos de caso, tais como a ligação com pregos na interface do pilar de madeira/alvenaria. Esta técnica é utilizada para minorar fissuras e trincas. A imagem B da figura 44 detalha o acabamento e/ou correção com adesivo poliuretano (PU) na interface do pilar e alvenaria, após a obra já estar finalizada. Ainda pode ser utilizada como medida de reparo/correção de manifestação patológica posterior apresentada em virtude de não se ter adotado a técnica da imagem A da Figura 44 ou decorrente de outro mecanismo físico, mecânico ou químico que possa ter ocorrido. O acabamento mostrado na imagem B da figura 44 pode ser utilizado ainda em fase de execução para melhorar o acabamento e eliminar possíveis infiltrações, podendo ser pintado na cor da parede para que fique imperceptível. Além de manutenção preventiva, este procedimento pode ser também utilizado pós-descolamentos para reparos posteriores a qualquer momento da vida útil da edificação.

Figura 44 – Detalhes executivos.



A: Detalhes de fixação entre pilar/alvenaria; B: Correção de descolamento com PU.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

São evidenciadas através da Figura 45 as manifestações patológicas e acabamento de reparo em estudos já realizados por Altoé (2009) e Folz e Ino (2012). A imagem A da Figura 44 ilustra detalhes de um tipo de manifestação patológica em construção utilizando madeira de *eucalyptus* no sistema *log home* não abordado no presente trabalho, porém, também apresenta descolamento da parede de alvenaria causada pela diferente trabalhabilidade dos materiais, em que não houve utilização

da medida preventiva abordada na figura 44. A imagem B da Figura 45 exibe a interface madeira/madeira e madeira/alvenaria e o acabamento efetuado. São estes tipos de patologias que foram encontrados em todos os estudos de casos, com exceção dos casos A e C, que não apresentaram manifestações patológicas.

Figura 45 – Registros de patologias e reparos em estudos anteriores.



A: Fresta entre a madeira e a alvenaria; B: Peça com a utilização de mastique.
Fonte: ALTOÉ, 2009.

Já a figura 46 apresenta em detalhe como devem ser instalados os pregos metálicos na interface madeira/alvenaria.

Figura 46 - Instalação de pregos metálicos na interface madeira/alvenaria.



Fonte: SCALIMENDES, 2020.

Constatou-se que a determinação de algumas diretrizes de projeto e a avaliação das condições de aplicação de cada material são os melhores parâmetros de escolha. Confirma-se que, quando adotado algum método (ainda que empírico) para a junção nas interfaces da madeira/materiais diversos, como pregos metálicos,

barras de aço 3/8" (0,95 cm), adesivo poliuretano e/ou poliuretano expandido, o aparecimento de trincas e fissuras foi quase totalmente eliminado. Alguns materiais de vedação também são menos suscetíveis a apresentação de manifestações patológicas, como placas cimentícias e de *drywall*, por serem mais leves/menos densos e acompanharem a movimentação durante a variabilidade dimensional da estrutura de madeira.

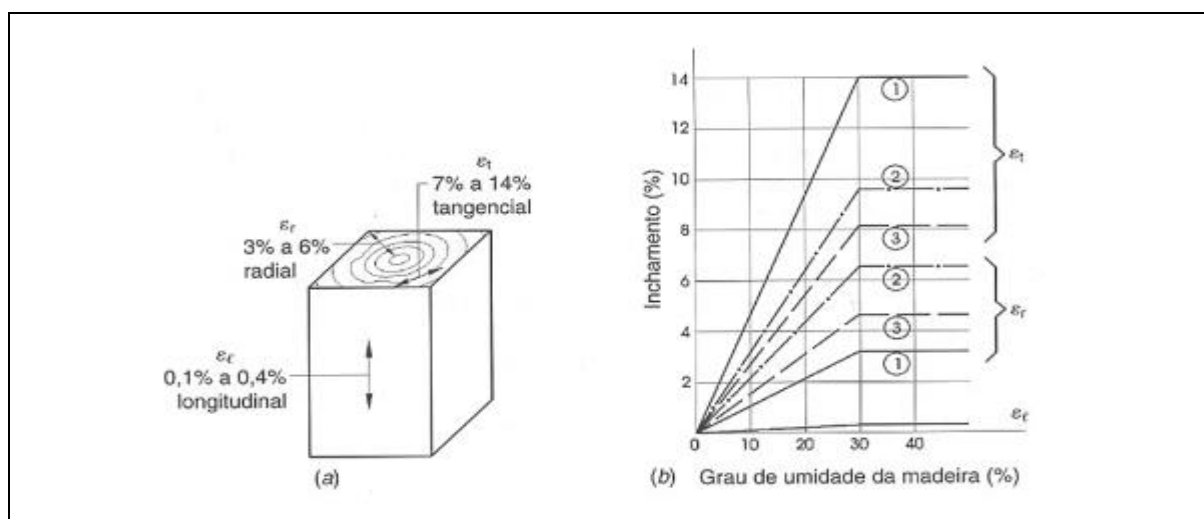
Com o levantamento sobre o sistema construtivo híbrido utilizando madeira, foram obtidos os dados, em seguida analisados sob a ótica da metodologia descrita, na qual a análise dos resultados foi realizada por meio de avaliação visual e levantamentos de dados das construções, observando-se as particularidades de cada uma. Os resultados e patologias avaliados e registrados entre 7 e 12 anos de construção levaram em consideração as ações climáticas que afetam os materiais de vedação e as peças de madeira, principalmente devido à variação dimensional (retração e inchamento) da madeira.

A partir deste estudo, antecipadamente, pode-se inferir que o mercado imobiliário tem aceitado positivamente novos sistemas construtivos e os materiais inovadores, com novas tecnologias de aplicação. Os mesmos podem ser utilizados sem qualquer prejuízo estrutural, apenas com diferenças de comportamentos, em função da variação dimensional de cada material, principalmente da madeira.

Foram observadas determinadas manifestações intrínsecas ao material madeira, pois a retratibilidade é, segundo o IPT (1985), o fenômeno da variação dimensional da madeira, quando há alteração no seu teor de umidade e ainda que empregada com umidade adequada, a mesma sofrerá com a umidade relativa do ar. As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer, quando esta perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). O princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, contração da madeira como um todo. O inverso ocorre no fenômeno de expansão, ou seja, quando a água adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas, causando, desta forma, o afastamento das mesmas e o consequente inchamento da peça de madeira como um todo.

Por ser material anisotrópico, no caso da madeira, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica total é ter o conhecimento das variações lineares das dimensões, nas direções transversal e longitudinal. Quanto a esta última, não é preocupante, uma vez que seus valores são muito pequenos, ou menos de 1% para madeira normal, em todas as espécies. Atenção maior deve ser dada à movimentação transversal nas madeiras, uma vez que estas diferem conforme a direção tangencial ou radial, sendo a primeira maior que a segunda. Kollmann e Coté (1968) afirmaram que essa diferença entre a retratibilidade radial e a tangencial, que era explicada exclusivamente pela influência restritiva dos raios na direção radial, é também adicionalmente explicada, pelo menos para madeira de coníferas, pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais (Figura 47).

Figura 47 – Gráfico de inchamento e retração.



Fonte: LOGSDON, 1998.

Na Figura 47 as madeiras sofrem retração e inchamento com a variação da umidade entre 0 e o ponto de saturação das fibras(30%), sendo a variação dimensional aproximadamente linear. O fenômeno mais importante na direção tangencial; para redução da umidade de 30% a 0, a retração tangencial varia de 5 a 14% da dimensão verde, conforme as espécies. A retração na direção radial é cerca de metade da direção tangencial. Na direção longitudinal, a retração é menos pronunciada, valendo apenas 0,1% a 0,3% da dimensão verde. A retração volumétrica é aproximadamente igual à soma das três retrações lineares ortogonais.

Por ser material higroscópico, a madeira absorve umidade da atmosfera quando está seca e a libera quando está úmida, procurando atingir um equilíbrio com

as condições de vapor de água da atmosfera circunvizinha (DINWOODIE, 1891). Ao absorver água, as dimensões da peça de madeira aumentam, fenômeno conhecido por inchamento, e ao liberar água, as dimensões diminuem, fenômeno chamado retração (BODIG; JAYNE, 1992).

Segundo Veloso e Lopes (2004), os efeitos dos recalques podem ser classificados em 3 grupos:

- a) Danos estruturais: os causados à estrutura tais como pilares, vigas e lajes;
- b) Danos arquitetônicos: são os danos estéticos dos quais tratamos neste trabalho, tais como fissuras, trincas em paredes e acabamentos e/ou rupturas em vidros, revestimentos, entre outros;
- c) Danos funcionais: causados por desaprumo das estruturas, ocasionando empenamento de portas, janelas, desgaste excessivo de elevadores, rupturas de galerias e esgotos, entre outros.

Segundo Correa (2010), as manifestações patológicas não acontecem apenas quando a obra é finalizada, podendo ocorrer até cinco anos após a execução. Por esse motivo, todas as edificações estudadas têm mais de cinco anos de finalização.

As fissuras e trincas podem e devem ser corrigidas com adesivo poliuretano (PU) e eliminadas após tempo de acomodação da estrutura (algumas destas edificações continuam em observação e parte destas já apresentaram novas fissuras e/ou o retorno das identificadas na pesquisa de mestrado. Constatou-se que há maior movimentação do sistema estrutural híbrido nos três primeiros anos depois de finalizadas as edificações. No entanto, apenas uma dessas apresentou maior movimentação após cinco anos de execução, provavelmente em virtude de estar localizada em uma avenida de tráfego intenso, portanto, com maior vibração do pavimento e do solo pelo trânsito de veículos pesados.

Conclui-se, ainda, que nenhuma das manifestações patológicas comprometeu estruturalmente as edificações, causando apenas efeito estético indesejado, com possibilidade de reparo. Não foram consideradas questões climatológicas, pois todas as obras analisadas foram executadas em cidades próximas, no interior de São Paulo, portanto, sob as mesmas variações de temperatura e clima.

8 CONCLUSÕES

Esta pesquisa foi o resultado da união de experiências com projetos e de procedimentos construtivos, adquiridos ao longo de diversos anos, além de um vasto material de registro de informações sobre as construções realizadas. O acompanhamento sistemático com vistorias em edificações, identificando-se as manifestações patológicas em função de determinadas diretrizes construtivas utilizadas durante as suas execuções, foi um aspecto relevante para se manter o padrão de qualidade deste tipo de sistema construtivo.

Com enfoque em materiais tradicionais e novas tecnologias para vedação, visou-se contribuir para o aperfeiçoamento de técnicas construtivas com madeira, bem como a ampliação das discussões a respeito dos materiais analisados.

O mercado vem apresentando grande crescimento na produção de materiais compósitos e para técnicas construtivas diversas, principalmente as que utilizam madeira em sua composição, justamente para atender à demanda dos novos sistemas construtivos. Se por um lado o preconceito com a madeira tem diminuído, por outro lado a preocupação com sustentabilidade vem aumentando, gerando maior procura por este tipo de construção por parte dos consumidores mais conscientes.

A metodologia utilizada neste estudo foi norteada por inspeções visuais em ambientes externos e internos. Foram avaliados três diferentes tipos de vedações: blocos de concreto, blocos cerâmicos e vedações em placas de *drywall* e cimentícias para compor o sistema construtivo híbrido, cujo sistema estrutural principal, pilar-viga roliço, foi efetuado em *eucalyptus corymbia* tratado em autoclave. No estudo, foram analisados sete casos diferentes de edificações, todas construídas no estado de São Paulo, podendo-se aferir as seguintes conclusões:

- A utilização da madeira como material de construção, quer em elementos estruturais ou não, remonta aos primórdios da edificação, tendo igualmente relevante expressão desde o início da sua utilização e, por ser de capacidade renovável, está entre os materiais mais competitivos à disposição do mercado;
- Atualmente, com os avanços tecnológicos, é possível empregar materiais outrora considerados resíduos da indústria madeireira, oferecendo soluções construtivas relativamente econômicas e de fácil aplicação, destacando-se a madeira enquanto material de construção;

- As construções híbridas apresentam vantagens e desvantagens. É possível escolher entre os diversos materiais que melhor se adaptam na interface com madeira, bem como tratar e aplicar correções eficazes. Assim sendo, pode-se afirmar que, com tratamento, manutenção e utilização responsável, é possível incorporar a madeira nas construções modernas, aproveitando-se das várias soluções;
- Os materiais empregados nas vedações foram analisados em relação a aspectos construtivos e disponíveis no mercado. Tais materiais podem ser utilizados sem qualquer prejuízo estrutural, apenas com diferenças de comportamento mecânico entre os mesmos em função da variação dimensional de cada material, principalmente da madeira;
- Há um vasto campo de estudo para análise das construções, que utilizam madeira em sua estrutura, sejam em pilar-viga ou outros sistemas construtivos associados ao steel frame e wood frame, ou aos demais tipos de materiais para vedação, uma vez que falta material de consulta para o profissional desta área e cresce o número de construções com estas características;
- De modo geral, pode-se inferir que o mercado imobiliário tem aceitado positivamente novos sistemas construtivos constituídos por materiais pela combinação inovadora de materiais estruturais ou de vedação, com novas tecnologias de aplicação.

Com base nas manifestações patológicas verificadas nesta pesquisa, sugere-se em futuros estudos que sejam efetuados levantamentos de edificações em maior quantidade, com as mesmas tipologias, com sistemas construtivos híbridos e com outros tipos de materiais de vedações em diferentes regiões do país. Desta forma, será possível realizar a comparação entre os mesmos, observando-se as particularidades de cada região em que estejam localizadas. Poderão, ainda, ser considerados diferentes espécies de *eucalyptus* indicadas para função estrutural, já que o estudo focou em uma espécie.

Buscou-se, por fim, com este estudo apresentar construções híbridas (pilar-viga de madeira) e identificar patologias presentes nesse sistema construtivo, com o objetivo de contribuir para o conhecimento de novas técnicas construtivas para o emprego de peças roliças de madeira e para a ampliação das opções de materiais de vedação, no âmbito do mercado nacional da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMADI, B. H.; SAKA, M. P. Behavior of composite timber-concrete floors. **Journal of Structural Engineering** [Internet], n. 10, v. 119, p. 3111-30, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:11\(3111\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:11(3111))
- AMERICAN WOOD COUNCIL. **Wood Frame Construction Manual** [Internet], 2018. Disponível em: <https://awc.org/codes-standards/publications/wfcm-2018>
- ALMEIDA, D. H. et al. Comparação das resistências ao embutimento paralelo às fibras de madeiras de pinus oocarpa, cumaru e pinus taeda. **Revista Ambiente Construído** [Internet], v. 14, n. 3, p. 113-9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000300009>
- ALMEIDA, P. A. O.; FUSCO, P. B.; CALIL JR, C. **Uniões pregadas de madeira**. São Paulo, 1987.
- ALVIM, R. C. et al. Piso misto de madeira-concreto para uma edificação residual. In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, São Carlos, 2000. **Anais** [...] São Carlos, 2000. p. 12-4.
- ALTOÉ, E. S.; ALVAREZ, C. E. A questão da durabilidade das edificações unifamiliares em tora de eucalipto no Espírito Santo: proposta de melhorias no sistema construtivo a partir de detalhamento na fase de projeto. **Hábitat Sustentable** [Internet], v. 1, n. 1, p. 40-50, 2011. Disponível em: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/407/370>
- ALTOÉ, E. S. **Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/cp128759.pdf>
- ANDRADE, E. N.; VECCHI, O. **Os eucalyptos, sua cultura e exploração**. Typographia Brazil de Rothschild & comp., 1918.
- ANDRADE JR, J. R. et al. Avaliação das condições estruturais de telhados construídos com madeira brasileira nativa. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia** [Internet], v. 13, n. 32, p. 1-10, 2012. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/330>
- ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília-sistematização da incidência de casos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Estruturas e construção civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/8932?mode=full>
- ARANTES, M. R. **Sistema construtivo em madeira leve: wood frame**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Formiga do UNIFOR, Formiga, 2018.
- ARCH DAILY. **Casa Pinho / Canalli Arquitetura**. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/937684/casa-pinho-canalli-arquitetura>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575. Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf

_____. **NBR 15575. Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16.143. Preservação de madeiras – Sistemas de categorias de uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 6120. Cargas para cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 1980. Disponível em: <https://rotaacessivel.com.br/files/200000332-9e3c79f36d/nbr6120.pdf>

_____. **NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações,** Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 7190. Projetos de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-estadual-do-oeste-do-parana/estruturas-de-madeira/outro/nbr-7190-projeto-de-estruturas-de-madeira/5467242/view>

_____. **NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4955169/mod_resource/content/1/10%20NBR%208681.pdf

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis** [Internet], n. 66, p. 191-203, 2004. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/17309/Scientia_Forestalis_n66_p191-203_2004.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BARATA, T. Q. F.; GADINI, J. M. D. Sistema Construtivo em Madeira Certificada para a Ampliação da Sede do IMAFLORA – Piracicaba, SP. *In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA*, 10., 2008, Londrina. **Anais** [...]. Londrina, 2008. p. 1-10. Disponível em: <file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/221-911-1-PB.pdf>

BARDI, L. B. **Stones against Diamonds.** London: Architectural Association Publications, 2012. 132 p.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. Henrique. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: Diretrizes básicas.** São Paulo: EPUSP, 2001, 33 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/54999125-Producao-de-revestimentos-ceramicos-para-paredes-de-vedacao-em-alvenaria-diretrizes-basicas-1.html>

BARROSO, J. M.; FERNANDES, J. G.; BRANCO, J. M. A utilização de ferramentas digitais como suporte à idealização, análise e construção de malhas estruturais de madeira. *In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION*

MODELLING, 24-25., 2016. Guimarães. **Anais [...]**. Portugal: Universidade do Minho, 2016. p. 1-10. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311321234_A_UTILIZACAO_DE_FERRAMENTAS_DIGITAIS_COMO_SUPORE_A_IDEALIZACAO_ANALISE_E_CONSTRUCAO_DE_MALHAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA#fullTextFileContent

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J, SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de Eucalyptus. **Ciência Florestal** [Internet], v20, n. 4, p. 665-74, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050982425>

BENEVENTE, V. A. **Durabilidade em construções de madeira: uma questão de projeto**. 1995. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Michigan: Krieger Pub Co, 1982.

BOUHAYA, L. **Optimisation structurelle des Gridshells**. 2010. Tese (Doctorale Science Ingénierie et Environnement) - Université Paris-est, Paris, 2010. Disponível em: <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00583409/document>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2014DO_LeandroDussarratBrito.pdf

BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14072010-085613/publico/2010ME_LeandroDussarratBrito.pdf

BRITO, L. D.; CALIL JR, C. Divulgação do 'Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento'. *In*: CIMAD 11 - 1.º CONGRESSO IBERO-LATINO AMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 2011. Coimbra. **Anais [...]**. Portugal: Universidade de Coimbra, 2011b.

BRITO, L. D.; CALIL JR, C. Ligações usuais entre elementos estruturais de peças roliças de madeira de reflorestamento. *In*: CIMAD 11 - 1º CONGRESSO IBERO-LATINO AMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2011. Coimbra. **Anais [...]**. Portugal: Universidade de Coimbra, 2011c.

BUILDING FOR A FUTURE. The Savill Gardens Gridshell. **Glen Howells Architects**. 2006. Disponível em: http://www.fourthdoor.org/annular/?page_id=453

BURGESS, I.; MERK, V.; CHANANA, M. High performance wood materials – progress, challenges and visions. *In*: WCTE2016 - World Conference on Timber Engineering, 22-25., 2006. Viena. **Anais** [...]. Áustria, 2016. Disponível em: https://wcte2016.conf.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-wcte2016/Programme/WCTE2016_GeneralInfo_Program_RoomMaps.pdf

BURNARD, M. D.; SCHNEWKOPF, M. J.; KUTNAR, A. Interdisciplinary approaches for developing wood modification processes for sustainable building and beyond. *In*: WCTE2016 - World Conference on Timber Engineering, 22-25., 2006. Viena. **Anais** [...]. Áustria, 2016. Disponível em: https://wcte2016.conf.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-wcte2016/Programme/WCTE2016_GeneralInfo_Program_RoomMaps.pdf

CAFFARELLO, F. M. **Análise estrutural de cobertura em Gridshell de madeira**. 2016. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/320717>

CALIL JR, C.; BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC, 2010. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/portal/images/downloads/Livros/manual%20de%20projeto%20e%20construcao%20de%20estruturas2.pdf>

CALIL JR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [Internet], v. 1, n. 1, p. 71-7, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v1n1p71-77>

CALIL JR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Editora Manole, 2003.

CALIL JR, C.; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini LTDA, 2010. 207 p.

CAMPOS, H. C. Avaliação pós-ocupação de edificações estruturadas em aço, focando edificações em Light Steel Framing. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Anais** [...]. São Paulo, 2010.

CARBALLEIRA LOPEZ, G. A.; MILANO, S. Avaliação da durabilidade natural da Madeira e de produtos usados na sua proteção. *In*: LEPAGE, E. S. **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. p. 473-521.

CARVALHO, D. F. P. A. **Gridshells em madeira: morfologia, aplicabilidade, comportamento estrutural e projeto**. 2015. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/38598/1/Gridshells%20em%20madeira.pdf>

CARVALHO, M. M. P. **A madeira e seus derivados na indústria da construção: reabilitação de elementos de madeira**. 2016. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira, Funchal, 2016. Disponível em: <https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/1539/1/MestradoMartinhoCarvalho.pdf>

CAVALCANTE, M. S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., 1982, 40 p.

CECCOTTI, A.; FRAGIACOMO, M.; GIORDANO, S. Long-term and collapse tests on a timber-concrete composite beam with glued-in connection. **Materials and Structures** [Internet], v.40, n.1, p.15-25, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9094-z>

CECCOTTI, A. Timber-concrete composite structures: timber engineering - STEP1. **Eurofortech lecture series**; 1995.

CIOCCHI, L. Use corretamente o gesso acartonado. **Revista Técnica** [Internet], v. 76, p. 42-45, 2003.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. **Eucalyptus camaldulensis Dehn: River Red Gum**. Armidale: CSIRO, 2004. Disponível em: <https://www.anbg.gov.au/cpbr/WfHC/Eucalyptus-camaldulensis/>

CORRÊA, Ederson Souza. **Patologias decorrentes de alvenaria estrutural**. Pará, 2010.

COSTA, D. A.; REDIGHIERI, K. I. Compósitos de polietileno reciclado e partículas de madeira de reflorestamento tratadas com polietileno modificado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia** [Internet], v. 18, n. 1, p. 5-11, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000100006>

D'ANGELO, P. **La tecnologia delle Gridshell. Sperimentazione di un sistema di copertura "automontante"**. 2011. Tese (Doutorado in Tecnologia dell'Architettura) - Facoltà di Architettura di Università degli studi di Napoli Federico II, Nápoles, 2011. Disponível em: http://www.fedoa.unina.it/7977/1/D%27Angelo_Pia_23.pdf

DARDENGO, C. F. R. **Identificação de patologias e proposição de diretrizes de manutenção preventiva em edifícios residenciais multifamiliares da cidade de Viçosa-MG**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3717/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DELLA NOCE, L. G. **Parâmetros para projeto e controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira**. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharias) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

DÉON, G. **Manual de preservação das madeiras em clima tropical**. França: Centre Technique Forestier Tropical: Department du CIRAD, 1989. 116 p.

DESIGN TO PRODUCTION. **Centre Pompidou Metz**. 2008. Disponível em: <http://www.designtoproduction.ch/content/view/75/54/>

DUCATTI, M. A. **Classes de risco**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, 1997. 15 p.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11035-1. Projeto de estruturas de madeira**. Milão: ENIU, 2010a, 18 p.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11035-2. Projeto de estruturas de madeira**, Milão: ENIU, 2010b, 18 p.

FASP+EPP. **Fast + Epp to Retrofit the World's Largest Self-supporting Timber Grid Shell**. 2014. Disponível em: <http://www.fastepp.com/index.php/en/news/news/302-fast-epp-offices-now-oqm-certified-14>

FERNANDES, J. M. P. et al. Portuguese vernacular architecture: the contribution of vernacular materials and design approaches for sustainable construction. **Architectural Science Review** [Internet], v. 58, n. 4, p. 324-36, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2014.974019>

FERNANDES, L. H. A. **Análise das incidências de manifestações patológicas oriundas do recalque de fundações: estudo de caso na UFERSA-Angicos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4988/1/LarissaHAF_ART.pdf

FERRÃO, A. M. A. Arquitetura rural e o espaço não-urbano. **Labor e Engenho** [Internet], v. 1, n. 1, p. 89-112, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/lobore.v1i1.233>

FERRARI, A. M. W. **A utilização de madeira nativa para exploração comercial sustentável no setor de construção civil: a possibilidade da Araucaria angustifolia**. 2011. Dissertação (Mestrado em tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/194>

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-12042013-215053/publico/FabianeFerro.pdf>

FERREIRA, N. S. S. **Sistemas estruturais em formato de abóbada reticulada**. 2012. Tese (Doutorado em engenharias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14707>

FLYNN, B.; SHIELD, E. **Eucalyptus progress in higher value utilization: a global review**. Tacoma: Robert Flynn & Associates, 1999.

FOLZ, R. R.; INO, A. Estrutura de eucalipto roliço e o subsistema de vedação de residência unifamiliar. **Floresta e Ambiente** [Internet], v. 19, n. 2, p. 210-218, 2012. Disponível em: <https://www.floram.org/article/10.4322/floram.2012.025/pdf/floram-19-2-210.pdf>

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. MADISON, WI: U.S, 2010. 508 p. Disponível em: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf

FPINNOVATIONS. **Annual Reportand Review of Activities: 2012-2013**. 2013. Disponível em: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/2012-2013-impact-english.pdf>

FRANCO, V. N. C.; NIEDERMEYER, F. M. Manifestações Patológicas Geradas por Recalque de Fundações. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento** [Internet], v. 1, p. 194-214, 2017.

FUTURENG [Internet]. **Placas cimentícias**. 2019. Disponível em: <http://www.futureng.pt/placas-cimenticias>

GABRIEL, M. A. M.; WEIGERT, I. Inventário da arquitetura Ítalo-Gaúcha em madeira como processo de educação patrimonial em Pato Branco–PR. *In: Anais Simpósio Científico 2017 - ICOMOS BRASIL. Anais [...]*. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/eventosicomos/60098-INVENTARIO-DA-ARQUITETURA-ITALO-GAUCHA-EM-MADEIRA-COMO-PROCESSO-DE-EDUCACAO-PATRIMONIAL-EM-PATO--BRANCO---PR>

GAIÃO, C.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. Inspection and diagnosis of gypsum plasterboard walls. **Journal of Performance of Constructed Facilities** [Internet], v. 25, n. 3, p. 172-80, 2010. Disponível em: [10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000149](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000149)

GARRISON, P. **Fundamentos de Estruturas**. 3 ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas; 2009.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas da EAESP/FGV** [Internet], v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901995000200008>

GOMES, C. **Novas tecnologias ampliam as possibilidades de uso da madeira**. In: REMADE. 2017. Disponível em: <http://www.remade.com.br/noticias/14324/novas-tecnologias-ampliam-as-possibilidades-de-uso-da-madeira>

GREEN, M. C. **The Case for Tall Wood Buildings**. How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures. Canada, 2012. Disponível em: <https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2012/05/tall-wood-buildings-final-report.pdf>

GROFF, C. **Revestimentos em fachadas: análise das manifestações patológicas nos empreendimentos de construtora em Porto Alegre**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34395/000789672.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HELENE, P. R. L. **Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção**. São Paulo: Red Rehabilitar Editores, 2003.

HELENE, P. R. L.; MONTEIRO, P.J. M. Reparos localizados podem ser considerados soluções eficientes para correção de problemas de corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado. *In: II CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y IV CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD. Anais [...]*. 1993.

HUGUES, T.; STEIGER, L.; WEBER, J. Construcción con Madera: Detalles, productos, ejemplos. **Editorial Gustavo Gili**, 2007. 110 p.

HUNT, G. M.; GARRAT, G. A. **Preservación de la Madera**. Madrid: Salvat, 1961. 486 p.

IIDA, P. Y. **Uma contribuição ao estudo do light steel frame na arquitetura residencial: estudo de caso**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em:

<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/7507/TCC%20PAULA%20IIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>

FOLZ, Rosana Rita; INO, Akemi. Estrutura de eucalipto roliço e o subsistema de vedação de residência unifamiliar. *Floresta e Ambiente*, 2012, 19.2: 210-218.

INO, A. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma construção em madeira. *In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES*, 1997. São Leopoldo, 1997. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul, 1997. p. 1-8.

INO, A. **Sistema estrutural modular em eucalipto roliço para habitação**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000734699>

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA. **Construções híbridas, o melhor de dois mundos**. 2012. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=1515>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo: IPT, 1985. 189 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **General principles on the design of structures for durability**. Lausanne, Switzerland: ISSO, 2008. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13823:ed-1:v1:en>

JESUS, M. A. et al. Durabilidade natural de 46 espécies de madeiras amazonicas em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis** [Internet], n. 54,

p. 81-92, 1998. Disponível em:

http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/17461/Scientia_Forestalis_n54_p81-92_1998.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. 3. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p. Disponível em:

<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica%20da%20Madeira%202013.pdf>

KOLB, J. **Systems in timber engineering**. Basel: Birkhauser Verlag AG, 2008.

KON, N. **Fotografia especializada em arquitetura e cidades** [Internet]. 2020.

Disponível em: <https://www.nelsonkon.com.br/en/park-hotel-sao-clemente/>

KRAMBECK, T. I. **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30369387.pdf>

KROPF, F. W. Durabilidade e detalhes de projeto - O resultado de 15 anos de contínua implementação. **Madeira: arquitetura e Engenharia** [Internet], v. 1, n. 1, 2000. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/461>

KUIKEN, J.; MENTEGAZZI, E. **Behind Gridshells: morphogenetic and parametric design strategies**. Amsterdam: Bna Research Fund., 2014. 112 p.

KUNZ, M.; PRAUCHNER, M. B. Uso do sistema estrutural Gridshell na criação de formas complexas em estruturas de madeira. **Revista de Arquitetura Imed**

[Internet], v. 1, n. 4, p. 19- 25, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2318-1109/argimed.v4n1p19-25>

KUNZ, M.; SILVA, C. C. A.; SILVA, J. L. Estruturas em madeira: uso do sistema Gridshell para cobertura de picadeiro para centro de terapias alternativas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS IMED, 27-28., 2016. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2016. Disponível em:

https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_95.pdf

LESAR, B. et al. Performance of façade elements made of five different thermally modified wood species on model house in Ljubljana. In: WCTE2016 - World Conference on Timber Engineering, 22-25., 2006. Viena. **Anais [...]**. Áustria, 2016.

Disponível em: https://wcte2016.conf.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-wcte2016/Programme/WCTE2016_GeneralInfo_Program_RoomMaps.pdf

LIMA, C. R. **Contribuições da cogeração de energia na qualidade da madeira como material de construção civil**. 1993. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

Disponível em:

http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998DO_NormanBarrosLogsdon.pdf

MACÊDO, A. N. **Fadiga em emendas dentadas em madeira laminada colada**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de estruturas) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-18052018-202939/publico/Tese_Macedo_AlcebiadesN.pdf

MAGALHÃES, L. N., CHAHUD, E. Análise experimental de vigas “T” compostas por madeira/concreto. In ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **[Anais]**. Florianópolis, 1998. v.2, p. 265-276.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. **Procedia - Social And Behavioral Sciences** [Internet], v. 68, n.1, p.87-98, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209>

MARINHO, A. A. et al. Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para a minimização dos impactos ambientais. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas** [Internet], v. 1, n. 1, p. 73-84, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/1337>

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2008. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/MadeiraSustentabConstrucao.pdf>

MASO, J. B. **Análise comparativa entre o sistema construtivo light steel framing e alvenaria estrutural**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/3700/Monografia%20Julio%20Berton%20Maso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MASCIA, N. T.; FORTI, N. C. S.; SORIANO, J.; NICOLAS, E. A. Análise de vigas mistas em concreto e em madeira. **Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural** [Internet], v. 4, n. 2, P. 57-74, 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/328-Texto%20do%20artigo-1300-2-10-20090219.pdf>

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados** [Internet], v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10475>

MEIRELLES, C. R. M. et al. Tecnologia das construções em madeira: adequação dos sistemas de fechamento e vedação. **Relatório Técnico Científico** [...]. São Paulo: MACKPESQUISA, 2011. Disponível em: http://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/14478/2041_2009_0_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MEIRELLES, C. R. M. et al. O potencial sustentável dos sistemas leves na produção da habitação social. *In*: 1º. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, Universidade Presbiteriana Mackenzie. **Anais [...]**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18256/2318-1109/argimed.v1n2p164-173>

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Brasília: IBDF, 1988. 58 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/laboratorio-de-produtos-florestais/publicacoes-lpf/2655-a-degradacao-da-madeira/file>

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MONTANA QUÍMICA. **A Indústria de Madeira Preservada no Brasil**. Treinamento Montana para Usinas de Preservação de Madeira. Programa de Treinamento Montana – Lição 1. São Paulo: Montana Química S. A., 2014a. 10 p.

MONTANA QUÍMICA. **O Crescimento da Árvore e do Material Lenhoso**. Treinamento Montana para Usinas de Preservação de Madeira. Programa de Treinamento Montana – Lição 2. São Paulo: Montana Química S. A., 2014b. 12 p.

MONTANA QUÍMICA. **Relações Madeira-Água**. Treinamento Montana para Usinas de Preservação de Madeira. Programa de Treinamento Montana – Lição 3. São Paulo: Montana Química S. A., 2014c. 9 p.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>

NAZARIO, D. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/151/1/Daniel%20Nazario.pdf>

NICOLAS, E. A. **Estudo de ligações em estruturas mistas de concreto-madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257997>

OLENDER, M. C. H. L. **A técnica do Pau-a-pique: subsídios para a sua preservação**. 2006.

OLIVEIRA, A. M. **Fissuras trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A3GCW/1/monografia_esp_2012_1_th.pdf

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore** [Internet], v. 27, n. 3, p. 381-5, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300015>

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de Eucalyptus. **Revista Árvore** [Internet], v. 34, n. 5, p. 929-36, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500018>

OLIVEIRA, M. A. M. **Ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-30032016-152053/publico/Dissert_Oliveira_MarcosAM.pdf

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **FAO diz que produção de madeira dobrou em um ano chegando a 6%**. 2017. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/12/1604921-fao-diz-que-producao-de-madeira-dobrou-em-um-ano-chegando-6>

PAES, J. B. et al. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Revista Árvore** [Internet], v. 33, n. 3, p. 511-20, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300013>

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. 6ª ed. Editora Blucher, 2005.

PARTEL, P. M. P. **Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: desenvolvimento do produto**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-05102006-182833/publico/PartelPriscila.pdf>

_____. **Sistemas estruturais e construtivos utilizando madeira roliça de reflorestamento**. 1999. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

PEREIRA, A. F. **Madeiras Brasileiras: Guia de combinação e substituição**. Editora Blucher, 2018.

POLYANIN, A. D.; MANZHIROV, A. D. **Timber: Its Nature and Behaviour**. New York: CRC Press, 2000.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista técnico-científica**, [Internet], v. 1., n. 1, 1-14, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/14-44-2-PB.pdf>

PROJETO. **Sidonio Porto: Centro administrativo da Petrobrás, Macaé, RJ** [Internet]. 2009. Disponível em: <https://revistaprojeto.com.br/acervo/sidonio-porto-centro-administrativo-petrobras-01-09-2009/>

RAMMER, D. R. Fastenings. United States Department of Agriculture; Forest Service; Forest Products Laboratory (Org). **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: USDA; FS; FPL, 2010, p. 8.1-8.28. Disponível em: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplqtr/fpl_qtr190.pdf

REVISTA DA MADEIRA. **Tecnologia amplia possibilidades de usos**. 2007.

Disponível em:

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1187&subject=Preservantes&title=Tecnologia%20amplia%20possibilidades%20de%20usos%3Cb%3E%3C/b%3E

REGUS. Escritórios flexíveis em/no/na Madrid, Torre de Cristal [Internet]. 2019.

Disponível em: <https://www.regus.pt/office-space/spain/madrid/madrid-torre-de-cristal>

RICHART, F. E., WILLIAMS JR, C. B. Tests of composite timber-concrete beams.

Journal of the American Concrete Institute [Internet], n. 14, v. 4, p. 253-76, 1943.

ROWELL, R. M. Acetylated wood: a stable and durable structural building material. *In*: WCTE2016 - World Conference on Timber Engineering, 22-25., 2006. Viena.

Anais [...]. Áustria, 2016. Disponível em:

https://wcte2016.conf.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-wcte2016/Programme/WCTE2016_GeneralInfo_Program_RoomMaps.pdf

SANTOS, G. V. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações**. 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6389/1/21113271.pdf>

SCALIMENDES. **Arquitetura Sustentável** [Internet]. Disponível em:

<https://www.scali.com.br>

SCHWARTZ, J., et al. **Brasil 1920-1950: de la antropofagia a Brasilia**. Valência:

IVAM Centre Julio Gonzalez, 2000.

SEGUNDINHO, P. G. A. **Análise teórico-experimental de um tubuleiro misto madeira-concreto composto por vigas circulares**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2005. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91482/alcantarasegundinho_pg_ilha.pdf;jsessionid=6AF5D4A76160A5741C91CD9C8BF38CE7?sequence=1

SHIGERU BAN ARCHITECTS. **Haesley Nine Bridges Golf Club House**. Korea:

SBU, 2010. Disponível em: <http://www.shigerubanarchitects.com>

SKARR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer-Verlag, 1988.

SIAU, J. F. **Wood: influence of moisture on physical properties**. Virginia:

Polytech. Inst. Dep. of Wood Science and Forest Product, 1995.

SHIGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-03092018-094051/publico/DissCorrigidaErichKazuoShigue.pdf>

SILVA, C.; BRANCO, J. M.; LOURENÇO, P. B. A project contribution to the development of sustainable multistory timber buildings. *In*: CONGRESSO

CONSTRUÇÃO 2012 – 4º CONGRESSO NACIONAL, Coimbra, 2012. **Anais** [...].

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/310160381_A_project_contribution_to_the_development_of_sustainable_multistorey_timber_buildings

SILVA, C. S. C. et al. Análises das manifestações patológicas em sistemas híbridos: madeira x steel frame. *In*: CBPAT-2020 - Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, Fortaleza, 2020. **Anais [...]**.

SILVA, L. K **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em:

http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2011/Luiza_Kilvia_Levantamento%20de%20Manifestacoes%20Patologicas%20em%20Estruturas%20de%20Concreto%20Armado%20no%20Estado%20do%20Ceara.pdf

SILVA, M. R. **Manutenção como fator determinante no desempenho das edificações habitacionais-NBR 15575: 2013**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em:

https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/7809/1/Manuten%c3%a7%c3%a3ocomofator_Silva_2018.pdf

SILVA, R. D.; INO, A. Produção de habitação de madeira de floresta plantada: potencial paranaense. *In*: V ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 28-30., 2009. **Anais [...]**. Recife, 2009. Disponível em:

<file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20habitac%C3%A7%C3%A3o%20de%20madeira%20de%20floresta%20plantada%20potencial%20paranaense.pdf>

SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS. VITAL, B. R (Org.). **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf

SORIANO, J. **Estruturas mistas em concreto e em madeira: Análise de vigas e painéis e aplicações na construção civil**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257646/1/Soriano_Julio_D.pdf

SORIANO, J.; MASCIA, N. T. Estruturas mistas em madeira-concreto: uma técnica racional para pontes de estradas vicinais. **Ciência Rural** [Internet], v. 39, n. 4, p. 1248-57, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000032>

SOUTO, L. G.; BUENO, L. S.; SILVA, P. D. Técnicas construtivas utilizando madeira e sua evolução histórica. **Ignis** [Internet], v. 5, n. 2, p. 62-76, 2016. Disponível em: <http://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/viewFile/1118/533>

SOUZA, F. B. Qualidade na Execução de Obras. **Revista Científica Centro Universitário de Araras “Dr. Edmundo Ulson” – UNAR** [Internet], v. 7, n. 2, p. 1-12, 2013. Disponível em:

http://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol7_n2_2013/10_qualidade_execucao.pdf

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 257 p. Disponível em: <https://lucasmonteirostite.files.wordpress.com/2017/08/vicente-custc3b3dio-e-thomaz-ripper-patologia-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto.pdf>

STEVANOVIC, B. Elastically coupled timber-concrete beams. *In*: INTERNACIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE, 1996, New Orleans. **[Anais]**. New Orleans, 1996. v.3. p.425-430.

STOLF, D. O. et al. Influência do teor de umidade na propriedade de tenacidade de espécies florestais. **Floresta e Ambiente** [Internet], v. 21, n. 4, p. 501-8, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312233733_Influencia_do_Teor_de_Umidade_na_Propriedade_de_Tenacidade_de_Especies_Florestais

SUN, J. **Mid-rise Timber Construction in Finland -A Study on Material, Technology and Market Maturity**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) - Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38138749.pdf>

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de madeira**. Florianópolis: UFSC, 2006. 219 p. Disponível em: https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1313798/mod_resource/content/0/Apostilamadeiras2015-1.pdf

TAKESHITA, S. **Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando a redução do potencial higroscópico da madeira**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-08032016-145819/publico/Saly_Takeshita_versao_revisada.pdf

TECVERDE. “Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)” [Internet]. 2018. Disponível em: https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/DATec020C_atualizado.pdf

TERIBELE, A. **Arquitetura com madeira roliça: processo generativo de superfícies e articulações**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35343/000793481.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TESTOLINO, P. L.; NETO, J. S.; MORENO JR, A. L. Sistema construtivo em «steel framing»: o problema da fissura nas juntas entre placas cimentícias de fechamento. *In*: XIX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UNICAMP, Campinas, 2011. **Anais** [...]. 2011. Disponível: <https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xixcongresso/paineis/094300.pdf>

TICIANE, E. **Racionalização de projetos e redução dos custos ambientais na construção civil: o caso da Universidade das Américas - Uniamérica.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-graduação em Engenharia da Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103110/225023.pdf?sequence=1>

THINK WOOD. Disponível em: <https://www.thinkwood.com/>

TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

<https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/tede/473/1/2006%20-%20Henrique%20Trevisan.pdf>

UENO, D. Y. et al. Análise do potencial da cinza da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland para de placas cimentícias. *In: XI EPCC - ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA*, 29-30., 2019. **Anais [...]**. 2019. Disponível em:

<http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3569/1/DENIS%20YUDI%20UENO.pdf>

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. **Promoting sustainable building materials and the implications on the use of wood in buildings - A review of leading public policies in Europe and North America** [Internet]. 2016. Disponível em:

[file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/UNdocumentOnTimberConstruction2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/UNdocumentOnTimberConstruction2016%20(1).pdf)

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares. **Cognitio** [Internet], v. 1, n. 1, 2014. Disponível em:

https://www.academia.edu/32192982/COMPARATIVO_DE_SISTEMAS_CONSTRUTIVOS_CONVENCIONAL_E_WOOD_FRAME_EM_RESID%C3%84NCIAS_UNIFAMILIARES

VELLOSO, D. A.; LOPES, D. R. **Fundações**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VIDAL, J. M. et al. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal** [Internet], v. 25, n. 1, p.257-71, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-509820152505257>

VIHEMÄKI, H.; TOPPINEN, A.; TOIVONEN, R. Intermediaries to accelerate the diffusion of wooden multi-storey construction in Finland. *Environmental Innovation and Societal Transitions* [Internet], v. 36, p. 433–48, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.04.002>

VIVIAN, M. A. **Resistência biológica da madeira tratada de Eucalyptus grandis e Eucalyptus cloeziana em ensaios de laboratório e campo.** 2011. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8687/VIVIAN%2c%20MAGNOS%20ALAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WATAI, T. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. *In*: ANAIS DO VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Campos do Jordão, 1990. **Anais** [...]. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1990_Sexto_Congresso_Florestal_Brasileiro.pdf

YIN, R. **Case study research: design and methods**. London: Sage; 1986.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2005.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-26052006-150001/publico/2003ME_AndreLZangiacomo.pdf

ZATT, G. **Fechamento de paredes de vedação: sistema light steel frame utilizando placas cimentícias**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28576/000769123.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZENID, G. J. (coord.) **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009. 102 p. Disponível em:

[file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/6-Madeiras%20uso sustentavel na construcao civil.pdf](file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/6-Madeiras%20uso%20sustentavel%20na%20construcao%20civil.pdf)