

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ENGENHARIA CIVIL

RICARDO DA COSTA VALENTINO

**Madeira Engenheirada na Construção Civil em Edifícios Residenciais para
Uso Arquitetônico – Estudo de caso em Fachada**

SÃO PAULO
2022

RICARDO DA COSTA VALENTINO

**Madeira Engenheirada na Construção Civil em Edifícios Residenciais para
Uso Arquitetônico – Estudo de caso em Fachada**

Monografia apresentada à Escola de
Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Área de Concentração: Madeira
Engenheirada

Orientador: Carlos Eduardo Grazina

São Paulo

2022

Nome: VALENTINO, Ricardo da Costa

Título: Madeira Engenheirada na Construção Civil em Edifícios Residenciais para Uso Arquitetônico – Estudo de caso em Fachada

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo para obtenção do título de especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Eng. Carlos Grazina

Instituição: Escola de Engenharia de São Paulo

Julgamento:

Prof. Ms. Silvia Scalzo

Instituição: Escola de Engenharia de São Paulo

Julgamento:

Prof. Dr. Luiz Sergio Franco

Instituição: Escola de Engenharia de São Paulo

Julgamento:

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha avó, Simone Anton da Costa, que me acompanhou em toda minha trajetória até a sua partida. Simone nunca mediu esforços para me proporcionar alegria, amor e felicidade quando estava presente em vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a minha mãe, Professora Dulcineia da Costa, que foi, e continua sendo a grande incentivadora dos meus estudos e apoiadora da realização desta especialização. Agradeço também ao meu pai, Marco Aurélio Valentino, em poder me proporcionar condições de seguir buscando meus objetivos, ao meu irmão Caio Cesar da Costa Valentino e a minha namorada Natalia Di Stasi em sempre estarem ao meu lado me apoiando.

Também sou muito grato ao meu orientador, Professor Eng. Carlos Grazina, pelo seu precioso tempo cedido para as orientações e conversas durante a elaboração desta monografia, e a Construcompany, empresa onde atuo, em confiar no trabalho.

Por fim agradeço aos demais professores do curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios por todos os ensinamentos transmitidos durante as aulas.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Valentino, Ricardo

Madeira Engenheirada na Construção Civil em Edifícios Residenciais para Uso Arquitetônico – Estudo de caso em Fachada / R. Valentino -- São Paulo,2022.

76 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Madeira Engenheirada 2. Edifícios Residenciais 3. Uso de Madeira em Fachada I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t

RESUMO

Considerada uma das principais indústrias do país, o setor da construção civil é responsável pelo elevado consumo de matéria prima não renovável para seu desenvolvimento, contribuindo para o aumento dos impactos ambientais. O uso de técnicas ultrapassadas também agrava as expectativas de redução na geração de resíduos de construção.

A constante evolução do setor nos últimos anos tem mostrados novas opções de matéria prima de origem renovável em substituição aos insumos convencionais, como é o caso do uso da madeira no lugar de aço e concreto. A madeira sendo de reflorestamento, reduz o impacto ambiental em muitos aspectos, sem perda de qualidade e desempenho na obra quando devidamente tratada/modificada, assim ganhando o termo de madeira engenheirada na construção civil.

Contudo, para seu uso em obras se faz necessário um entendimento das normas e questões ambientais que estão relacionados com o uso da madeira, e, como os projetos atuais estão empregando a madeira engenheirada, sendo importante as construtoras desenvolverem processos e recomendações executivas para os diferentes usos, como: estrutural, vedação, elementos de fachada e decorativo.

Esta monografia através de estudo de caso e revisões bibliográficas discorreu sobre o uso da madeira engenheirada na construção civil especificamente em edifícios residenciais e seu uso em aspecto arquitetônico com o estudo de caso em Fachada. A madeira engenheirada na construção civil tem característica sustentável e manuseio satisfatório em sua utilização, principalmente em obras de alto padrão. E apresenta nas suas conclusões após discussão e análise do estudo de caso um procedimento executivo na aplicação de madeira engenheirada como elemento arquitetônico na fachada.

Palavras-chave: Madeira Engenheirada. Engenharia Civil. Edifícios Residenciais.

ABSTRACT

Considered one of the main industries in the country, the civil construction sector is responsible for high consumption of non-renewable raw materials for its development, contributing to the increase in environmental impacts. The use of outdated techniques also increases expectations of reduction in the generation of construction waste.

The constant evolution of the sector in recent years has shown new options for raw materials of renewable origin to replace conventional inputs, such as the use of wood instead of steel and concrete. The wood being from reforestation, reduces the environmental impact in many aspects, without loss of quality and performance in the work when properly treated/modified, thus earning the term of engineered wood in civil construction.

However, for its use in works, it is necessary to understand the norms and environmental issues that are related to the use of wood, and, as current projects are using engineered wood, it is important for construction companies to develop processes and executive recommendations for the different uses such as: structural, sealing, facade and decorative elements.

This monograph, through a case study and bibliographic reviews, discussed the use of engineered wood in civil construction specifically in residential buildings and its use in an architectural aspect with the case study in front. Engineered wood in civil construction has sustainable characteristics and satisfactory handling in its use, especially in high standard works. Presents in its conclusions, after discussion and analysis of the case study, an executive procedure in the application of engineered wood as an architectural element on the facade.

Keywords: Engineered wood. Civil construction. Residential buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Uso da madeira para fins construtivos	18
Figura 2- Hangar da Varig no aeroporto de Congonhas	22
Figura 3- Sistema Hauff	223
Figura 4- MLC	23
Figura 5- Madeira prejudicada pelo acúmulo de água	25
Figura 6- Espaçamento entre parafusos	26
Figura 7- Secagem de madeira ao ar livre	26
Figura 8- Estufa de secagem de madeira	26
Figura 9- Ventilador para secagem de madeira	27
Figura 10- Estufa de secagem de madeira	27
Figura 11- Estufa de secagem de madeira	27
Figura 12- Esquema geral de posicionamento de lamelas para o MLCC	31
Figura 13- Representação estrutural.....	32
Figura 14- Madeira Laminada Pregada – MLP.....	33
Figura 15- Madeira microlaminada – LVL	34
Figura 16- Pannel de Madeira Cavilhada	34
Figura 17- International House Sydney – IHS	36
Figura 18- Edifício Mjøstårnet, Noruega.....	36
Figura 19- Produção de florestas por espécies	40
Figura 20- Moradas Infantis, Fundação Bradesco.....	44
Figura 21- Hotel Arpoador	44
Figura 22- Hotel Mercure	45
Figura 23- Edifício Nube.....	47
Figura 24- Edifício Nube.....	47
Figura 25- Detalhe projeto Nube	48
Figura 26- Protótipo ensaio estanqueidade Insert Brise x Beiral ACM.....	49
Figura 27- Mapeamento de cotas estrutural x acabado	49
Figura 28- Protótipo Fachada x Brise.....	50
Figura 29- Esquema do carregamento no ensaio de resistência à flexão	52
Figura 30- Detalhe de ruptura no corpo de prova.....	52
Figura 31- Vista aérea com detalhe da aba cinza	53
Figura 32- Arames esticados marcando a posição do Insert	54
Figura 33- Insert Instalados na Aba superior e inferior.....	54
Figura 34- Montagem da Estrutura e conferência do nivelamento	55
Figura 35- Instalação do fechamento de ACM	55
Figura 36- Conferência de vedação pela equipe de engenharia	56
Figura 37- Forro de madeira em placas moduladas para otimizar instalação ..	57
Figura 38- Instalação de estrutura para confecção do forro de madeira	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de madeira na construção civil	28
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPM - Associação Brasileira de Preservadores de Madeira

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CCA - Arseniato de Cobre Cromatado

CLT - Madeira lamelada colada cruzada ou *Cross Laminated Timber*

DLT - Madeira lamelada cavilhada ou *Dowel Laminated Timber*

EWP - Engineered Wood Product

IHS - *International House Sydney*

LSL - Madeira lamelada serrada ou *Laminated Strand Lumber*

LVL - Madeira microlamelada ou *Laminated Veneer Lumber*

MLC - Glue Laminated Timber ou Glulam

NLT - Madeira lamelada pregada ou *Nail-Laminated Timber*

OSB - Painel de tiras de madeira orientadas ou *Oriented Strand Board*

OSL - Madeira serrada orientada ou *Oriented Strand Lumber*

PEMS - Produtos Engenheirados de Madeira

PSL - Madeira lamelada colada sob alta pressão e temperatura chamada de *Parallel Strand Lumber*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Objetivo.....	15
1.4 Metodologia do trabalho.....	16
1.5 Estruturação do trabalho	16
2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.1 Histórico do uso da madeira.....	18
2.2 Tecnologias construtivas e a industrialização da madeira	22
2.3 Características e Propriedades da madeira	24
2.4 Tipos de madeiras usadas nas obras	28
2.5 Madeira Engenheirada.....	30
2.6 O uso da madeira engenheirada.....	35
2.7 Questão ambiental e certificação	38
2.8 Desempenho e Normas	41
2.9 Usos em arquitetura	42
3 ESTUDO DE CASO	46
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
4.1 Trabalhos Futuros	61
APÊNDICES	62
1 Entrevista com arquiteto	62
2 Entrevista com fornecedor de madeira engenheirada.....	64
3 Proposta de procedimento	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A construção civil é um dos setores que mais gera renda e emprego no país. De acordo com a CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados), de janeiro a agosto de 2019 foram mais de 593 mil empregos com carteira assinada, um valor que reflete o quanto essa indústria é ativa no país. Uma indústria que, para dar seguimento em suas obras consomem elevadas quantidades de matéria prima.

Com o desenvolvimento de técnicas e materiais, a construção civil brasileira encontra-se em uma fase de constante evolução, em busca de construções de qualidade com novos materiais. Fato é que a construção civil é a indústria responsável pelos maiores impactos ambientais, que vão desde a extração de matéria prima para criação de produtos, até o descarte de resíduos provenientes de obras. Assim, existe a necessidade da busca pelo desenvolvimento sustentável, no qual o reaproveitamento de materiais é uma prioridade (ROTH; GARCIAS, 2009). Surge o termo Ecodesenvolvimento, mencionado por Maurice Strong, secretário geral da conferência das Nações Unidas, sendo ratificado por Ignacy Sachs que o define como “o desenvolvimento socialmente desejável, economicamente viável e economicamente prudente” para o desenvolvimento de aplicação de novas técnicas e matérias primas na construção civil (EVANGELISTA, 2010).

A madeira de reflorestamento tem sido usada como matéria prima na construção como elementos principais, ou seja, de estrutura, bem como elementos secundários (vedações e fachadas). No Brasil essa tendência há alguns anos era tímida quando comparada com demais insumos, uma vez que a construção civil brasileira carecia de técnicas difundidas dentro do cenário nacional que empregam a madeira, falta de cultura dos brasileiros em aderir a um produto em madeira, fazendo assim o uso do concreto e aço como matéria prima principal quando pensam em construção.

O uso da madeira nos últimos anos em obras de construção civil apresentou um crescente exponencial, por meio disso, pode-se citar o pouco uso de energia para a sua construção, sua alta resistência, sua grande propriedade de isolamento térmico e elétrico e não precisar de mão de obra especializada. A produção de edificações e atuações da construção civil consomem 66% de toda madeira extraída (BELTRAME, 2013).

A madeira na construção civil, visa simplificar a construção, diminuindo o desperdício de materiais, tempo e dinheiro, verificando-se a importância de se implementar esse material a uma mão de obra especializada. Utilizar esse material pode ser de grande valor, reduzindo o impacto ambiental em muitos aspectos, sem perda de qualidade e desempenho na obra.

Tornando-se assim um material (madeira) muito comum na indústria da construção civil, principalmente no mercado de alto padrão, sendo utilizada em várias etapas e para várias finalidades. Desde fôrmas e escoramento, até a estrutura e o acabamento, a madeira é um material versátil, duradouro e que pode ter baixo impacto ambiental. Quando corretamente tratada, a madeira se torna um acabamento nobre, dinâmico, podendo compor fachadas não somente como revestimento, mas também como caixilhos, brises e elementos vazados. Agregando assim, valor final a construção do ponto de vista econômico e ambiental, fazendo com que o emprego da madeira crie um diferencial para o produto e até mesmo criação de identidade para o projetista/arquiteto responsável pelo projeto em que está sendo empregado a madeira.

1.2 Justificativa do trabalho

A madeira consiste como um dos materiais de construção mais antigos da história humana com especulações de seu uso há séculos. Seu uso em escala global foi sofrendo aprimoramentos e concepção do desenvolvimento das ferramentas a partir da utilização de outros materiais como o cobre, o bronze e o ferro junto a madeira.

A utilização da madeira por diversas culturas por gerações registrando seus métodos construtivos contribuiu para a inserção do material na construção de grandes edifícios comerciais/residencial, habitações de pequeno porte e como elementos arquitetônicos e estruturais.

A madeira engenheirada ganhou espaço nos métodos construtivos usados atualmente, em específico no mercado de alto luxo, por ser um material com as mesmas aplicações que o aço e o concreto, apresentando propriedades que permitem a fácil manipulação do material, ganha-se uma maior liberdade criativa em desenhos e formas para os projetos de arquitetura, possibilitando construção mais leves, tornando assim o seu uso muito mais ágil e seguro quando comparado a outros meios. Por fim a questão ambiental, sendo um material

sustentável, tratando-se de uma matéria-prima renovável e de produção sustentada nas florestas (nativas ou plantadas). Além disso, a madeira captura gás carbônico, ao invés de emití-lo, como no caso de outros materiais da construção civil.

Nos últimos anos, notou-se um crescente uso da madeira nos produtos oferecidos pelas incorporadoras/construtoras que atuam no mercado imobiliário brasileiro, tal vertente vem como opção substituir a matéria prima por matéria renovável, sendo utilizada como estrutura, vedações, forro, elementos de fachada entre outros. O uso da madeira em projetos acaba gerando valor agregado ao produto fazendo com que o projeto crie uma identidade exclusiva. De tal forma, um dos avanços que vem garantindo o desempenho construtivo é a madeira engenheirada, que tem ocupado mais espaço nos escritórios de arquitetura e design de alto padrão. Dentre os exemplos do uso em fachada para fins arquitetônicos, como é o caso do empreendimento Nube (São Paulo – SP). Contudo, para seu uso na cadeia da construção civil, se faz necessário um entendimento do conceito de madeira engenheirada, normas e questões ambientais que estão relacionados com o uso da madeira na construção civil, e, como os projetos atuais estão empregando a madeira engenheirada, uma vez que, há uma complexidade do sistema e devido à falta de projetos específicos desenvolvidos pelos arquitetos/projetistas. Atentando-se as normas de desempenho e análises de interfaces com demais disciplinas, bem como a construtora desenvolver processos e recomendações internas para o uso do material, a fim de minimizar os riscos com o emprego da madeira engenheirada em fachadas, garantindo assim uma maior aceitação dos clientes finais em obras de grande escala.

1.3 Objetivo

Desenvolver um procedimento executivo para uso de madeira engenheirada como elemento arquitetônico em fachadas, a partir de um estudo de caso prático e suas interfaces.

1.4 Metodologia

Primeiramente foi feito uma revisão bibliográfica, que baseou o contexto e a conceituação da madeira engenheirada, histórico de uso, seus tipos e aplicações na construção civil. Em seguida realizou apresentação do estudo de caso feito na obra Nube, onde foi usado a madeira engenheirada em elemento de fachada, abordando todo o método executivo, bem como as premissas de projetos e validações de projetos, recebimento e estoque de material, e por fim entrega final ao cliente. Seguindo com a entrevista com arquitetos renomados do mercado para entendimento do ponto de vista arquitetônico como os projetos estão inserindo a madeira, quais premissas necessárias já estão sendo pensadas assim como análise e desenvolvimento de interferências do sistema como um todo ao ser usada a madeira

Com o levantamento bibliográfico, estudo de caso e as entrevistas, foi possível sugerir modelo de procedimento executivo do uso madeira engenheirada em fachadas, a fim de garantir toda a qualidade e desempenho esperado do produto, desde a escolha adequada do material, recebimento do material e conferência, estocagem em obra, prototipagem do material, acompanhamento da execução e conferência do produto, para garantir uma padronização do uso.

1.5 Estruturação do trabalho

O trabalho é composto por 4 capítulos, incluindo este primeiro, onde a introdução é pautada pela contextualização do tema, justificativa da importância do estudo e pelos principais objetivos, além do método utilizado para desenvolvê-la e o que se espera como resultado.

O capítulo 2 apresenta o histórico do uso da madeira na construção, introduz o conceito e a caracterização como um todo da madeira, bem como o seu uso na engenharia e arquitetura, os desempenha e as normas vigentes.

O capítulo 3 apresenta o estudo de caso do empreendimento Nube e o acompanhamento realizado junto à equipe de obra.

O capítulo 4 apresenta a conclusão da importância de um processo construtivo dentro da obra quando se usa a madeira para a execução de uma forma eficiente, conseguindo assim uma maior disseminação da madeira no cenário da construção civil. Assim como uma proposta de trabalho futuro como consideração final do autor.

Apêndices refere-se as entrevistas com especialistas do assunto bem como um procedimento para construtoras.

Por fim as referências bibliográficas usadas pelo autor dessa monografia.

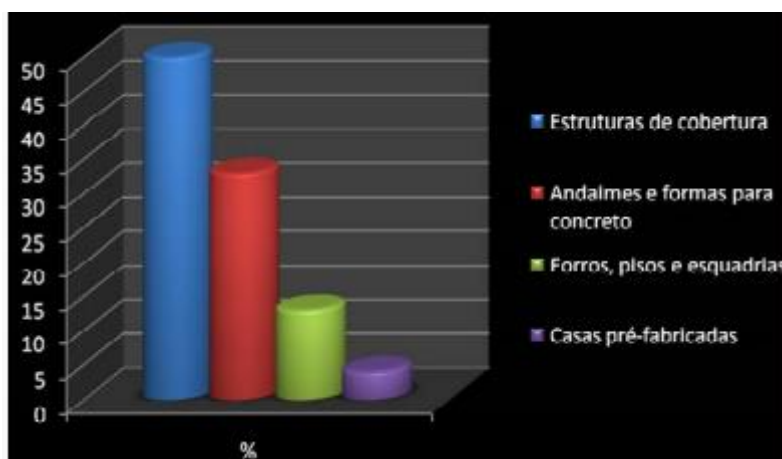
2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 Histórico do uso de madeiras

O Brasil é um país florestal com cerca de 463 milhões de hectares, que representam 54,4% (ITTO 2014) total do território nacional coberto por floresta e 1,5% (ITTO 2014) composta pelas florestas plantadas artificialmente, com intuito de silvicultura. As florestas plantadas artificialmente são responsáveis por 91% (ITTO 2014) de toda madeira produzida para a indústria no Brasil. A produtividade do setor está em torno de 40 a 41m³/ha ano deixando as florestas plantadas brasileiras entre as mais produtivas do mundo, segundo dados apresentados na International Tropical Timber – ITTO em 2014.

Embora a produtividade seja grande, o Brasil faz pouco uso da madeira como material construtivo, e mesmo que a construção civil seja um grande consumidor, o uso é principalmente para estruturas de telhados e estruturas provisórias de apoio aos canteiros de obras, como andaimes e fôrmas de escoramento para concretagem (figura 1). Outro uso comum é para móveis, esquadrias, produtos de acabamentos decorativo. Fazendo-se pouco uso da madeira para sistemas estruturais e de vedações.

Figura 1- Uso da madeira para fins construtivos



Fonte: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/madeira-de-reflorestamento/>

A madeira abundante, resistente e renovável foi desde sempre o principal material utilizado nas construções de diversas comunidades, devido à grande

variedade de ecossistemas e climas no território, desenvolveu-se inúmeras tipologias construtivas no Brasil.

A partir da metade do século XIX, com a Revolução Industrial ao redor do mundo houve significativas mudanças socioeconômicas no cenário nacional, como a implantação das linhas ferroviárias e importação de equipamentos pesados, como as máquinas a vapor e serrarias. Proporcionando assim a fabricação de componentes construtivos, aumento de produtividade e qualidade (REIS FILHO, 2006).

Neste contexto, a construção civil foi marcada pela demanda do crescente populacional e das cidades, o surgimento de novas empresas da área da construção civil se viu importante, assim como os maquinários, indústrias para o desenvolvimento de grandes obras em portos, ferrovias, saneamento e edificações (CESAR, 1991).

Na virada do século, no estado de São Paulo a maioria das construções eram feitas de tijolos com cobertura de telhas de cerâmica do tipo Marselha, construções essas disponíveis somente para as classes superiores (SANTOS, 2008).

No final do século XIX instalou-se as primeiras serrarias nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde havia maior concentração de árvores de grande porte, tais como o Pinho-do-Paraná ou Araucária e a Peroba-Rosa (SILVA, 2010).

Com o surgimento das primeiras serrarias, devido à importação de equipamentos da Europa, principalmente a madeira serrada tinha bons acabamentos e precisão, o que permitiu a produção de esquadrias de maior qualidade, assoalhos encerados e uniformes (REIS FILHO, 2006).

O século XX conta com o processo de urbanização das cidades brasileiras e o crescimento populacional, além da introdução de novas tecnologias construtivas, tais como os tijolos de seis e oito furos usados para vedar os edifícios, assim como lajes mistas de concreto, louças sanitárias e telhas fibrocimentadas. Em 1941 houve a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional, base da indústria nacional do aço (CÉSAR, 1991).

No final de década de 1940 na região do Paraná, ocorre o auge da construção em madeira, aumento da fronteira agrícola com a produção de café. Grandes empresas com destaque em *Southern Brazil Lumber and Colonization Company* (LUMBER Co.), maior serraria da América do Sul e a Industrial Madeireira Colonizadora Rio Paraná (MARIPÁ), produção destinada à construção de Brasília, fator que impulsionou a economia da região (GUTIERREZ, 2008).

Com o desmatamento florestal desenfreado, em 1934 é aprovado o primeiro código florestal, que estabelece limites para a utilização dos recursos florestais e prevê sua reposição (SILVA, 2010). Nesse contexto, o plantio de eucalipto (espécie exótica), foi introduzido no Brasil pelo fato do esgotamento das reservas florestais no estado de São Paulo, com o objetivo de alimentar ferrovias nas formas de dormentes ferroviários quanto de carvão para o abastecimento de locomotivas.

Ao longo dos anos, as florestas nativas de Santa Catarina e Paraná foram exploradas intensivamente, onde nos anos 1960 foi decretada a insustentável utilização e escassez desses recursos havendo o aumento dos preços da madeira, falta de matéria-prima e mão-de-obra. A partir dos anos 1970 ocorre a decadência da indústria da construção em madeira, apresentando formatos simplificados em volume, ausência de elementos decorativos e outros materiais substituindo a madeira (SILVA, 2010).

No decorrer da década de 1970, o governo da ditadura lançou a palavra de ordem “integrar para não entregar” e se intensificou, a partir dos grandes projetos mineradores e madeireiros, além da agropecuária extensiva, a ocupação amazônica, em franca oposição aos povos originários, comunidades ribeirinhas, indígenas e camponeses.

Ao incluir a produção madeireira, agropecuária e da mineração como setores de incentivo, e ao reconhecer o valor das terras como recursos próprios dos que viessem a pleitear a ajuda financeira, o Estado estabeleceu íntima relação entre incentivos fiscais e grande propriedade da terra: “A concentração crescente de terras que se observou na exploração agropecuária, madeireira e mineral passou a conflitar com a procura dos pequenos produtores, principalmente imigrantes” (Marques, Marques, 2010).

Então a madeira de Pinus utilizada na construção de edificações habitacionais, destinadas à população de baixa renda, logo após, as casas pré-fabricadas, que deu origem às serrarias que comercializavam conjuntos construtivos e formavam edificações residenciais, conhecidos como moradia provisória (BENEVENTE, 1995).

As construções decorrentes de casas pré-fabricadas com madeira de Pinus possuíam qualidade ruim, baixo isolamento térmico e acústico, baixa durabilidade e precárias, ficando assim conhecido como madeira de má qualidade (OLIVEIRA, 2003).

Segundo Zenid (ZENID, 2009) os principais compostos da madeira existentes no mercado brasileiro são:

- Madeira roliça
- Madeira serrada
- Pranchas e pranchões
- Vigas e vigotas
- Tábuas, caibros
- Madeira Beneficiada
- Assoalho
- Forro
- Batente
- Rodapé
- Taco
- Madeira em lâminas
- Painéis
- Compensado
- Chapa de fibra
- MDF
- Aglomerado
- OSB
- Madeira engenheirada
- Madeira tratada

2.2 Tecnologias construtivas e a industrialização da madeira

O Sistema Hauff, desenvolvido por Hauff, é uma das tecnologias que contribuiu no uso da madeira para estruturas treliçadas. Sistema que permitiu a construção de vãos maiores do que eram feitos até então. (CESAR, 1991).

O auge do sistema Hauff ocorreu durante a década de 1930, quando as estruturas ficaram conhecidas nacional e internacionalmente. Pode-se destacar, por exemplo, o hangar da antiga empresa Varig no aeroporto de Congonhas em São Paulo (figura 2 e 3), com uma cobertura de vão em 70 metros, e os arcos para cimbres de ponte rodoviária de 78 metros na Estrada Santos-Cubatão (CESAR, 1991).

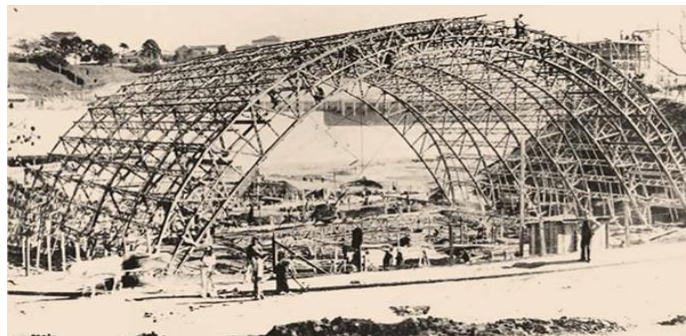
Figura 2- Hangar da Varig no aeroporto de Congonhas



Fonte: <https://carpinteria.com.br/2020/08/02/a-historia-das-estruturas-de-madeira-no-brasil/>

Segundo Cesar (1991) entre os principais legados deixado por Hauff estão suas obras que serviram de inspiração para outros profissionais, formação em escolas para funcionários e mão de obra, além de mestres, carpinteiros, desenhistas e projetistas. Contando também com a elaboração da Norma NB 11/1951 para estrutura em madeira e substituída em 1997 para a NBR 7190.

Figura 3- Sistema Hauff



Fonte: <https://carpinteria.com.br/2020/08/02/a-historia-das-estruturas-de-madeira-no-brasil>

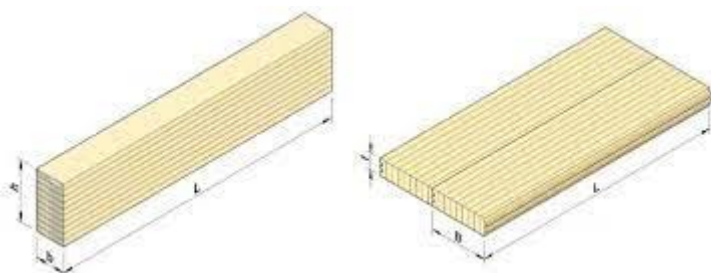
A tecnologia MLC (figura 4), já podendo ser considerada como madeira engenheirada foi responsável pela construção de grandes estruturas de madeira na região sul do país, com vigas retas e vigas curvas, compostas por lâminas de pequena espessura unidas através de um adesivo à base de caseína e construção de grandes vãos (BONO, 1996).

No Brasil a primeira indústria a trazer a tecnologia e fabricar vigas de MLC foi a Esmara Estruturas de Madeira Ltda em 1934, fundada em Curitiba por dois irmãos imigrantes alemães.

A Esmara chegou a fabricar vigas de casas pré-fabricadas e utilizavam madeiras provenientes de florestas plantadas com espécies do gênero Pinus e Eucalipto.

Para Bono (1996) a tecnologia MLC esteve em alta com a sua demanda entre 1970 e 1980, mas sem continuidade no desenvolvimento, por consequência econômica e falta de divulgação tecnológica entre os profissionais da construção civil.

Figura 4- MLC



Fonte: Plakitka (2021).

O Wood Frame foi introduzido no Brasil no fim da década de 70, onde para Espíndola (2017) é difícil datar quando ocorreu a primeira construção, mas os pioneiros foram da empresa Epotec Paraná Indústria e comércio de casas pré-fabricadas e o desenvolvimento de casas industrializadas, com a ideia para a construção de vilas e alojamentos de caráter provisório para grandes obras de infraestrutura.

O aperfeiçoamento tecnológico para sobrepor diversas barreiras associadas ao material, como: durabilidade, resistência ao fogo, desempenho térmico e acústico e a construção de edifícios de múltiplos pavimentos, é o principal motivo de aumento do uso da madeira (ESPINOZA, 2015). Essas tecnologias apresentam industrialização elevada, sendo esses produtos conhecidos como madeira engenheirada. O alto grau de pré-fabricação proporciona a eficiência, economia de tempo e redução de desperdício nas fabricações da construção.

Segundo Hurmekoski (2015) existem hoje poucas alternativas às tecnologias em madeira engenheirada para sistemas construtivos pré-fabricados, considerando a produtividade, qualidade e impacto ambiental.

Outras tecnologias de industrialização da madeira é o *massive timber* ou *mass timber*, tipo de construção que utiliza produtos em madeira engenheirada de grandes dimensões, feitos somente com madeira ou algumas combinações de materiais, como o concreto.

2.3 Características da madeira

Em relação à Botânica, as árvores para aplicações estruturais são divididas em dois grupos: Angiospermas e Gimnospermas. As angiospermas, a classe das Dicotiledôneas ou Folhosas são classificadas como madeira dura, resistente com uma diferente estrutura anatômica em relação as gimnospermas, que pertencem as Coníferas, conhecidas como madeira mole.

Os métodos de tratamento preservativo da madeira consistem na adoção de técnicas que têm como objetivo a proteção da madeira contra a ação dos agentes físicos, químicos e principalmente biológicos como fungos e insetos xilófagos. O tratamento mais utilizado para madeiras de baixa densidade é o

realizado em autoclave por vácuo-pressão que possibilita a penetração do preservativo na madeira, também temos as aplicações de vernizes disponíveis no mercado que atuam como camada de sacrifício a intemperes.

No Brasil, o tratamento em autoclave, geralmente, é feito com um preservativo hidrossolúvel que possui alta resistência à lixiviação - o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) do tipo C – capaz de garantir a durabilidade da madeira, mesmo em contato com o solo, e principalmente a sua resistência ao ataque de cupins, por mais de 30 anos. Em um cilindro são introduzidos os produtos químicos de preservativos, que variam de acordo com o tipo de árvore utilizada” (ABPM) Associação Brasileira de Preservadores de Madeira.

A madeira, após a secagem natural é introduzida na autoclave. O vácuo retira o ar existente no interior das células e em alta pressão a solução química preservativa é injetada na madeira até a saturação. A pressão é retirada e a solução excedente é transferida de volta ao reservatório. Para finalizar, é feita a retirada do excesso do produto da madeira, de forma a vácuo novamente.

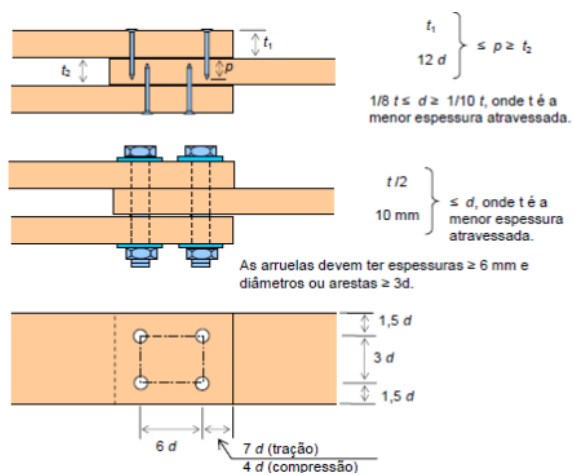
Em relação as rupturas, excluindo-se as situações em que as peças estruturais possuam falhas de projeto ou execução, pode causar rompimentos devido a esforços de tração, compressão e cisalhamento. A causa mais grave do colapso nas estruturas é a deterioração das peças devido a exposição à umidade (figura 5). A madeira pode entrar em contato com a água, o que não pode é acumular umidade. Peças úmidas atraem fungos, insetos xilófagos, que amolecem e corroem as fibras da madeira, causando o comprometimento da resistência da madeira.

Figura 5- Madeira prejudicada pelo acúmulo de água



Fonte: Plakitka (2021).

Figura 6- Espaçamento entre parafusos



Fonte: Plakitka (2021).

Figura 7- Secagem de madeira ao ar livre



Fonte: www.marrari.com.br/madeira/secagem-de-madeira/

Figura 8- Estufa de secagem de madeira



Fonte: www.secamaq.com.br/estufas-para-secagem-de-madeira/

Figura 9- Ventilador para secagem de madeira



Fonte: www.transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/secador-solar-de-madeira

Figura 10- Estufa de secagem de madeira



Fonte: www.secamaq.com.br/estufas-para-secagem-de-madeira/

Figura 11- Estufa de secagem de madeira



Fonte: www.secamaq.com.br/estufas-para-secagem-de-madeira/

2.4 Tipos de madeiras usadas na construção

Bastante utilizada nos projetos de construção civil, seja por parte do arquiteto ou do próprio engenheiro. Mas, de maneira geral, existem alguns tipos de madeira que são mais utilizados para determinados fins. Tais como champanhe, peroba, ipê e Teca, têm seu uso mais utilizado quando há necessidade de maior durabilidade, ou seja, quando mais resistente a ação do tempo.

Nessa linha, o quadro 1 revela os tipos de madeira mais comumente utilizados na construção civil e suas respectivas descrições.

Tabela 1- Tipos de madeira na construção civil

TIPO	DESCRIÇÃO
Aroeira	Madeira pesada e rígida, mais resistente à deterioração
Angelim	Madeira que é mais fácil de realizar cortes e superfície plana
Cedro	Madeira mais comum no mercado devido o menor custo, se recomenda o uso desse tipo para venezianas, guarnições e também a construção de forros em madeira
Ipê Champanhe	Apresenta maior resistência e firmeza, sendo utilizada em empreendimentos de grande porte devido sua resistência a cargas, outro uso é para portas e portais
Curipixá	Madeira considerada excelente para acabamentos, construção de moveis, artigos decorativos, portas e portais.
Itaúba	Apresenta baixa retratilidade em relação à densidade, bem como maior condição de resistência a aplicação de peso e maior durabilidade, sendo utilizada para a construção de assoalhos, pilares, caibros, janelas e marcos de portas.
Jatobá	Madeira que apresenta resistência a fungos e também ao cupim; seu uso mais comum é para estacas, postes, construção de moveis de alto acabamento, assoalhos, vigas, dentre outros.
Jequitibá	Madeira que apresenta maior peso devido sua maior densidade, muito usada em moveis, molduras, compensados, vigas, caibros, ripas, entre outros.
Pau Ferro	Devido sua aparência marmorizada, esse tipo de madeira é comumente utilizado para construir elementos decorativos.
Louro-Canela	Madeira considerada excelente para trabalhos manuais, sendo utilizada para peças decorativas e de acabamento na construção civil
Maçaranduba	Madeira resistente a umidade, fungos e presença de cupins.
Peroba	Madeira usada para interiores, pisos e construção de painéis com boa resistência mecânica e retratilidade
Madeira de Demolição	Essa madeira advém do processo de demolição de outras construções, comumente usadas para fins diversos, entre alguns na sofisticação de designes de interiores.

Fonte: Adaptado de Casagrande, Pieniak e Bombonato (2014).

É necessário uma série de cuidados com a madeira a depender do seu tipo e o emprego da mesma na construção civil. Como evidenciado acima, o quadro 1 revela algumas qualidades inerentes de cada tipo de madeira, onde há uma direção a ser seguida na escolha do tipo de madeira para cada empreendimento. Sendo assim, como em qualquer obra da construção civil, os cuidados e manutenção são cruciais para evitar o surgimento de patologias, para a madeira é necessário atenção para com a presença de água e pontos de condensação, aplicação de impermeabilizantes e espaços para ventilação (CASAGRANDE; PIENIAK; BOMBONATO, 2014).

Para o caso específico de obras realizadas completamente em madeira, inclusive fundações e estruturas de vedações, é necessário um bom preparo do solo com o devido tratamento químico, ao qual garantirá maior durabilidade por conta da proteção a presença de cupins e patologias, é recomendado que a manutenção da construção em madeira seja realizada a cada dois anos, com o uso de verniz naval, impregnantes com filtro solar, fungicida, cupinicida e água repelente.

As classificações da madeira são as mais abrangentes possíveis, e isso se dá ao fato de ela ser constituída em grande parte por água. Dentre as tantas classificações são possíveis ver o material higroscópico, tendo além do mais algumas características afetadas alto teor de umidade presentes (PFEIL; PFEIL, 2003).

Um dos índices mais elevados e que deve ser levado em consideração na avaliação da qualidade de uma madeira é a densidade básica, justamente por ser de fácil determinação e por apresentar relação com outras características também presentes no corpo do material em questão (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1991). As duas classificações acima citadas são deveras semelhantes. A primeira é relacionada ao peso da madeira quando seca e com volume obtido no ponto de saturação das fibras, apresentando assim uma relação ainda mais estreita com as resistências da madeira.

Já a segunda trata acerca da relação existente entre porosidade e permeabilidade, estudando as possíveis trocas de estrutura, sendo ainda mais útil para facilitar a compreensão dos processos de retração e disseminação de fungos, no interno da estrutura. Szücs et al. (2015) diz que entre as características físicas do material em questão, se destacam os seguintes tópicos

para melhor entendimento em sua utilização como material de uso nas construções:

- umidade;
- densidade;
- retratibilidade;
- resistência ao fogo;
- durabilidade natural;
- resistência química.

2.5 Madeira Engenheirada

Consiste em fabricação de peças a partir da união de mais de um elemento de madeira de modo a otimizar sua eficiência estrutural, ora através de uma disposição espacial que entrelace as direções das fibras mais resistentes de modo a garantir a melhor isotropia nas características estruturais, ora através de colagens ou fixações de peças modulares de modo a se conseguir peças de maiores dimensões e com bom desempenho estrutural.

A industrialização de sistemas construtivos é considerada como um passo no sentido da racionalização na construção, proporcionando produção em caráter industrial com montagem no canteiro de obras. Surge assim para o setor madeireiro, com possibilidade da madeira engenheirada ocupar espaço em novos empreendimentos na construção civil (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

Dias (1995) definiu madeira engenheirada como qualquer produto estrutural feito a partir de madeira roliça que tenha sido reduzido em pedaços menores de madeira.

Segundo Góis (2021) a madeira engenheirada é uma solução construtiva que utiliza a madeira como matéria-prima e, por meio de diferentes processos industriais a transforma em um material com excelente desempenho técnico, ou seja, as boas características da madeira são aproveitadas em Produtos Engenheirados de Madeira ou PEMs.

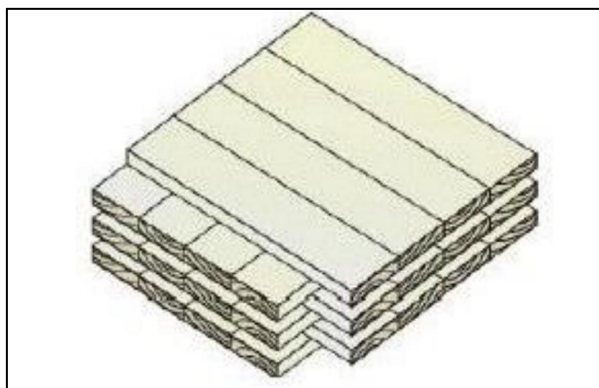
Dada a evolução da indústria e a busca por novas alternativas, foram desenvolvidos produtos de alta resistência mecânica que utilizam a madeira como matéria-prima, dentre as soluções tecnológicas de madeira engenheirada destaca-se:

- Madeira lamelada colada cruzada ou *Cross Laminated Timber* (CLT);
- Madeira microlamelada ou *Laminated Veneer Lumber* (LVL);
- Madeira lamelada colada sob alta pressão e temperatura chamada de *Parallel Strand Lumber* (PSL);
- Madeira lamelada colada (MLC) ou *Glue Lamminated* (Glulam);
- Madeira lamelada serrada ou *Laminated Strand Lumber* (LSL);
- Madeira serrada orientada ou *Oriented Strand Lumber* (OSL);
- Madeira lamelada pregada ou *Nail-Laminated Timber* (NLT);
- Madeira lamelada cavilhada ou *Dowel Laminated Timber* (DLT) e
- Pannel de tiras de madeira orientadas ou *Oriented Strand Board* (OSB).

A combinação do uso de diferentes tipos de madeira engenheirada em grandes dimensões é conhecida como Engineered Wood Product (EWP) (LOPES; CARMO; SERRA, 2021; PAULI; AZAMBUJA; LUTTGARDES NETO, 2021; DIAS, 2019).

O MLCC (CLT, figura 12) madeira laminada colada cruzada, é um produto concebido nos anos 90 na Suíça, composto por lâminas pré-fabricadas de madeira em ângulos retos e ligadas por adesivo perpendicularmente. Devido a esta composição, deu-se o nome *Cross Laminated Timber* em inglês, ou Madeira Laminada Colada Cruzada em português. No Brasil a madeira laminada colada cruzada é regulamentada pela NBR 7190:1997, contudo, a diferença básica entre a MLCC e MLC é a disposição de suas lamelas, onde a disposição da MLCC é demonstrada na figura a seguir.

Figura 12- Esquema geral de posicionamento de lamelas para o MLCC



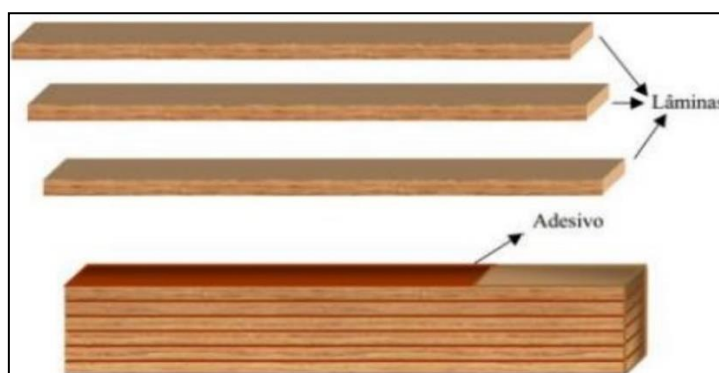
Fonte: Plakitka (2021).

A disposição das lamelas na MLCC não é apenas uma curiosidade estética, essa técnica permite a peça em questão ter uma distribuição de carga de forma bidirecional, dando maior estabilidade e maior capacidade de sustentação a mesma, todavia, o seu processo de fabricação pode ser mais demorado se comparado com a MLC, e, alguns ângulos de interesse podem não ser possíveis por intermédio da técnica.

A madeira lamelada colada conhecida também como *Glue Laminated* (Glulam) ao qual é regulamentada nacionalmente pela NBR 7190:1997 que realiza a previsão desse tipo de material para a construção civil, é produzida com a colagem de lamelas (tábuas) e que são prensadas onde as fibras ficam orientadas paralelamente. Na sobreposição das lamelas de madeira serrada recomenda-se que haja alternância de colagem das lamelas quanto ao sentido dos anéis de crescimento, levando então a uma peça mais estável (DIAS, 2019; LUCENA, 2017).

A ilustração abaixo (figura 13) demonstra sucintamente o processo de estabilização e dimensionamento dos elementos constituintes da MLC, sendo formada pela composição de lâminas paralelas, coladas e prensadas, de forma a ter um resultado homogêneo em uma única peça.

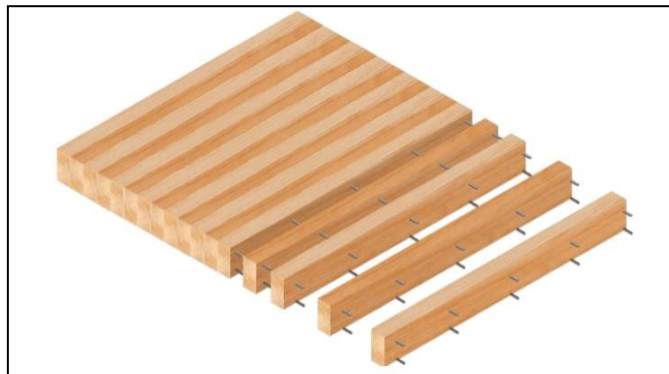
Figura 13- Representação estrutural



Fonte: Cruz (2022).

A madeira laminada pregada, MLP (figura 14), são produzidas a partir de diversas peças de madeira serrada, que são fixadas mecanicamente com pregos, conexões metálicas ou parafusos, onde é normatizada segundo a NBR 7190:1997. A NLT é um excelente substituto da laje de concreto e de deck em estrutura metálica, criando uma estética inovadora.

Figura 14- Madeira Laminada Pregada – MLP



Fonte: Fonte: Plakitka (2021)

Essa metodologia para construir essas peças é comumente usada para a construção de pisos, telhados, escadas, paredes, entre outros (CRUZ, 2022).

A madeira laminada serrada ou MLS, (*Laminated Strand Lumber*) é fabricada com flocos de madeira com espessura entre 0,6 - 1,3 mm e comprimento de até 300 mm. Combinados com o adesivo, os flocos são orientados paralelamente.

A madeira microlaminada ou *Laminated Veneer Lumber* (LVL – figura 15) compõe elementos estruturais a partir de lâminas de madeira de espessura entre 2,5 a 3,2 mm, que são criteriosamente selecionadas e sobrepostas, de modo que as fibras da madeira sejam coladas paralelas ao sentido longitudinal da peça, permite fabricar elementos com comprimentos muito maiores que os da madeira serrada convencional e são largamente utilizadas para a confecção de vigas.

Os painéis e vigas de madeira engenheirada são conectados em edificações por meio de parafusos, pregos, rebites de madeira, chapas de treliças, conectores metálicos, engaste, cavilhas e anilhas.

Figura 15- Madeira microlaminada – LVL



Fonte: theconstructor.org

A Madeira Laminada Cavilhada ou MLC (figura 16), essa por sua vez é semelhante a Madeira Laminada Pregada, contudo, é substituído o uso de pregos por cavilhas e conectores metálicos, as cavilhas rígidas fazem a conexão entre as lâminas com o uso de encaixes por fricção, a imagem abaixo mostra uma ilustração geral para esse tipo de peça.

Figura 16- Painel de Madeira Cavilhada



Fonte: Pereira (2019)

Contudo, uma possível desvantagem para a Madeira Laminada Cavilhada é o seu processo de montagem e construção que pode ser mais demorado do que os demais, contudo, é oportuno considerar que essa tecnologia está mais alinhada à questão ambiental, tendo em vista que os encaixes e cavilhas podem ser reutilizados, bem como dada melhor destinação para os seus componentes, se comparado com o concreto armado (PLAKITKA, 2021).

2.6 O uso da madeira engenheirada

A madeira engenheirada proporciona vantagens em relação ao concreto, entre elas o isolamento térmico e acústico. Shigue (2018) diz que o elevado desempenho térmico das construções em madeira, diminuem as necessidades com sistemas de calefação e resfriamento, o que também leva a diminuição nos custos.

De acordo com Góis (2017), as características de conforto térmico são diretamente influenciadas pela capacidade de condutividade térmica de um material e em consequência pela transmitância térmica, ou seja, a taxa de transferência de calor através da matéria, onde quanto mais baixo o valor, mais confortável será o ambiente feito com o referido material.

Os sistemas construtivos que utilizam madeira engenheirada tem a facilidade da pré-fabricação, onde se evita o desperdício de materiais, outro ponto é a usinagem das peças por meio de equipamentos mecânicos e controlados por software.

Alguns edifícios construídos com madeira certificada, usando das técnicas aqui explicadas e outras intrínsecas da engenharia, sendo considerado uma construção alinhada com paradigmas sustentáveis, e, a estrutura tem qualidades de desmontagem e reutilização com o fim da sua vida útil, na qual o tempo de execução foi menor se comparado com construções feitas com o uso de técnicas tradicionais.

Além disso, vale ressaltar baixos índices de produção de resíduos sólidos e fácil reutilização dos materiais, sendo uma construção enxuta e menor impacto ambiental, bastando somente que os madeira em questão seja retirada seguindo as regras do segmento. Do mesmo modo vem sobre o dimensionamento das peças, estas por sua vez devem atender as demandas indicadas na NBR 7190:1997, com o uso de ensaios específicos para verificar a resistência, resistência paralela, normal e cisalhante (PLAKITKA, 2021).

Um bom exemplo de uso da madeira na construção civil que fez uso destas e outras técnicas de construção foi o *International House Sydney – IHS* (figura 17), onde o piso e térreo foram construídos em concreto armado, todavia, setes andares foram usados majoritariamente madeira engenheirada, com um

total de aproximadamente 3,5 mil metros cúbicos (CARETA, VIAL, 2021). O edifício evidenciado foi construído com madeira certificada,

Figura 17- International House Sydney – IHS



Fonte: Careta e Vial (2021).

Tomando como base a aplicação de madeira engenheirada na construção civil, vale citar o Edifício *Mjøstårnet* (figura 18) concluído em março de 2019, tendo uma estrutura híbrida com utilização de madeira, conta com uma altura de 49m, sendo o terceiro mais alto na Noruega.

Figura 18- Edifício Mjøstårnet, Noruega



Fonte: www.engenheiroarte.info/post/18-andares-em-madeira-a-mais-alta-torre-construída-em-madeira

Existem outros edifícios que foram construídos de forma análoga ao da ilustração acima. Contudo, apesar de ser uma metodologia ainda em desenvolvimento na engenharia, vale ressaltar que as pesquisas do ramo têm evoluído de forma considerável, trazendo cada vez mais soluções para problemas como a resistência, durabilidade, e demais problemas estruturais como a incidência de vento (CARETA; VIAL, 2021).

O Edifício *Mjøstårnet* é apenas uma demonstração do que a madeira engenheirada é capaz de realizar, contudo, suas aplicações no ramo de menor escala, com a construção de casas multifamiliares, quadras poliesportivas, igrejas, entre outros, sendo um material pertinente para que a engenharia possa estabelecer novos paradigmas de sustentabilidade.

Sendo assim, é positivo o uso da madeira engenheirada em diversos paradigmas da construção civil, em primeiro as contribuições ambientais frente as emissões e menor impacto para o meio ambiente em face da produção de resíduos sólidos. Além disso, o uso da madeira se devidamente utilizada, possui boas recomendações nos ensaios mecânicos, sendo possível utilizar o material em diversos segmentos da obra, seja para a construção de pilares, assoalhos, teto, e demais peças.

O Brasil possui grande potencial madeireiro, com grandes áreas de florestas tropicais e áreas de reflorestamento segundo o relatório anual do instituto brasileiro de árvores de 2020. A existência de inúmeras indústrias madeireiras como serrarias e indústrias de laminação somada a abundância de matéria-prima de florestas renováveis, indicam a aptidão do mercado brasileiro para estabelecimento de indústrias de madeira engenheirada.

As principais espécies usadas no país para madeira engenheirada são o Pinus, Eucalyptus, Schizolobium Amazonicum Huber, Ducke e Tectona Grandis que vem sendo submetidas a diversos estudos para conhecimento das melhores combinações entre propriedade físicas e mecânicas da madeira e características de adesivo e prensagem (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

Uma das mais notáveis características da construção utilizando madeira engenheirada como material estrutural primário é a de que a construção em si passa a ser negativa em emissão de carbono. Isso significa que cada edifício ou estrutura construída com madeira engenheirada contribui para a redução de gases do efeito estufa na atmosfera (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

As árvores que serviram de matéria-prima, do plantio ao corte, sequestram mais carbono da atmosfera do que o que será emitido durante o transporte e processamento desta madeira até a entrega da obra. Além de que há economia de insumos que seriam gastos na produção de cimento e aço, como por exemplo, a energia gasta pela mineração dos mesmos e até o combustível de alto forno para a produção industrial. (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

Uma vantagem mais relacionada à construção pré-fabricada do que com à construção em madeira engenheirada, o transporte de componentes estruturais prontos permite melhor distribuição de volume das peças nos caminhões e reduz também a probabilidade de resíduos ou sobras. Uma das preocupações ambientais em relação à utilização massiva de madeira na construção civil seria sobre o desmatamento de matas nativas (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

Em florestas tropicais nativas, principais alvos do desmatamento no Brasil, como a Floresta Amazônica, onde existem 16 mil espécies distintas de árvores no total, um único hectare de floresta pode conter em média 600 árvores e mais de 200 espécies diferentes (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

As florestas de reflorestamento têm como principal objetivo a produção e extração de modo racional e consciente, nelas podem ser encontradas mais de 1.000 árvores por hectare, todas da mesma espécie e recebendo os mesmos cuidados, resultando em propriedades estruturais (dilatação, resistência) e comportamentos muito semelhantes (LOPES; CARMO; SERRA, 2021).

O tratamento contra biodegradação em peças de madeira engenheirada ocorre da mesma maneira que em peças de madeira não estruturais. O método mínimo de tratamento recomendado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) é a impregnação de fungicidas e inseticidas por autoclave, beneficiando assim a durabilidade e proteção do material usado na construção.

2.7 Questão ambiental e certificação

Para Agopyan (2011) o impacto da indústria no meio ambiente não está restrito à extração da matéria-prima. "Envolve tudo, desde a exploração da matéria até sua utilização e desmonte".

O emprego da madeira para a construção civil pensando em sustentabilidade, preocupa e discursa em diversos setores sociais e políticos. Estes estudos comprovam que consumir um recurso natural renovável como a madeira pode apresentar grandes vantagens em relação aos materiais artificiais, que consomem boa parte de recursos não renováveis.

O minério de ferro, a argila e o calcário que são extraídos para a produção de aço e cimento demoraram milhões de anos para se formar. Os referidos processos requerem alto consumo energético e a matéria-prima retirada da natureza jamais será reposta. Em relação à madeira, que se renova mesmo sob rigorosas condições climáticas.

Segundo Ferreira (2009) o aproveitamento das florestas naturais ou plantadas, através de Projeto de Manejo Florestal aprovado pelo IBAMA, é a forma correta de utilizar estes recursos naturais, pela sustentabilidade, prevendo uma utilização que permite a recomposição da floresta de uma determinada área por interesse econômico, social e ambiental.

O reflorestamento prevê uma utilização que permite a recomposição da floresta de uma determinada área explorada e previne no combate às mudanças climáticas, uma vez que minimiza o efeito estufa.

Segue abaixo as vantagens ambientais e parâmetros na tabela 2:

- A madeira é retirada de forma consciente, permitindo a recomposição da floresta;
- Material renovável. A madeira cresce espontaneamente, sem necessidade de processos de produção. Portanto, ela pode ser plantada e extraída sem comprometer as fontes de recursos naturais do planeta;
- Diminuição do aquecimento global. A diminuição das queimadas reduz a emissão de CO₂;
- Baixo consumo energético;
- Armazenamento de carbono;
- Isolamento térmico;
- Capacidade de reciclagem

Para Passarelli (2013) as vantagens da madeira são:

- Isolamento acústico. A madeira é excelente para absorção acústica, possui várias camadas e barreiras para passagem de som. Em madeiras mais densas, essa característica é ainda mais eficaz, devido aos menores espaços para a dispersão do som.
 - Isolamento térmico. Espécies de baixa densidade são ótimas para isolamento térmico, pois os vazios da madeira são preenchidos com ar ou água, gerando barreiras para passagem de calor ou frio.
 - Isolamento elétrico. A madeira é um material que não permite grande transferência de carga de um objeto para o outro, sendo então um isolante de energia.
 - Facilidade de fabricação e manuseio.
 - Resistência ao fogo. A madeira é combustível, mas resiste bem ao fogo. Isto ocorre porque é um material composto de várias camadas, que permitem um envelope de madeira carbonizada e assegura uma proteção do centro, onde é realmente resistente, portanto, não comprometendo a estrutura.
 - Garantia de qualidade e sustentabilidade. Aconselha-se o uso de madeiras certificadas, pois assim é garantido que o consumidor está comprando um produto cuja extração não causou danos ao meio ambiente, a sociedade e as economias locais.
 - Produção sustentada pela abundância de florestas no Brasil.
- (figura 19).

Figura 19- Produção de florestas por espécies



Fonte: www.wribrasil.org.br/noticias/plantar-florestas-nativas-e-um-bom-negocio-conheca-4-modelos

Para Passarelli (2013) as desvantagens da madeira são:

- Comportamento físico-mecânico heterogêneo e anisotrópico. Pode ocorrer uma variação de resistência dependendo da orientação das fibras da madeira. Isto pode ser corrigido através de um projeto adequado à espécie da madeira.
- Variação de dimensões devido a alteração de umidade.
- Suscetível ao ataque de agentes agressivos. O material natural é sujeito a agentes como fungos e cupins, que podem afetar sua durabilidade. Mas isto é facilmente tratável com uso de produtos especializados.
- Material inflamável. Como dito anteriormente, a madeira é um material combustível, porém com resistência a altas temperaturas e carbonização lenta.
- Dimensões limitadas à origem da árvore. A madeira é um produto natural e, limitado ao crescimento natural das árvores. Caso necessário, existem produtos industrializados a base de madeira com dimensões maiores.
- Controle de qualidade dificultado. Devido à grande variedade de espécies, as propriedades também variam bastante. Isto dificulta o controle de qualidade, muitas vezes necessitando de altos coeficientes de segurança.
- Custo, é um material caro.
- Pouco conhecimento. A divulgação acerca do comportamento do material é insuficiente.
- Falta de projetos específicos. Existem poucos profissionais habilitados a realizar projetos específicos para o material.

2.8 Desempenho e Normas

No quesito desempenho o sistema quando usa a madeira engenheirada, principalmente os painéis de CLT e de MLC formam um sistema de construção forte que se equipara a quaisquer outros sistemas que utilizam diferentes materiais como concreto, aço ou alvenaria. Sendo assim prevê estabilidade dimensional e desempenho, com resistência ao cisalhamento mais alta em comparação com outros materiais estruturais comuns. Ressalta-se que todos os projetos de estrutura de madeira devem seguir a NBR 7190.

O seu uso traz materiais mais leves, para o mesmo volume de uma viga de madeira para uma de concreto armado comum, as duas terão a mesma resistência às solicitações de carga, porém, a viga de madeira será aproximadamente cinco vezes mais leve, ocasionando uma diminuição brusca no peso próprio da estrutura, refletindo nos custos da fundação (LOPES; LOTUFO; SAYURI, 2022).

Erroneamente é pensado que o sistema que utiliza madeira não possui bom desempenho resistência ao fogo. Quando bem dimensionada ela possui até mesmo resistência superior a outros materiais estruturais. Por se tratar de um elemento com muita massa, cria-se uma camada de carbono que trabalha como uma barreira ao oxigênio, impedindo assim a continuidade da combustão (LOPES; LOTUFO; SAYURI, 2022).

Um elemento de madeira exposta ao fogo, torna-se combustível para propagação das chamas, porém, após um pequeno intervalo de tempo a camada mais externa, carboniza-se, e começa a agir como isolante térmico, evitando a combustão no interior das peças. Pode ser projetada para resistir a chama intensa por 120 minutos sem o comprometimento estrutural do edifício. Vale ressaltar que toda madeira engenheirada possui tratamentos químicos anti-chamas evidenciados pela norma e boas práticas de mercado.

O desempenho térmico do sistema com uso de madeira engenheirada quando usado o CLT é determinado pelo seu valor λ , ou coeficiente de condutividade térmica, que é função indireta da espessura do painel. São ótimos isolantes, tendo um grande potencial de atendimento. A alta precisão dos cortes traz o benefício de juntas encaixando-se com perfeição, o que evita a criação de pontes térmicas na estrutura. Uma vez que os painéis são sólidos, a infiltração de ar para dentro do edifício tende a zero. A temperatura interior de uma estrutura de CLT pode ser mantida com apenas um terço do gasto de energia necessária para o aquecimento ou arrefecimento da edificação, em comparação com alvenaria tradicional (LOPES; LOTUFO; SAYURI, 2022).

2.9 Usos em arquitetura

Segundo Demarzo et al. (2017), são necessários esforços de conscientização da população quanto às vantagens da utilização da madeira no processo de construção. Sendo necessário um esforço conjunto entre

pesquisadores, empresários, arquitetos e principalmente, administradores públicos para garantir que a madeira seja utilizada com qualidade na construção civil de modo sustentável e saudável do ponto de vista econômico.

A madeira usada na obra para fins arquitetônicos quando tem origem legal agrega valor, versatilidade e qualidade ao projeto, além de todos os benefícios do seu desempenho físico mecânico.

Em razão disso, o diferencial trazido pela madeira faz com que ela componha bastante estruturas de fachadas das edificações em projetos que empenham na questão ambiental e no potencial do material, fazendo com que ela substitua materiais consolidados no mercado como: material cimentício e alumínio.

Além do apelo estético e de exclusividade que está agregado a esse tipo de material. Cada vez mais, a tendência da personalização, do desejo por um móvel, uma estrutura ou fachada única fazem da madeira um material de trabalho valoroso ao arquiteto. Por sua origem natural, nenhuma madeira será totalmente igual à outra. Por isso, é um material que ajuda na criação de projetos únicos para cada cliente.

Segundo Olavo Kucker Arantes, engenheiro civil e presidente do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), o país progrediu timidamente na prática sustentável, analisando o período de 1990 aos dias atuais, apesar do crescimento dos projetos com foco em sustentabilidade no país, o volume ainda é insignificante em comparação ao número de edificações erguidas anualmente. Esses esforços ocorrem nas iniciativas públicas e privadas. Vários órgãos do Governo Federal têm desenvolvido iniciativas públicas interessantes ao longo dos anos, porém de pouco efeito prático nas edificações. Muitas empresas têm levado a sério o processo de classificar os fornecedores que sejam idôneos e comprometidos com a origem dos seus produtos.

No Brasil há tendência dos escritórios de arquitetura para o uso da madeira na composição de seus projetos como forma de reduzir a emissão de carbono e agregar valor ao projeto, bem como criação de uma identidade única.

Na Fazenda Canuanã em Formoso do Araguaia (TO), o projeto Moradas Infantis da Fundação Bradesco dos escritórios brasileiros Aleph Zero e Rosenbaum (figura 20), venceu o Prêmio Internacional RIBA 2018. O projeto utiliza de arquitetura sustentável, utilizando madeira 100% de floresta de reflorestamento e tecnologia com baixo impacto ambiental. A edificação utiliza a madeira reflorestada em diversos elementos da edificação.

Figura 20- Moradas Infantis, Fundação Bradesco



Foto: www.archdaily.com.br/br/879961/moradas-infantis-rosenbaum-r-plus-aleph-zero

O projeto Hotel Arpoador (figura 21), Bernardes Arquitetura, localizado na cidade do Rio de Janeiro, utilizou para composição da sua fachada madeira de reflorestamento para enquadrar as vistas dos hóspedes do hotel.

Figura 21- Hotel Arpoador



Foto: www.archdaily.com.br/br/912509/hotel-arpoador-bernardes-arquitetura

Na Holanda, o escritório de arquitetura *Moederscheim Moonen Architects* desenvolveu no hotel Mercure (figura 22) o uso de madeira na fachada criando uma arquitetura moderna.

Figura 22- Hotel Mercure



Foto: www.archdaily.com.br/br/980269/hotel-mercure-valkenburg-moederscheimmoonen-architects

3. ESTUDO DE CASO

A madeira é um material bastante versátil, que pode ser utilizado tanto na estrutura da construção quanto em elementos arquitetônicos. As fachadas são a primeira imagem que as pessoas têm da arquitetura. Volumes, vidros, caixilharias, alumínio, texturas e materialidade são alguns dos elementos que se percebe ao se aproximar de uma construção.

É a partir da composição dos elementos da fachada que cria a identidade do empreendimento e com a sua localização. A madeira é um material que permite a exploração desses elementos de diversas formas, e por isso é amplamente utilizada nas fachadas contemporâneas brasileiras.

Conforme entrevistas presentes em apêndice, foi consultado Fernando Forte, arquiteto/sócio do escritório FGMF para a composição dessa monografia, o uso da madeira tem aumentado bastante nos projetos, é interessante ver a intensificação o uso da madeira nos projetos devido aceitação dos clientes, e cada vez mais sendo inserido em obras de edifícios. Para Fabio Siqueira, proprietário da empresa CORE responsável pela produção dos brises em madeira engenheirada da obra Nube, o uso da madeira engenheirada traz benefícios não somente pela naturalidade do material, porque as madeiras que hoje são direcionadas para a produção provenientes de florestas plantadas, ou seja, é uma matéria prima renovável que pode ser usada em substituição das demais matérias primas não renováveis (Plásticos, Metais, Concretos, Alumínio). Como foi o caso do edifício Nube, empreendimento desenvolvido pela incorporadora IdeaZarvos junto ao escritório de arquitetura Jacobsen, foi construído pela construtora Construcompany, onde a empresa fornecedora de madeira para elementos arquitetônicos, CORE, junto ao arquiteto responsável do projeto propôs o uso da madeira engenheirada para os brises da obra ao invés do uso de brises de alumínio.

O Edifício Nube (figura 23 e 24), localizado em São Paulo no bairro do Jardim Europa, empreendimento residencial de 15 pavimentos, 3 subsolos contam com 5.129m² de área construída e um terreno de 648m². Cada pavimento foi horizontalmente marcado por beirais prolongados, contribuindo para a privacidade e proteção solar do edifício. Para as demais fachadas, foram

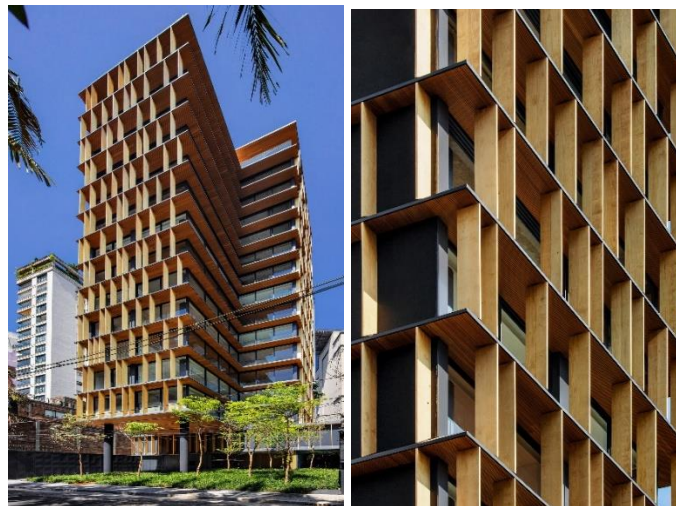
desenhados brises verticais de madeira modificada, uma solução sustentável que apresenta boa resistência às intempéries.

Figura 23- Edifício Nube



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 24- Edifício Nube

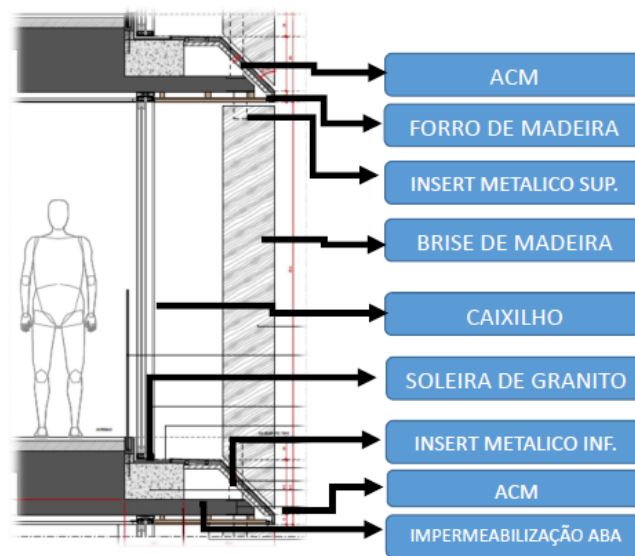


Fonte: Acervo pessoal do autor.

O maior impacto do empreendimento está na fachada, compostas por vedação de bloco de concreto, revestida com argamassa, pintura decorativa e, na grande maioria, a presença de janelas de alumínio. No Nube, além da composição convencional mencionada anteriormente, tivemos a presença de mais componentes técnicos e arquitetônicos (figura 25), são eles:

- Forro de Madeira;
- Brise de Madeira;
- Aba de Alumínio (ACM);
- Insert Metálico superior e inferior; (fixação do Brise de madeira);
- Caixilho de Alumínio;
- Soleira de Granito;
- Impermeabilização.

Figura 25- Detalhe projeto Nube



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Devido à complexidade do projeto com interferências entre sistemas foi de suma importância o desenvolvimento de protótipos ensaiar e antecipação dos possíveis problemas (figura 26). Com isso a engenharia passa a entender as dificuldades de execução e mitigar as incompatibilidades de projeto.

Figura 26- Protótipo ensaio estanqueidade Insert Brise x Beiral ACM



Fonte: Acervo pessoal do autor.

O detalhamento da obra e interfaces com outros sistemas (caixilho, impermeabilização, forro de madeira) fez necessário mapeamento (figura 27) de todos os níveis e distâncias com referência ao eixo. A fim de localizar possíveis interferências e problemas a serem enfrentados no futuro pelos colaboradores.

Figura 27- Mapeamento de cotas estrutural x acabado



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 28- Protótipo Fachada x Brise



Fonte: Acervo pessoal do autor

Para escolha da madeira a ser colocada na fachada como forma de Brise (peças com dimensão 3,00m x 0,40m x 0,04m. Figura 28), o escritório de arquitetura optou pela escolha da madeira engenheirada patenteada pela fabricante Accoya na forma de brises, trata-se de uma madeira engenheirada, passada por uma modificação química por um processo patenteado chamado de acetilação ao final desse processo, temos uma madeira extremamente seca e que deixa de absorver a umidade do ar, ganhando enorme estabilidade dimensional e resistência contra o apodrecimento. Além destas vantagens a madeira também tem certificação florestal.

A madeira sólida originária de florestas de rápido crescimento geridas de forma responsável, com toxicidade zero e que oferece uma estabilidade e durabilidade dimensionais que excedem até mesmo as melhores madeiras duras tropicais.

A durabilidade e estabilidade dimensional significa que esta madeira requer menos manutenção, porque as tintas e óleos ficam sobre a madeira. Os resultados de testes realizados com a madeira Accoya e madeira não modificada provam constantemente que os revestimentos duram até 3 vezes mais na madeira engenheirada, segundo ensaios e estudos da fabricante.

A equipe de engenharia ao receber a solicitação do escritório fez estudos analisando o material assim como sua fixação, realizou ensaios em laboratório e contou com consultoria em estrutura de madeira como objetivo a avaliação estrutural das peças que compõem a estrutura, assim como suas ligações para saber o desempenho do sistema.

A Verificação Estrutural foi feita baseada nos critérios das Normas Brasileiras e considerando as seções e espécies e dos materiais normatizados e as cargas dos revestimentos aplicados sobre essas estruturas.

Normas adotadas:

- NBR 7190:1997 - “Projeto de Estruturas de Madeira”,
- NBR 6120/1980 - “Cargas para o Cálculo de estruturas de Edificações”.
- NBR 6123/1988 - “Forças de Vento nas Edificações”.
- NBR 8681/2003 – “Ações e Segurança nas estruturas – Procedimento”

Para as características da madeira foram consideradas as informações cedidas pela Accoya através do catálogo “Data sheet - Accoya Radiata”, bem como relatório técnico de caracterização mecânica da madeira de amostras desta madeira realizada pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

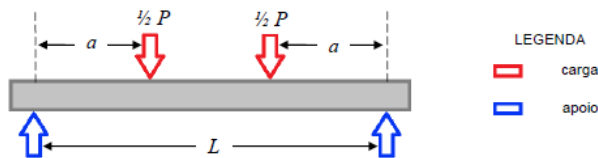
As verificações das seções utilizadas consistem na determinação das cargas atuantes, na combinação das ações, no cálculo dos esforços solicitantes, sendo que para esse elemento foram avaliados os Estados Limites Últimos para flexão, cisalhamento e compressão normal das peças, bem como Estados Limites de Serviço, com a flecha nas terças, sempre comparando os valores atuantes de cálculo com as resistências de cálculo ou limites de flecha.

Os três métodos utilizados com as amostragens enviadas para ensaio foram o de flexão estrutural, determinação da densidade aparente e determinação do teor de umidade, além do ensaio dos esforços a carga de vento, onde foi prototipado em laboratório e ensaiado em cabine de túnel de vento os esforços exigidos por correntes de vento e o desempenho do sistema quando submetido a essas condições.

O primeiro, foi realizado com base na Norma ASTM D198-2015 – “*Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*” (figura 29

e 30). Os valores apresentados do módulo de ruptura à flexão e do módulo de elasticidade aparente à flexão foram corrigidos para o valor de referência de 12% do teor de umidade conforme estabelecido na Norma ABNT NBR 7190:1197 – Projeto de estruturas de madeira.

Figura 29- Esquema do carregamento no ensaio de resistência à flexão



Fonte: Acervo pessoal do autor

Figura 30- Detalhe de ruptura no corpo de prova



Fonte: Acervo pessoal do autor

O ensaio para determinação da densidade aparente realizado conforme a Norma ASTM D2395-2017 – “*Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials*”.

Por fim, o ensaio para determinação do teor de umidade foi realizado conforme a Norma ASTM D4442-2015 – “*Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials*”.

Em todos os pavimentos temos a presença da aba de concreto (figura 31) ao longo do perímetro da torre que foi executado junto com a laje do pavimento.

Figura 31- Vista aérea com detalhe da aba cinza



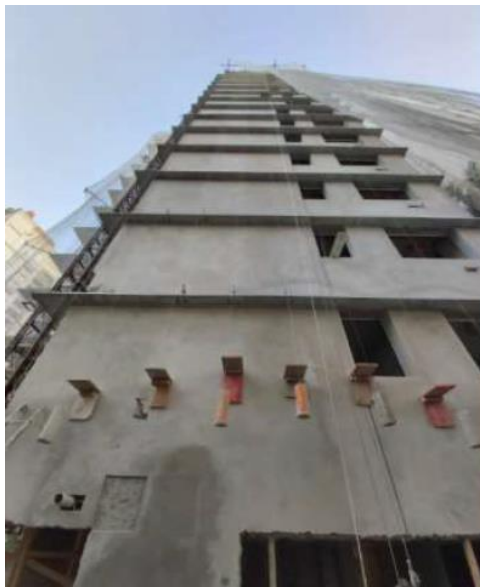
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Esse detalhe fez o papel do alicerce de todos os elementos decorativos, porém foi necessário fazer a impermeabilização com manta polimérica em todas as abas de concreto para conter uma possível infiltração.

Após essa etapa a equipe de engenharia posicionou todos os *inserts* metálicos na parte superior e inferior da aba.

Para a locação do seu posicionamento foram esticados arames em todas as prumadas a fim de marcar o alinhamento das peças, ao todo foram esticados 87 arames (figura 32) que ficaram posicionados do 15º pav ao 1º pav. A distância de todos os arames com o prédio foi posicionada com relação ao eixo principal do prédio, onde todos os arames estavam alinhados e todas as medidas necessárias para os elementos da fachada com referência de medida (arame).

Figura 32- Arames esticados marcando a posição do Insert



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 33- Insert Instalados na Aba superior e inferior



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Em sequência iniciou-se a instalação do revestimento em ACM na aba de concreto do prédio, sigla para “*Aluminum Composite Material*”, ou seja, Material de Alumínio Composto. Um tipo de revestimento de alta resistência, fabricado com a colagem de finas películas de alumínio em ambos os lados de um núcleo termoplástico, no caso, o polietileno expandido.

A montagem da estrutura do ACM (figura 34) foi feita com estrutura de alumínio, a cada dois metros foram instalados os suportes da estrutura de sustentação das chapas de ACM.

Figura 34- Montagem da Estrutura e conferência do nivelamento



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Após alinhamento, nivelamento e conferência do grau do suporte vieram o revestimento da chapa de ACM (figura 35). Se fez necessário na fase inicial de obra prototipagem do sistema afim de avaliar e validar a o conjunto assim como a estanqueidade do sistema.

Figura 35- Instalação do fechamento de ACM



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 36- Conferência de vedação pela equipe de engenharia



Fonte: Acervo pessoal do autor.

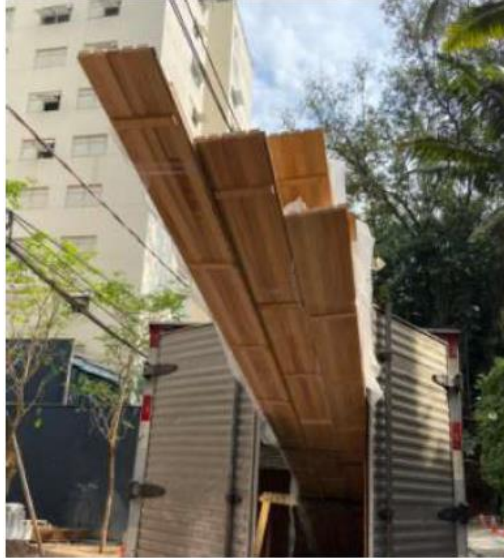
Foram aplicados silicone (figura 36) em toda as emendas e juntas de peças para completar a vedação.

Após a execução do ACM e verificação da estanqueidade pela equipe de obra iniciou-se o serviço de forro de madeira, tal verificação é imprescindível antes da entrada do forro, uma vez que o revestimento em madeira deve ser instalado em uma superfície que esteja estanque.

Para a montagem do forro de madeira *tauari* (figura 37), realizamos a conferência de todas as medidas dos beirais para o forro poder ser paginado a sua confecção, sendo enviado para obra módulos de placas de madeira afim de otimizar o tempo de instalação e melhor aproveitamento do material.

Para recebimento do material em obra a equipe de engenharia certificase do documento legal ambiental entregue pelo fornecedor. O material é criteriosamente aferido por lotes conforme medidas (largura, comprimento e espessura) de projeto, por fim através do medidor de umidade multifuncional confere a umidade da madeira tratada, essa devendo estar dentro das características corretas para seu uso, garantindo assim seu desempenho e vida útil no projeto.

Figura 37- Forro de madeira em placas moduladas para otimizar instalação



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Para isso foi instalado a estrutura (figura 38) de sustentação do forro através de barrotes de madeira fixados na parte inferior da aba de concreto a cada 30cm no sentido perpendicular as tiras do forro de madeira. Toda estrutura realizada foi acompanhada e registrada pelos critérios de serviço definidos da construtora como:

- Rigidez da estrutura ao ser instalado: Visual;
- Verificar se alguma estrutura de madeira após fixação apresentasse trincas ou rachaduras;
- Verificar cotas disponíveis do barrote estrutural após sua instalação;
- Conferência do distanciamento máximo de 30cm entre estruturas.

Figura 38- Instalação de estrutura para confecção do forro de madeira



Fonte: Autor do projeto

Após instalação do forro de madeira liberou-se a última etapa, instalação dos brises de madeira do tipo Accoya, A fixação foi feita em cima dos *inserts* metálico com tratamento contra oxidação, instalados na etapa anterior através de parafusos.

Antes da instalação, a etapa de recebimento do material feito através da verificação da nota fiscal do material entregue a obra junto com as certificações ambientais, dimensões do material e vistoria de integridade e estética da peça.

Com isso, ao certificar de todas as premissas antes de começar a instalação das peças de madeira, acompanhamento e aceite de todos os serviços que antecederam a atividade, junto com as conferências de cotas e aprovação do material a ser instalado a equipe de engenharia começou a posicionar as peças de brise de madeira nos *inserts* metálicos e fixando-as.

A instalação contou com equipamento de balancim elétrico manuseado por dois funcionários contratados pela obra, com a estratégia bem definida de execução por prumadas sempre iniciando a prumada do andar mais alto, a produção de instalação diário foi de 15 peças em média. Após fixação das peças a equipe de instalação fez uma segunda conferência na estabilidade, prumo da peça posicionada e integridade da madeira após seu posicionamento.

Assim, após 505 peças instaladas ao longo de mais de sete semanas, foram concluídos todos os brises de madeiras e conferidos pela equipe de engenharia da obra através do método de conferência estabelecido dentro da obra, garantindo assim a qualidade e desempenho final esperado ao longo da sua vida útil, fazendo com que as manutenções sejam periódicas, favorecendo a sua durabilidade. Por isso, levando em conta todo seu processo de produção, tratamentos industriais e manutenção preventiva durante seu uso, a madeira engenheirada da Accoya apresenta muito estabilidade e resistente às intempéries e ao apodrecimento, o que justifica a garantia de 50 anos e a vida útil comprovada de mais de 75 anos, conforme informações apresentadas pela fabricante.

Para o sistema executado a manutenção periódica a cada 12 meses é essencial para garantir o seu bom desempenho, uma vez que a única ação necessária se trata apenas de uma limpeza superficial na peça de madeira com uso de sabonete neutro e água, é de suma importância que ao utilizar

equipamento lavadora de alta pressão, o fluxo de água não seja concentrado e com pressão, isso desfavorece a limpeza e agride o material, podendo causar patologias no futuro. Segundo a fabricante do material a limpeza deve ser feita com fluxo de água sem pressão limpando superficialmente a peça de madeira.

Por tanto ao longo de todo o processo de execução da fachada a obra se deparou com diversos obstáculos e problemas durante as etapas, após a conclusão do projeto foi avaliado os benefícios extraídos após execução dos protótipos, bem como todo processo desenvolvido pela equipe de engenharia junto a empresa prestadora de serviço, liberações e aprovações dos serviços correspondentes as fachadas para êxito na instalação dos brises de madeira.

Somado às experiências e lições aprendidas no estudo de caso, como contribuição para futuras obras e empreendimentos cujas características arquitetônicas tenha especificado o uso de madeira engenheirada na fachada, foi realizado um procedimento executivo constando no apêndice dessa monografia, para auxiliar futuros profissionais e projetistas, a fim de disseminar boa prática em função da escassa literatura ainda disponível sobre o tema no Brasil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados apresentados neste trabalho e informações do estudo de caso, entende-se que objetivos iniciais em apresentar um procedimento executivo para construtoras na aplicação de madeira engenheirada como elemento arquitetônico de fachada foram alcançados, uma vez que após experiência passada pelo autor conclui-se com a apresentação de um procedimento estudado e definido para o uso em obra.

Para execução de forma eficiente, é importante o entendimento conceitual do tipo da madeira engenheirada a ser usada e como essa será exigida, assim como o conhecimento das normas técnicas e questões ambientais relacionados. Um bom projeto compatibilizando a madeira com as demais disciplinas se torna essencial, uma vez que, o sistema como um todo e de projetos específicos desenvolvidos pelos arquitetos/projetistas para execução da madeira estejam com as mesmas informações e ricos em detalhes, com isso o uso desse material passa ganhar maior espaço e estudos sobre o seu uso.

Para a disseminação da madeira no cenário nacional, principalmente no mercado imobiliário de alto padrão, é importante o conhecimento para escolha correta do tipo a ser utilizado conforme o meio onde será inserido e o desempenho que se espera dela para evitar patologias. Logo a madeira se torna um acabamento nobre, dinâmico agregando assim valor final a construção do ponto de vista econômico e ambiental.

A madeira deve ser estimulada devido os seus benefícios visando simplificar a construção, diminuindo o desperdício de materiais caros, tempo e dinheiro, verificando-se a importância de se implementar esse material a uma mão de obra especializada. Utilizar esse material pode ser de grande valor, reduzindo o impacto ambiental em muitos aspectos, sem perda de qualidade e desempenho na obra.

O desafio para o uso do material se torna maior, pois a idealização do uso da madeira engenheirada esbarra nos limites técnicos por falta de conhecimento dos seus executores ou até mesmo por deficiência corporativa em procedimentos executivos no tema. Considera-se que a implantação de métodos executados em fachada em madeira, ou até mesmo o uso da madeira engenheirada para outros fins, só é possível quando incorporada ao bom planejamento de execução e controle da obra, análises antecipadas com

prototipagem junto ao estudo dos projetos e sistema de gestão da qualidade bem definidos com procedimentos orientativos e de fiscalização.

O case é tido como aprendizado na construtora, o pensamento é de realizar outros empreendimentos com a mesma metodologia, implantados já na concepção inicial de projeto. Durante a obra Nube se concebeu a elaboração de um procedimento construtivo do uso da madeira em fachada para elementos arquitetônicos que estará em constante desenvolvimento devido necessidades de cada empreendimento, atualizações do mercado e normas vigentes.

4.1 Trabalhos futuros

Quando comparado ao mercado exterior, não há muitos exemplos da utilização do sistema de madeira engenheirada em fachada. Desta forma, se torna mais complexo analisar a manutenibilidade e as eventuais patologias que o sistema pode gerar durante a vida útil do edifício, entretanto o assunto pode ser tema de novas pesquisas para melhor compreensão do desempenho e eficácia do sistema.

APÊNDICES

1. Entrevista com arquiteto

Criado em 1999 por colegas da FAU-USP, o escritório FGMF nasceu com o propósito de produzir uma arquitetura contemporânea, sem restrições ao uso de materiais, técnicas construtivas e escalas. Não há fórmulas pré-definidas ou rígidas: a cada desafio, “partimos do zero e fazemos do desenho o nosso instrumento de pesquisa para elaborar uma nova visão de edifício, de objeto e de cidade”. Fernando Forte, Lourenço Gimenes e Rodrigo Marcondes Ferraz são formados pela FAU-USP entre 2001 e 2002. Entre pós-graduações, especializações e ampla experiência de canteiro, suas características pessoais e profissionais são distintas, porém complementares, o que resulta em uma visão arquitetônica bastante ampla e plural, revelada a cada projeto.

Fernando Forte colaborou com seu conhecimento para a presente monografia respondendo a perguntas do autor sobre o referente tema do uso de madeira engenheirada nos projetos, visto que o papel do arquiteto é um dos principais responsáveis pela disseminação dos materiais que serão usados na obra, principalmente das novas tecnologias como a madeira engenheirada.

Para o arquiteto quais são as premissas técnicas e arquitetônicas para a escolha e uso da madeira nos projetos?

Fernando Forte: Sempre é importante ter em mente as questões técnicas em relação ao apodrecimento e durabilidade do material que será usado no projeto. O entendimento do comportamento biológico da madeira em nosso território é essencial, pois o comportamento de fungos e bactérias no Brasil é muito diferente da Finlândia por exemplo, onde a cultura do uso da madeira engenheirada já é uma realidade. Então grandes fachadas externas sem beirais recobertas com madeira, por exemplo, podem apresentar graves problemas futuros se não realizadas com a madeira e detalhamento adequados

No mercado em que atua, qual o destaque da madeira dentro de um projeto?

Fernando Forte: Depende muito do caso. Atuamos em praticamente todas as

escalas da arquitetura e em alguns projetos o diferencial é ter uma estrutura em madeira, em outros um forro (exemplo Loja Lider Gabriel), em outros painéis ou elementos que compõem a estética desejada.

Na sua opinião quais os impedimentos do seu uso?

Fernando Forte: Há muita resistência em relação ao uso de madeira nas fachadas de edificações de maior porte por conta de manutenção, acesso mais difícil e apodrecimento. A falta de detalhamento ou escolha da espécie errada para determinada finalidade também são pontos que acabam inviabilizando o uso do material no projeto. Por fim, questões financeiras que também inviabilizam o uso muitas vezes devido ao valor praticado atualmente no mercado, mas que acredito que, com a entrada de mais players no mercado, poderia ser reequilibrado a situação financeira.

Qual sua opinião para construções com uso de madeira nos projetos? E quais seriam as consequências para o mercado brasileiro?

Fernando Forte: Quanto maior a gama de materiais, sobretudo sustentáveis, mais recursos para a expressividade e soluções arquitetônicas teremos disponíveis dentro do nosso território. O uso da madeira tem aumentado bastante nos projetos contemporâneos brasileiros, área onde atuo. Seria muito interessante ver uma intensificação do uso da madeira em estruturas primárias (exemplo Casa Grelha) sobretudo com as estruturas tipo MLC que possuem interessantíssimas qualidades ambientais.

2. Entrevista com fornecedor de madeira engenheirada

Especialista no assunto e atuando no mercado brasileiro desde 2017, Fabio Siqueira proprietário da empresa core innovation in wood, fornece produtos e soluções em madeiras certificadas para áreas de arquitetura, engenharia e design. Com o diferencial está no excepcional desempenho técnico, sem nenhum prejuízo à qualidade e estética inerentes à madeira. A core acumula parcerias com os maiores e mais conceituados escritórios brasileiros, em projetos no Brasil e no exterior. Grande parte do trabalho é desenvolver juntamente com a equipe de arquitetura os detalhes técnicos e de execução dos projetos a serem executados em obra.

Qual a aceitação dos seus clientes para o uso da madeira? É uma exigência do cliente ou fica a critério do arquiteto ?

Fabio Siqueira: Depende muito do tipo de projeto e cliente. Para projetos residenciais a madeira é sempre muito requisitada justamente pelo aspecto da naturalidade e beleza. Em projetos com viés mais corporativo atualmente é menos demandada apenas por conta da manutenção periódica que é mais necessária, mas este ponto vem sendo amplamente revisto nos projetos atuais que procuram seguir uma premissa de arquitetura biofílica. O uso de materiais naturais mesmo com mais manutenção tem deixado de ser um tabu para ser realidade (Vide o projeto NUBE).

Sobre o uso da Accoya nos projetos? Há alguma resistência por parte dos incorporadores/arquitetos para o uso?

Fabio Siqueira: A Accoya atualmente é amplamente utilizada nos mais diversos projetos residenciais de múltiplos pavimentos no mundo inteiro. Países com uma cultura antiga no uso de madeira como matéria prima de edificação adotaram o material sem grandes desafios e dado seu desempenho o seu uso foi amplamente utilizado ao ponto de nos últimos anos pressionar a indústria a ampliar sua capacidade produtiva.

Em Países como o Brasil onde não existe essa cultura, algumas dúvidas / barreiras surgem e de maneira compreensível nos incorporadores, sempre preocupados em atender a legislação vigente que atualmente é defasada / desatualizada em relação ao avanço das novas tecnologias. O Nube é o primeiro empreendimento com uso de madeira em forma de brises em fachada e quebrou alguns paradigmas. Atualmente temos outros 03 projetos com aplicação similar em projetos residenciais de múltiplos pavimentos e muitos outros vão surgir no próximo ano.

Sobre manutenções, quais os maiores problemas que tem com o material implantado em um edifício?

Fabio Siqueira: A garantia do material é algo simples de verificar pois as patologias em madeiras são muito visuais e passam basicamente pela resistência da Accoya ao longo do tempo e sua durabilidade em termos de decomposição. Madeiras não engenheiradas/modificadas ao longo do tempo sofrem apodrecimento precoce se não tratadas com produtos protetivos como vernizes, enquanto a Accoya não necessita de nenhum produto para se manter firme ao tempo. Já em relação aos acabamentos (Óleos, Vernizes, Stain) aplicados em Accoya, as garantias são fornecidas por cada fabricante.

Qual sua opinião para construções/uso de madeira nos projetos? Deve ser estimulada?

Fabio Siqueira: Entendo que deveria ser fortemente estimulada, os benefícios são inúmeros: Construção limpa, rápida, eficiente. É uma solução prática, viável para resolver muitos projetos de moradia popular ou projetos que exijam soluções técnicas inovadoras. Para grandes obras, o desafio no mercado brasileira é encontrar diversidade de produtos que possam ser aplicados como retardantes de fogo bem como viabilizar seu uso em substituição aos materiais primos convencionais no ponto de vista financeiro, por ser um material natural, possui maior valor agregado e precisa de uma indústria de transformação mais técnica.

3. Proposta de procedimento

PROCEDIMENTO EXECUTIVO

1. SERVIÇO

Instalação de brise em madeira engenheirada em fachadas.

2. OBJETIVO

Procedimento executivo para construtoras na aplicação de madeira engenheirada como elemento arquitetônico de fachada.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- Normas aplicáveis.
- Caderno de detalhes (se houver).
- Caderno de consultor (se houver).
- Ensaios de determinação solicitados pela Norma e Consultor.
- Projeto Arquitetura e Especialidades.

4. FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS

- Nível Laser
- Prumo.
- Arame de fachada.
- Trena Metálica.
- Furadeira, Martelo,
- Equipamentos de Acesso (Andaime e/ou Balancim).

5. INFORMAÇÕES GERENCIAIS

A obra deve ter conhecimento do projeto detalhado, bem como projeto de consultor (se houver).

A obra deve ter conhecimento e solicitar laudos / ensaios exigidos pela norma ao fornecedor e inserir os relatórios dos ensaios no Plano de Controle Tecnológico (PCT) ou no controle de qualidade da empresa.

Caso possua um consultor, obra deverá certificar o uso do tipo da madeira para determinado fim e solicitar laudo técnico.

Inserir os relatórios das visitas de acompanhamento do consultor (quando contratado), tomando as providências necessárias para sanar os problemas, de forma a ter um relatório final de aprovação.

Cronograma de execução: A execução do sistema de revestimento de madeira na fachada deve ser prevista no cronograma da obra com os seguintes prazos:

- A estrutura deve estar concluída há, pelo menos, 14 dias;
- A fixação superior da alvenaria (encunhamento/aperto) deve ter sido executada há, no mínimo, 14 dias, preferencialmente após o máximo carregamento da estrutura (contra pisos, alvenarias);
- 10 dias de idade do emboço ou camada única, com utilização de argamassa contendo adição argilomineral (arenoso) para execução de acabamento decorativo.

Após a contratação do fornecedor, o engenheiro/arquiteto deverá agendar uma reunião com a presença do fornecedor contratado, do consultor (quando houver), do gerente da obra e área da qualidade da construtora. O objetivo é analisar, em conjunto, todas as tipologias da fachada, objeto do contrato, e checar os critérios mínimos de verificação e liberação de etapas que serão adotados e definição do processo executivo e interfaces com demais serviços.

6. RECEBIMENTO E ESTOQUE DO MATERIAL

Obra deve conter espaço adequado e manter material de forma organizado, conforme orientação do fornecedor.

Para recebimento do material na obra deverá exigir certificado legal do material, sempre alinhados às exigências ambientais e o manejo correto, verificando se a madeira é sustentável e se a empresa fornecedora tem certificado de procedência.

5.3.7. PROTÓTIPO

Obra deve executar modelo protótipo para análise de consultor (caso houver), engenharia e arquiteto para verificarem todas as falhas executivas após de concluído, bem como falhas de detalhe em projeto. Deve ser feito relatório técnico pelos participantes com análises, pontos de melhorias (caso seja necessário) para definição de participantes do modelo final a ser replicado na obra.



Legenda: Execução de testes no protótipo (Fonte: Autor)



Legenda: Execução de testes no protótipo (Fonte: Autor)

Parafusos fixadores: os componentes de ancoragem na subestrutura dos suportes são selecionados com base no tipo de substrato e as cargas que vão ser solicitadas. Obra deve analisar junto a consultor (se houver) material a ser utilizado.

Tipos de fixadores:

- A) Parafuso longo em aço galvanizado com bucha em plástico.
- B) Parafuso de aço inoxidável com porca de rosca na cabeça, indicado para estruturas de concreto armado ou de qualquer outro material de corpo totalmente maciço.
- C) Parafusos de injeção (tipo tirante de aço inoxidável): é indicado para estruturas mais leves e em que o projeto demande rapidez na instalação. Devido à qualidade e à resistência do material, é percebida a utilização dos parafusos em aço galvanizado com bucha de fixação para a ancoragem da fachada ao substrato.

Observação: Os parafusos de fixação podem ou não serem acompanhados de buchas, portanto é importante assegurar, no caso da sua utilização, de que estão corretamente posicionados para não ocorrer patologias como quedas da estrutura. Quanto a isso é importante verificar o posicionamento correto desses esquadros de fixação no substrato.

8. SEQUÊNCIA OPERACIONAL

8.1 Condições para início do serviço:

As ferramentas, insumos e equipamentos de produção devem estar em condições adequadas de uso e disponível.

Os andaimes/balancim adequadamente dimensionados de acordo com o ritmo dos serviços, dentro das normas de segurança e fixados de forma compatível com o tipo de revestimento a ser executado.

As condições de prumo das alvenarias para avaliação das espessuras máximas e mínimas da argamassa de regularização devem estar compreendidas entre 20 mm e 25 mm, de modo a identificar a necessidade de procedimentos especiais.

Todas as instalações elétricas/hidráulicas (se houver) que interferem na fachada devem estar concluídas e testadas.

A requadrção da estrutura/base de fixação de suportes do revestimento da fachada deve ter sido execução, bem como remover todo e qualquer tipo de imperfeição que venha interferir na execução do serviço do procedimento.

8.2 Método executivo

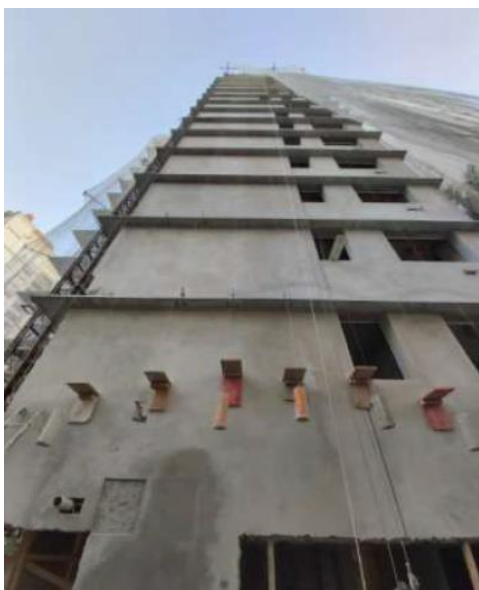
Verificar através do projeto de arquitetura a exata localização dos elementos de fachada, bem como os eixos de suas fixações na estrutura, previstos em projeto.

Deve ser compatibilizado as cotas de instalação (bruta e acabada) de todos os serviços que compõem o sistema de fachada.



Legenda: Mapeamento de cotas de instalação (Fonte: Autor).

Com auxílio de arames equipe de obra deve estica-los por prumadas/faces marcando seus eixos de instalação no revestimento externo para o posicionamento e fixação dos suportes metálicos.



Legenda: Posicionamento de arames (Fonte: Autor).

Equipe de engenharia com auxílio de laser, trena, nível deverá conferir o alinhamento, nível e prumo dos suportes. Assim como conferência com detalhes de projetos e demais serviços que fazem parte do sistema da fachada (forro, parede, caixilho, revestimento ACM caso houver).

Controle visual da finalização, parafuso, atentar-se na utilização da qualidade do material, deve estar rente a bucha de fixação (se houver) e ao esquadro de projeto ao mesmo tempo.

Liberação de instalação do revestimento de fachada, conforme planejamento da engenharia, seguindo alinhamento pré-marcado através dos suportes metálicos.

Após posicionamento das peças de madeira encaixadas nos inserts metálicos através das fendas de abertura, certificar que foi instalada de forma correta e permaneça estável.



Foto: Instalação de revestimento fachada (Fonte: Autor).

Equipe de engenharia com auxílio de laser, trena, nível deverá conferir o alinhamento, nível e prumo do revestimento e seu acabamento final. Assim como conferência com detalhes de projetos e demais serviços que fazem parte do sistema da fachada (forro, parede, caixilho, revestimento ACM caso houver).

Visualmente verificar acabamento das fixações das madeiras nos suportes com massa de calafetação específica.



Legenda: Pontos a serem acabados com Massa Calafetar Madeira F12 (Fonte: Autor).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, Vahan. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Dissertação Escola de Engenharia de São Paulo. São Paulo, 2011.

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

BELTRAME. **Meio Ambiente na Construção Civil**. Artigo. São Paulo, 2013.

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

BRASIL. Ministério do meio ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília, 2010.

BONO, T. C. **Madeira laminada colada na arquitetura**: sistematização de obras executadas no Brasil. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 1996.

CARETA, VIAL. **Construções em CLT: O uso da madeira na construção civil como elemento sustentável**. Artigo Faculdade América. São Paulo, 2021

CASAGRANDE; PIENIAK; BOMBONATO. **Obras Arquitetônicas em Madeira**. Artigo - ECCI. Paraná, 2014.

CESAR, S. F. **As estruturas Hauff de madeira no Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Planejamento. Universidade de São Paulo: São Carlos, 1991.

CRUZ. **Madeira Engenheirada: uma revisão bibliográfica**. Dissertação Universidade federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2022.

DEMARZO et al. **Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeira de Reflorestamento na Construção Civil**. Matéria Revista. São Carlos, 2017.

DIAS, A. **Dossiê da Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT): Produção e Desenvolvimento**. Artigo – Madeira em Construção. Santa Catarina. 2019.

ESPINDOLA, L. R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil.** Tese (doutorado). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2017.

ESPINOZA, O. **Cross-laminated timber: status and research needs in europeu.** Bioresources, v. 11, p. 281-295, 2016.

EVANGELISTA. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras.** Artigo, Rio Grande do Sul, 2010

FERREIRA, O. P.; ZENIDE, G., et. al. **Madeira: uso Sustentável na Construção Civil.** São Paulo: IPT, 2009
MARQUES, I. R. e MARQUES, G. **Políticas públicas e conflitos fundiários no estado do Pará.** Trabalho apresentado ao VIII Congresso Latinoamericano de Sociologia Rural, Porto de Galinhas, 2010.

GÓIS, J. L. N.; CARLIN, T.; PIZZINI, P. R.; TAVARES, M. G. Avaliação experimental da influência da deformação por cisalhamento em vigas I de madeira. **II Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madeira.** 2017.

GUTIERREZ, R. M. **Casas móveis: experiência na região oeste do Paraná, 2008.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo: São Paulo, 2008.

HURMEKOSKI, E. Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe. *Technological forecasting e social change*, v. 99, p. 181-196, 2015.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION – ITTO. **Biennial review and assessment of the world timber situation.** 2014
LUCENA, R. C. **Análise teórica de rigidez e resistência à flexão de painéis de madeira lamelada colada cruzada.** Dissertação Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2017.

LOPES; LOTUFO; SAYURI. **Estruturas reticuladas de madeira ou planas mistas.** USP. São Paulo 2022.

LOPES, S. C.; CARMO, M. E. R.; SERRA, S. M. B. **Levantamento de soluções construtivas em madeira industrializada.** In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA

DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 1., 2021, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–6.

MELLO, R. L. **Projetar em madeira**: uma nova abordagem. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília: Brasília, 2007.

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

PASSARELLI, Rafael. **Cross Laminated Timber**: Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no estado de São Paulo. São Carlos, 2013.

PFEIL; PFEIL. **Estruturas de Madeira**. Livro. Rio de Janeiro, 2003

PLAKITKA. **Caderno de obras em madeira engenheirada**. Dissertação Escola Engenharia Civil, do Centro Universitário de Curitiba. Paraná, 2021.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2006.

ROTH, C. D. G.; GARCIAS, C. M. **Construção civil e a degradação ambiental**. Artigo - Desenvolvimento em questão. São Paulo, 2009

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil**: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2008.

SILVA, R. D. **Plantando casas**: estudo da cadeia produtiva para implantação de habitação de interesse social em madeira de pinus spp no Paraná – Brasil. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2010.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no Brasil**: Agentes, ações e produtos. 2018. 250 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SHIMOYAMA; BARRICHELLO. **Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de Eucalyptus**. Dissertação Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo, 1991

Szücs et al. **Estruturas de Madeira**. Dissertação. Universidade federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2015.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. Londrina: EDUEL, 2013.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p

.

.