

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NICOLE RENOSTE SILVA

**ESTUDO DO USO DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A SUSTENTABILIDADE
NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

CAMPO MOURÃO

2023

NICOLE RENOSTE SILVA

**ESTUDO DO USO DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A SUSTENTABILIDADE
NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Study of the use of wood and its relationship with sustainability in the civil
construction sector**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

NICOLE RENOSTE SILVA

**ESTUDO DO USO DA MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A SUSTENTABILIDADE
NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

Data de aprovação: 13/junho/2023

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Jorge Luís Nunes de Góes
Doutor em Engenharia de Estruturas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Leandro Waidemam
Doutor em Engenharia de Estruturas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

CAMPO MOURÃO
2023

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, pela minha vida e por me dar forças e sabedoria, me iluminando em todos os meus caminhos.

Aos meus pais, Rose Renoste e Angelo Augusto, pelo incentivo e pela compreensão em todas as minhas decisões. Eu, com certeza, sou uma pessoa melhor sendo filha de vocês e serei eternamente grata.

Aos meus irmãos, Lohana Renoste e Thalles Renoste, pelos conselhos e pelo apoio.

Ao meu namorado, Alaffy Tito, por estar do meu lado diariamente, por vibrar pelas minhas conquistas, pelos momentos de companheirismo, por ser quem você é, eu amo você.

Às minhas amigas de classe, pelo suporte e trocas de experiências. Em especial, à Rhayara Magalhães, que esteve comigo desde o início da graduação, você foi essencial nesse processo, obrigada por tudo, sou grata pela nossa amizade.

Aos professores, pelos ensinamentos e pelo auxílio em todo o meu processo de formação profissional.

A Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira, em especial, por ser a professora que eu escolhi para ser minha orientadora desde o primeiro dia de aula, minha inspiração profissional. Grata pela orientação e dedicação em toda a pesquisa realizada.

À UTFPR e à Campo Mourão, onde eu amadureci como ser humano e vivenciei momentos incríveis que levarei na minha jornada daqui em diante.

“A árvore plantada é o futuro das matérias-primas renováveis, recicláveis e amigáveis ao meio ambiente, à biodiversidade e à vida humana. A indústria de árvores plantadas para fins produtivos é a indústria do futuro.”
(IBÁ, 2021).

RESUMO

O planeta Terra em todo o seu período de existência enfrenta diariamente as consequências geradas pelas mudanças climáticas e a deterioração do meio ambiente. Estudos mostram que esse agravamento pode ser causado por atividades humanas, como o desmatamento das florestas, que em sua grande maioria é proveniente de ações antrópicas no setor da pecuária, agricultura e extrações ilegais da madeira, tais ações produzem significativas emissões de gases do efeito estufa, potencializando o aquecimento global. Para conter essas emissões, é necessário que haja a inclusão de atividades como o reflorestamento e manejo florestal, à medida que realizam o sequestro de dióxido de carbono, de forma a diminuir a sua concentração na atmosfera. Um dos setores que exerce grande influência na qualidade do meio ambiente é o da construção civil, em todo o seu processo construtivo, desde o início da extração da matéria-prima até sua destinação final. Um dos materiais presentes nesse mercado é a madeira, embora pouco utilizada em alvenaria de vedação em edificações no Brasil, está presente na sociedade desde os tempos remotos, em construções de abrigos na época para proteção das intempéries e nas fabricações de embarcações. A madeira apresenta inúmeros benefícios, dentre eles, a sua capacidade de promover reduções significativas de emissões de gases do efeito estufa, por meio da absorção do dióxido de carbono realizado no processo de fotossíntese para o crescimento das árvores. Quando comparado com outros materiais convencionais mais utilizados na construção, como o aço, a madeira se sobressai e demonstra ser um material sustentável e de grande potencial construtivo. A extração dessa matéria-prima deve ser feita por meio de um manejo florestal controlado, acompanhada da obtenção da sua certificação, sendo essa certificação necessária para ambas as partes, para que o consumidor tenha conhecimento da procedência da extração e para o meio ambiente que vai ser explorado de maneira correta garantindo a sua preservação. Além do impacto positivo que o uso da madeira traz para o desenvolvimento sustentável do meio ambiente, ocorre também um desenvolvimento econômico, por meio do mercado de crédito de carbono que engloba projetos que visam a redução das emissões globais, contribuindo significativamente para a receita do país. Diante desse cenário, é visível em países afora, como na Noruega e no Canadá, o incentivo e uso da madeira como matéria-prima construtiva, em contrapartida, aqui no Brasil, ainda se tem o pensamento de que esse material é inferior aos outros materiais tradicionais. Portanto é necessário que haja uma mudança de mentalidade tanto na sociedade como no setor construtivo, para que haja cada vez mais a aplicação e evolução do uso da madeira nas construções de edificações dentro no mercado construtivo brasileiro.

Palavras-chave: madeira; dióxido de carbono; construção civil.

ABSTRACT

The planet Earth, throughout its period of existence, faces the consequences generated by climate change and the deterioration of the environment daily. Studies show that this aggravation can be caused by human activities, such as the deforestation of forests, which in the vast majority comes from anthropic actions in the livestock sector, agriculture and illegal extraction of wood, such actions produce significant emissions of greenhouse gases, boosting global warming. To contain these emissions, it is necessary to include activities such as reforestation and forest management, as they carry out the carbon sequestration, to reduce its concentration in the atmosphere. One of the sectors that exerts great influence on the quality of the environment is civil construction, throughout its construction process, from the beginning of the extraction of raw materials to its destination. One of the materials present in this market is wood, although little used in masonry for sealing buildings in Brazil, it has been present in society since ancient times, in the construction of shelters at the time for protection from the bad weather and in the manufacture of boats. Wood has numerous benefits, including its ability to promote significant reductions in greenhouse gas emissions, through the absorption of carbon dioxide produced in the process of photosynthesis for tree growth. When compared to other conventional materials most used in construction, such as steel, wood stands out and proves to be a sustainable material with great constructive potential. The extraction of this raw material must be carried out through controlled forest management, concomitant with the obtaining certification, and this certification is necessary for both parties, so that the consumer is aware of the origin of the management and for the environment which will be an explored in a correct way, assuring its preservation. In addition to the positive impact that the use of wood brings to a sustainable environment development, there is also economic development, through the carbon credit market, which includes projects aimed at reducing global emissions, contributing significantly to the country's revenue. Given this scenario, it is visible in many countries worldwide, such as Norway and Canada, the incentive and use of wood as a constructive raw material, on the other hand, here in Brazil, there is still the thought that this material is inferior to other traditional materials. Therefore, there is a need for a change of mentality both in society and the construction industry, so that there is an increasing application and evolution of the use of wood in the construction of buildings within the Brazilian construction market.

Keywords: wood; carbon dioxide; civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipologias das habitações indígenas	18
Figura 2 - Primeiras habitações em madeira	19
Figura 3 - Palafita na região da Galiza	19
Figura 4 - Habitação de madeira (Curitiba)	21
Figura 5 - Habitações de madeira (Londrina).....	22
Figura 6 - Torre <i>Mjøstårnet</i> (Noruega)	23
Figura 7 - Torre <i>Mjøstårnet</i> na margem do lago <i>Mjøsa</i>	24
Figura 8 - Elementos estruturais em <i>Mjøstårnet</i>	25
Figura 9 - Detalhe da conexão na coluna de canto	Erro! Indicador não definido.
Figura 10 - Detalhe da conexão das peças em madeira	26
Figura 11 - Embutimento de chapa metálica e pino de aço na madeira	27
Figura 12 - Peças pré-fabricadas para a construção de <i>Mjøstårnet</i>	27
Figura 13 - Uso de elevadores e guindaste de torre	28
Figura 14 - <i>Tall Wood Residence</i> (Canadá)	28
Figura 15 - Instalação do piso de madeira lamelada colada cruzada	29
Figura 16 - Estrutura do telhado em <i>Tall Wood</i>	29
Figura 17 - Núcleo de concreto no edifício <i>Tall Wood</i>	30
Figura 18 - Maquete em escala real no edifício <i>Tall Wood</i>	31
Figura 19 - Pannel externo do edifício <i>Tall Wood</i>	31
Figura 20 - Detalhes do pannel externo	32
Figura 21 - Conexões de aço nas colunas	32
Figura 22 - Instalação da coluna no piso em madeira	33
Figura 23 - <i>The Tree</i> (Noruega)	34
Figura 24 - Módulos de construção do edifício <i>The Tree</i>	35
Figura 25 - Detalhes das conexões entre as peças de madeira	35
Figura 26 - Conexões nos elementos em madeira	36
Figura 27 - Uso de guindaste de torre para instalação dos módulos pré-fabricados	36
Figura 28 - Uso de andaimes na construção da edificação	37
Figura 29 - <i>Dalston Lane</i> (Reino Unido)	38
Figura 30 - Painéis em madeira lamelada colada cruzada	38
Figura 31 - Estrutura em MLCC em <i>Dalston Lane</i>	39
Figura 32 - Protótipo estrutural de <i>Dalston Lane</i>	39
Figura 33 - Detalhes construtivos de <i>Dalston Lane</i>	40
Figura 34 - Detalhes construtivos do piso do edifício	41
Figura 35 - Detalhes construtivos da fachada do edifício	42
Figura 36 - Parte interna da edificação	42
Figura 37 - Estruturas de concreto no piso térreo	43
Figura 38 - Estrutura da edificação de <i>Dalston Lane</i>	43
Figura 39 - <i>Forté</i> (Austrália).....	44
Figura 40 - Estrutura em MLCC e concreto do edifício <i>Forté</i>	45
Figura 41 - Detalhes da edificação interna.....	45
Figura 42 - Caixas duplas dos núcleos de elevadores e escadas	46
Figura 43 - Detalhes construtivos da fachada do edifício <i>Forté</i>	47
Figura 44 - Içamento do pannel em madeira lamelada colada cruzada	47
Figura 45 - Ciclo de vida da madeira	49
Figura 46 - Ciclo de vida do dióxido de carbono	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valor exportado e importado em 2020 (US\$ bilhões)	54
Gráfico 2 - Destino das exportações de produtos em 2020.....	54
Gráfico 3 - Créditos de carbono gerados no mercado voluntário mundial.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões de CO ₂ na fabricação dos materiais	51
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO ₂	Dióxido de Carbono
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FSC	Forest Stewardship Council
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LVL	Laminated Veneer Lumber
MLC	Madeira Lamelada Colada
MLCC	Madeira Lamelada Colada Cruzada
NBR	Normas Brasileiras
OSB	Oriented Strand Board
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Especiais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UNEP	UN Environment Programme
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
4.1	Certificação da madeira	17
4.2	Contexto histórico do uso da madeira na construção civil	18
4.2.1	Contexto histórico do uso da madeira na construção civil no Brasil	20
4.2.2	Contexto histórico do uso da madeira na construção civil no Paraná	20
4.3	Contexto internacional do uso da madeira na construção civil.....	22
4.3.1	Edifícios em madeira do mundo	23
4.4	Vantagens do uso da madeira como material construtivo	48
4.4.1	Sustentabilidade	48
4.4.2	Emissões de gases do efeito estufa	50
4.4.3	Versatilidade do uso da madeira	51
4.5	Desvantagens do uso da madeira como material construtivo	52
4.5.1	Agentes bióticos	52
4.5.2	Agentes abióticos	52
4.6	Cenário brasileiro no setor florestal	53
4.6.1	Manejo Florestal	54
4.7	Crédito de carbono.....	55
4.7.1	Mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto.....	56
4.7.2	Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	57
4.8	Crédito de carbono no mercado brasileiro	58
5	METODOLOGIA	60
6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A madeira está presente na sociedade desde os primórdios, no uso em construção de abrigos, embarcações e edificações habitacionais com o propósito de auxiliar na sobrevivência da civilização na época, como forma de proteção contra animais e intempéries. Com o crescimento e evolução do ser humano, seus métodos construtivos foram se aperfeiçoando, e atualmente a madeira é uma matéria-prima de grande potencial construtivo, sendo mais predominante em edificações fora do Brasil.

Com o avanço tecnológico na área da construção civil juntamente com o segmento florestal, surgiram novos produtos oriundos da madeira, como a madeira lamelada colada, madeira lamelada colada cruzada e o sistema construtivo *Wood Frame*. Embora haja um desenvolvimento no setor da construção civil, a utilização da madeira como alvenaria de vedação em edificações no Brasil não é tão recorrente, embora o país detenha uma grande parcela de área florestal que permite ter seus recursos naturais explorados (SHIGUE, 2018). Atualmente, os principais materiais utilizados na construção civil são o concreto e o aço, sendo matérias-primas não renováveis e responsáveis por significativas emissões de CO₂.

Apesar da inserção e evolução da madeira como matéria-prima construtiva no Brasil, os números de construções em madeira ainda são poucos expressivos quando comparados ao uso da madeira em edificações em outros países, como nos Estados Unidos e Canadá. A falta de conhecimento, além do preconceito existente na sociedade brasileira em relação ao emprego da madeira como material construtivo é uma realidade que deve ser reavaliada por toda a cadeia produtiva, tanto pelos profissionais e pelos consumidores, a fim de incluir esta matéria-prima no mercado brasileiro para obtenção de sistemas construtivos mais sustentáveis. Esse trabalho visa apresentar um breve contexto histórico da madeira, sua potencialidade como matéria-prima na construção civil e sua influência no desenvolvimento do meio ambiente.

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, de forma a esquematizar a sequência do trabalho.

2.1 Objetivo geral

Estudar o uso da madeira e seu grande potencial construtivo como matéria-prima no setor da construção civil.

2.2 Objetivos específicos

- Sistematizar informações sobre o contexto histórico do uso da madeira como material construtivo;
- Apresentar os benefícios da aplicação da madeira e sua relação com a sustentabilidade na indústria da construção civil;
- Analisar edificações em madeira e as técnicas construtivas utilizadas em suas construções.

3 JUSTIFICATIVA

É de conhecimento geral que o mundo sofre constantemente as consequências causadas pelas alterações climáticas e pela degradação ambiental. A procura pela sustentabilidade no setor da construção civil vem se destacando nesse mercado mundialmente, por meio de construções mais sustentáveis que visam a redução os impactos ambientais gerados em todo o processo construtivo.

Há grandes possibilidades de que o aumento de 1,0° C da temperatura global pode ter sido causado pelas atividades antrópicas, e estima-se que se estas ações persistirem, esse aumento pode chegar a 1,5°C entre os anos de 2030 e 2052. Para que esse aumento seja contido, uma das formas seria o estabelecimento de medidas mitigadoras para remoção do CO₂ da atmosfera (IPCC, 2019).

De acordo com o IPCC (2023), as emissões de gases do efeito estufa no ano de 2019 foram de aproximadamente 59 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente, sendo esse valor 12% a mais do que os valores referentes às emissões de 2010, e aproximadamente 54% a mais do que no ano de 1990. Para limitar o aquecimento global em 1,5°C, as emissões devem reduzir em 43% até 2030, necessitando imediatamente de atividades que promovam as reduções das emissões de GEE, como por exemplo reflorestamento, manejo florestal, sequestro de carbono etc.

A construção civil está diretamente relacionada com a qualidade do meio ambiente, pois o setor construtivo detém diversos processos que possuem grande influência em todo o ecossistema. Inicialmente, tem-se a exploração dos recursos naturais para obtenção da matéria-prima, além da fabricação e transporte desses materiais, em seguida tem-se a construção e o uso da edificação, e no fim a destinação dos resíduos sólidos gerados em todo esse processo (GOLDEMBERG; AGOPYAN; JOHN, 2011). Segundo o UNEP (2020), 38% das emissões de dióxido de carbono são oriundas do setor da construção civil no segmento energético e para que em 2050 o setor esteja em condições climáticas mais adequadas, essas emissões precisam ser reduzidas pela metade até 2030, para isso os governos precisam colocar como prioridade edificações de baixo carbono.

A utilização da madeira como material construtivo no setor da construção civil implica diretamente no campo da sustentabilidade, além de ser considerada um recurso renovável. De acordo com Allen, Thallon e Schreyer (2017), a madeira detém

uma quantidade significativa de dióxido de carbono, em decorrência da captação desse óxido realizado pelas árvores em seu processo de crescimento, dessa forma, o dióxido de carbono está presente na madeira desde a sua formação e se mantém, contanto que não haja a queima ou apodrecimento da árvore, resultando no retorno desse CO₂ para a atmosfera.

Em vista disso, edificações que possuem a madeira como material construtivo podem ser considerados importantes sequestradores de dióxido de carbono, promovendo reduções em suas concentrações na atmosfera, melhorando a qualidade do ar e mantendo o equilíbrio do ecossistema. Nesse contexto o presente trabalho busca apresentar os benefícios da utilização da madeira no setor construtivo brasileiro, além de demonstrar o seu papel dentro do campo da sustentabilidade, sua influência na redução da emissão de gases do efeito estufa, e por fim o seu desenvolvimento no mercado brasileiro construtivo.

4 USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A seguir, serão abordados fundamentos referentes a história da madeira e sua aplicação como material construtivo no setor da construção civil.

4.1 Certificação da madeira

No Brasil, ainda se realiza a exploração da madeira por meio do desmatamento ilegal, segundo a Imazon (2022), no ano de 2021 foram contabilizados um total de 10.326km² de desmatamento na floresta amazônica entre o mês de janeiro a dezembro.

Até o ano de 2020, um total de 729.781,76 km² da Amazônia teve suas áreas devastadas, equivalente a 17% da Amazônia (INPE, 2023), tais dados retratam a importância de se adquirir a madeira certificada para que a extração da madeira seja feita de forma legal. Segundo WWF Brasil (2022), os principais causadores do desmatamento na Amazônia são a pecuária extensiva, agricultura industrial e especulação de terras.

A obtenção da madeira certificada é necessária e vantajosa para ambos os lados, no caso do bioma que vai ter sua região preservada a partir de uma exploração ecologicamente correta e para o consumidor que vai compreender a origem da extração e receber uma madeira certificada. Além disso, possuir a madeira certificada demonstra um cumprimento das regras impostas, uma preocupação e valorização com o meio ambiente (ZENID *et al.*, 2009).

A madeira pode ser obtida de duas formas, sendo a primeira com a validação da obtenção da madeira por meio do manejo florestal reconhecida pelo IBAMA, além de outros dois documentos como a nota fiscal e um documento de origem florestal. A segunda maneira é a obtenção da madeira certificada por meio da Certificação Florestal, que pode ser adquirida mediante o Sistema de Certificação Florestal Brasileiro do INMETRO ou através do Sistema do FSC (ZENID *et al.*; 2009).

Em janeiro de 2002, o sistema de certificação florestal se instalou no Brasil, completando 20 anos de operação no ano de 2022, com o objetivo de incentivar o desenvolvimento e utilização sustentável das florestas. No Brasil, do total de 8 milhões de hectares com certificação, aproximadamente 6 milhões são de áreas com florestas plantadas (FOREST STEWARDSHIP COUNCIL, 2022).

4.2 Contexto histórico do uso da madeira na construção civil

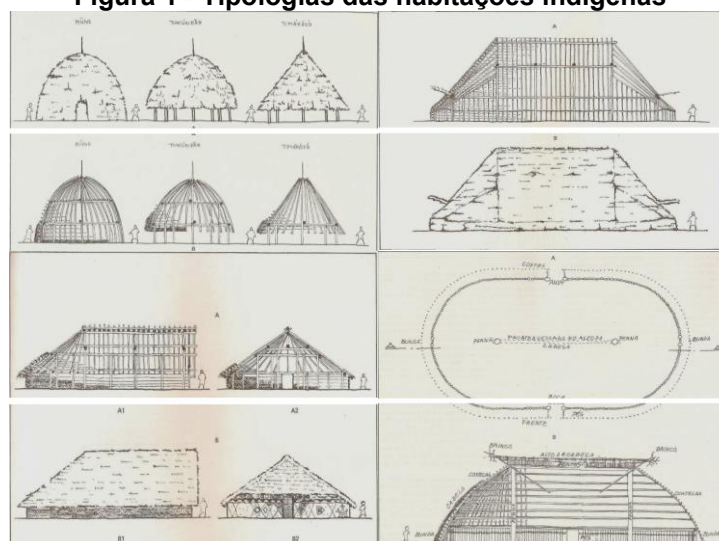
Segundo Pfeil e Pfeil (2021), possivelmente a madeira é o material construtivo existente mais antigo, em decorrência da sua presença no meio ambiente, além de ser um material que apresenta facilidade em sua utilização.

A madeira está inserida na humanidade desde os primórdios, inicialmente sendo utilizada para construções de abrigos, servindo como fonte de proteção contra as condições climáticas extremas e como lugar para preparação de alimentos. Com o decorrer do tempo, as técnicas foram sendo aprimoradas, proporcionando a civilização humana aplicar este material em diversos setores (JÚNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

A madeira foi um material bastante utilizado pelos povos indígenas no Brasil, sendo manuseada juntamente com outros tipos de materiais orgânicos de forma a suprir as necessidades habitacionais do ser humano. Com o desenvolvimento da sociedade, simultaneamente ocorreu a evolução do uso da madeira (HABOWSKI, 2018).

De acordo Almeida e Yamashita (2013), os povos indígenas apresentam uma extensa diversidade cultural, em virtude disso e também pela ausência de informações disponíveis, o estudo referente às suas particularidades e práticas habitacionais apresentam limitações. Em contrapartida, tem-se conhecimento sobre algumas tipologias que ilustram suas respectivas habitações feitas com madeira e folhas de palmeira (Figura 1).

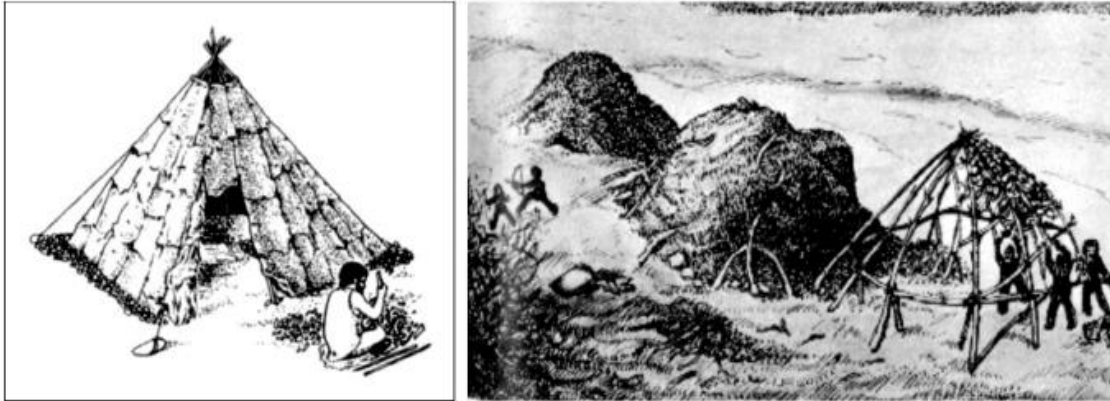
Figura 1 - Tipologias das habitações indígenas



Fonte: Adaptado de Almeida e Yamashita (2013, p.17)

A madeira começou a ser utilizada pelo homem e seu progresso se deu gradativamente, inicialmente com um trabalho mais arcaico, e em seguida, obteve-se um desenvolvimento dos métodos construtivos. Aliado com a evolução do homem, ocorreu o surgimento das habitações construídas a partir de peles de animais com pedaços de árvores, como mostradas na Figura 2 (LOURENÇO; BRANCO, 2012).

Figura 2 - Primeiras habitações em madeira



Fonte: Lourenço e Branco (2012, p.202)

A palafita era um modelo de construção utilizada como habitação ou abrigo nos tempos remotos, contendo uma estrutura constituída de madeira e coberta por palha. Um exemplo dessa habitação se encontra na Espanha na região de Galiza, possivelmente construída no período neolítico, com o objetivo de proteger a civilização contra ataques de animais e intempéries na época. Pode-se visualizar um exemplo da palafita na Figura 3 (LOURENÇO; BRANCO, 2012).

Figura 3 - Palafita na região da Galiza



Fonte: Lourenço e Branco (2012, p.203)

4.2.1 Contexto histórico do uso da madeira na construção civil no Brasil

No início, os métodos construtivos utilizados nas edificações, em sua grande maioria, eram processos mais primitivos, contendo habitações com paredes feitas a partir de pau-a-pique ou taipa-de-pilão e habitações consideradas mais relevantes eram feitas com pedra e barro. Entre 1850 e 1900, com a chegada dos imigrantes, surgiram as modificações dos processos construtivos, surgindo as habitações de tijolos com cobertura de telha Marselha, utilizando-se também da madeira em esquadrias de janelas, beirais e portas (FILHO, 2000).

Na metade do século XIX, os europeus iniciaram um movimento, apresentando seus conhecimentos construtivos e disponibilizaram diversos materiais provenientes da Europa, sendo possível em decorrência das modificações econômicas e tecnológicas, como as construções de ferrovias que puderam realizar o transporte de materiais oriundos da Europa. Além do uso da madeira em janelas, beirais, portas, forros, também começou a ser utilizada como enfeites, em pisos e em telhados. Apesar da sua constante utilização, o preconceito com o uso da madeira ainda era presente, e então somente no século XIX com o auxílio dos estrangeiros e das inovações como as ferrovias, a madeira conseguiu conquistar seu espaço (FILHO, 2000).

4.2.2 Contexto histórico do uso da madeira na construção civil no Paraná

No fim década de 1920, com a chegada dos estrangeiros no norte do Paraná, surgiram as primeiras propostas de cidades, formadas por pequenas regiões rurais. Com a vinda dos estrangeiros, sendo maioria italianos, japoneses e de brasileiros, como nordestinos e mineiros, origina-se o processo de construções de sítios, fazendas de café e devastações em florestas. Com o desenvolvimento dessas construções, concomitantemente surgiram as edificações em madeira, com especificações construtivas diferentes, de acordo com os princípios estabelecidos de cada civilização (ZANI, 2013).

Em 1930, na arquitetura origina-se uma nova fase, denominada “Terra da Promissão”, em que se refere as edificações de regiões rurais e urbanas que eram predominantemente construídas em madeira. Tal movimento prosseguiu até 1970 de modo a trazer um marco significativo para a arquitetura local. Entre 1940 até o fim de 1960, inicia-se uma segunda fase, chamada de “Eldorado”, representando um

aperfeiçoamento da madeira em questões de qualidade e técnicas construtivas. É nesse período que ocorreu a junção de ideias, tanto dos migrantes e imigrantes, em que compartilharam conhecimento dos detalhes das edificações em madeira, proporcionando uma arquitetura com grande potencial construtivo (ZANI, 2013).

O uso da madeira como material construtivo em edificações se estendeu ao longo de 40 anos, estando bem presente em habitações na região do Norte do Paraná. Na época, apesar da falta de progresso em termos exploratórios e tecnológicos desse mecanismo construtivo, em contrapartida, suas vantagens eram visíveis, como suprimento da demanda das civilizações, além de exigir um pequeno custo e gerar uma arquitetura única naquela época (ZANI, 2013).

Os tipos de madeira mais vigentes no século XX no Norte do Paraná foram a madeira de *Pinho Araucária angustifolia* na região Sul, Centro Oeste e Oeste, já no Norte, Noroeste e uma parte da região Oeste e Sudoeste teve como predominância a madeira *Peroba-rosa Aspioderma polyneuron* (ZANI, 2013).

Embora as edificações em madeira serem frequentes em inúmeras regiões, no decorrer do tempo, surgiram regulamentos proibindo sua utilização. Em 1905, ocorreu a criação de uma lei que desautorizava a construção de habitações em madeira em diversas cidades, como por exemplo em Curitiba- PR, ruas como a XV de Novembro, Barão do Rio Branco e Praça Tiradentes e a cidade de Londrina – PR estavam desautorizadas de possuírem edificações em madeira (ZANI, 2013). Na Figura 4, pode-se visualizar uma habitação em madeira no ano de 1953 localizada na cidade de Curitiba – PR.

Figura 4 - Habitação de madeira (Curitiba)



Fonte: Peter Scheier. (apud Zani, 2013, p. 12)

Na Figura 5, pode-se visualizar várias habitações em madeira no ano de 1936 localizada na cidade de Londrina – PR.

Figura 5 - Habitações de madeira (Londrina)



Fonte: Acervo Museu Histórico Padre Carlos Weiss. (apud Zani, 2013, p. 14)

As implementações dessas restrições atingiram praticamente todas as cidades do estado Paraná, impedindo que as casas fossem construídas com madeira, em decorrência das autoridades considerarem que essas edificações eram antigas e que simbolizavam uma falta de desenvolvimento das cidades, supondo que as edificações feitas com alvenaria representavam cidades mais avançadas (ZANI, 2013).

4.3 Contexto internacional do uso da madeira na construção civil

Segundo Young (2009), na Europa em meados do século X até XVIII, a madeira foi largamente utilizada em construções de edifícios e equipamentos, atingindo seu ápice no decorrer do século XVI. Em seguida, houve um declínio em decorrência da limitação em seu acesso por consequência do aumento da produção agrícola nas terras. Em função dessa diminuição no continente europeu ocorreu o aumento da utilização da madeira na América do Norte.

Desde os primórdios, a madeira vem sendo utilizada como material construtivo, como registros de construções de trenós em madeira no norte da Europa em 7000 a.C, e na América do Norte no século XIX utilizando a madeira como combustível para o transporte ferroviário, trazendo ao continente naquela época a predominância do uso da madeira como material energético (YOUNG, 2009). Com o decorrer dos anos, de acordo com o Canadian Wood Council (2002), a América do Norte se tornou referência em construções em madeira em decorrência da mão de

obra especializada nesse tipo de construção, envolvida por conhecimento e qualificação em construções nesses modelos de habitações.

Entre os anos 1990 e 1999, em decorrência de um aumento da procura mundial, houve um aumento de 3,4% das exportações do Brasil de madeiras provenientes de reflorestamento, como pinus e eucalipto. Apesar do aumento das exportações do Brasil para o comércio internacional na época, surgiram empecilhos em decorrência do tamanho da empresa responsável pela exportação, no caso era realizada por empresas de pequeno e médio porte (RAIMUNDO, 2001).

De acordo com Hetemäki *et al.* (2017), de 8 a 10% das residências planejadas para uma única família na União Europeia são construídas com algum elemento de madeira, enquanto nos países nórdicos esse número representa mais de 80%, conforme Pousette *et al.* (2012), os países nórdicos tiveram início nas construções em madeira em habitações residenciais de pequeno porte e depois evoluíram para edifícios de grande porte.

4.3.1 Edifícios em madeira do mundo

De acordo com Abrahamsen (2018), a Torre *Mjøstårnet* se tornou o edifício de madeira mais alto do mundo no ano de 2018. A edificação de 18 andares possui 85,4 metros de altura e está localizado na cidade de Brumunddal na Noruega (Figura 6).

Figura 6 - Torre *Mjøstårnet* (Noruega)



Fonte: Moelven (2023)

De acordo com Abrahamsen (2018), o edifício *Mjøstårnet* conta com 32 apartamentos, 72 quartos de hotel, salas, escritórios, cafeteria, restaurante, etc. A maioria das peças em madeira utilizadas na construção da Torre *Mjøsa* são oriundas de florestas sustentáveis. Nas escadas e nas sacadas foram utilizadas madeira lamelada colada cruzada e nas lajes optou-se por a utilização de LVL. A madeira lamelada colada utilizada nas estruturas de cobertura foi produzida em uma fábrica de MLC, e o edifício está localizado na margem do maior lago da Noruega, o lago *Mjøsa* (Figura 7).

Figura 7 - Torre *Mjøstårnet* na margem do lago *Mjøsa*



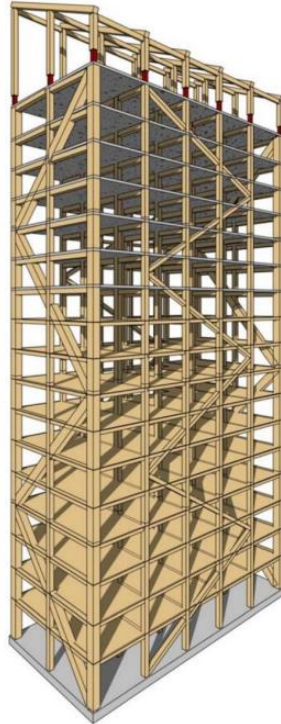
Fonte: Archdaily (2020)

Segundo Abrahamsen (2017) o prédio em sua totalidade contém em média 2600m^3 de estrutura de madeira. As estruturas dos elevadores e escadas são construídas em madeira lamelada colada cruzada e para as ações de vento e terremoto foram utilizados contraventamentos em madeira lamelada colada em todas as fachadas do edifício, além de colunas e vigas internas também em MLC (Figura 8).

As quatro colunas dos cantos do edifício possuem seção transversal $1.485\text{ mm} \times 625\text{ mm}$ enquanto as colunas internas possuem uma seção transversal de $725\text{ mm} \times 810\text{ mm}$ e $625\text{ mm} \times 630\text{ mm}$. No edifício, do segundo andar ao décimo primeiro as lajes são em madeira, em contrapartida, do décimo segundo andar ao décimo oitavo foram utilizadas lajes de concreto, para adição de peso no topo da estrutura. Para a sustentação da laje de madeira, foram utilizadas vigas de madeira lamelada colada de seção transversal $395\text{ mm} \times 585\text{ mm}$ e $395\text{ mm} \times 675\text{ mm}$,

enquanto que para as lajes de concreto, optou-se pela utilização de vigas de madeira lamelada colada de seção transversal 625mm x 585 mm e 625mm x 720 mm (ABRAHAMSEN, 2017).

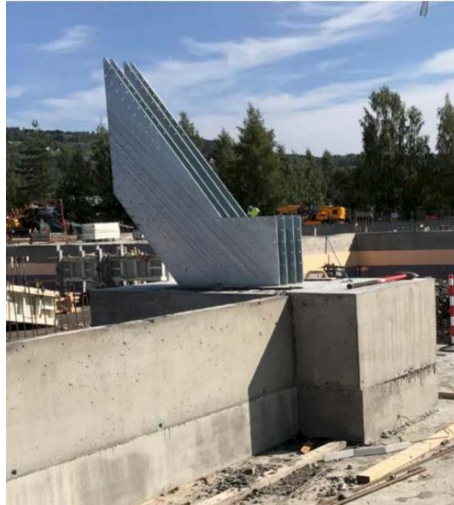
Figura 8 - Elementos estruturais em *Mjøstårnet*



Fonte: Abrahamsen (2017, p.4)

Em relação aos seus componentes, em todas as peças em madeira lamelada colada foram utilizadas chapas metálicas e pinos de aço (S355) em suas conexões, na Figura 9 pode-se observar detalhes da conexão utilizada para receber a coluna de canto do edifício. No cálculo do dimensionamento estrutural, as classes de resistências utilizadas nas peças de madeira lamelada colada foram de GL30c e GL30h seguindo a norma europeia EN 14080:2013 e para as peças de madeira lamelada colada cruzada uma resistência característica à flexão de 24MPa (ABRAHAMSEN, 2017). Segundo Ferreira (2017), a classe de resistência GI30c se refere à uma resistência à flexão de 30 MPa para madeira lamelada colada combinada e para GL30h uma resistência à flexão de 30MPa para madeira lamelada colada homogênea. De acordo com Carvalho (2008), a madeira lamelada colada combinada é formada por lamelas de espécies diferentes ou classes de resistências diferentes, em contrapartida, a madeira lamelada colada homogênea é formada por lamelas de espécies iguais ou classes de resistências iguais.

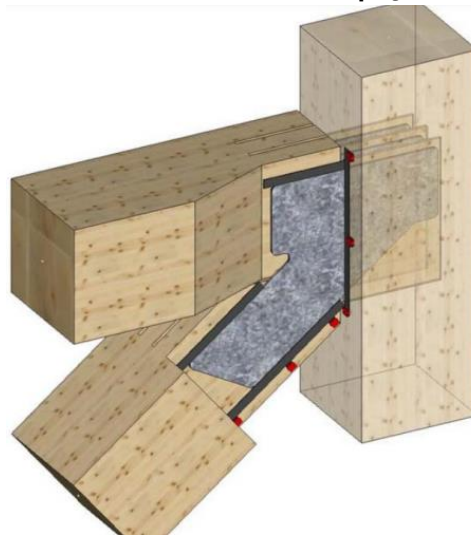
Figura 9 - Detalhe da conexão na coluna de canto



Fonte: Abrahamsen (2017, p.5)

De acordo com Abrahamsen (2017), no projeto de incêndio, o mesmo foi desenvolvido para que o prédio em seu sistema principal resista a 120 minutos de incêndio, e para partes mais secundárias, como as lajes, devem suportar 90 minutos de incêndio, além disso outra medida adotada para a proteção contra incêndio foi o embutimento de 85mm de chapas metálicas e pinos de aço nas conexões das peças em madeira (Figura 10).

Figura 10 - Detalhe da conexão das peças em madeira



Fonte: Abrahamsen (2017, p.6)

Pode-se observar mais detalhes do embutimento das chapas metálicas e pinos de aço nas peças em madeira na Figura 11.

Figura 11 - Embutimento de chapa metálica e pino de aço na madeira



Fonte: Moelven (2018)

Para a montagem do prédio *Mjøstårnet*, foram utilizados em sua maioria peças pré-fabricadas, e sua instalação foi feita com o auxílio de guindaste de torre e elevadores (Figura 12), conforme Abrahamsen (2018).

Figura 12 - Peças pré-fabricadas para a construção de *Mjøstårnet*



Fonte: Moelven (2018)

Na figura 13, pode-se visualizar mais detalhes do uso de elevadores e guindaste de torre para a montagem das estruturas em *Mjøstårnet*.

Figura 13 - Uso de elevadores e guindaste de torre



Fonte: Moelven (2018)

Para proteção da madeira contra às intempéries durante a fase de construção, as peças em MLC foram revestidas com verniz, para colunas no piso na parte térrea foi aplicada resina epóxi, e em relação a umidade, foi realizado um controle de medição e acompanhamento do seu teor em algumas seções das estruturas de madeira (ABRAHAMSEN, 2017).

Segundo a Construction Review Online (2023), o edifício *Tall Wood Residence* de 18 andares localizado no Canadá na cidade de Vancouver se tornou o segundo edifício em madeira mais alto do mundo após sua conclusão no ano de 2017, (Figura 14).

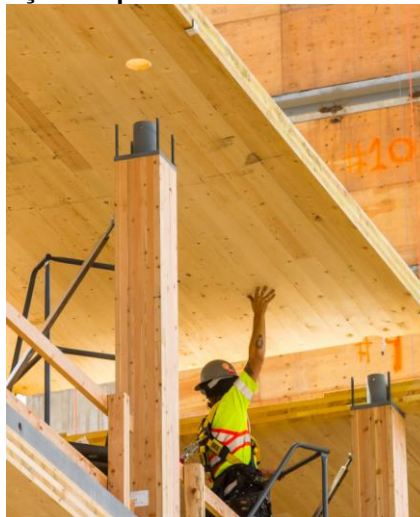
Figura 14 - Tall Wood Residence (Canadá)



Fonte: Habitat4D (2022)

De acordo com o Canadian Wood Council (2018), o edifício *Tall Wood* de 54 metros de altura, possui apartamentos, espaços de lazer, salas de reunião e de estudo, acomodando mais de 404 alunos. A residência estudantil foi o primeiro prédio de 18 andares do mundo que utilizou como material construtivo a madeira, o aço estrutural e o concreto armado. O prédio é composto por painéis de pisos de madeira lamelada colada cruzada conforme apresentado na Figura 15, que se apoiam em colunas de madeira lamelada colada utilizando o aço em suas conexões. Na parte da fundação, o edifício se apoia em sapatas de concreto armado e em laje radier.

Figura 15 - Instalação do piso de madeira lamelada colada cruzada



Fonte: Naturally Wood (2023)

De acordo com Pilon *et al.* (2017), na cobertura, o telhado é formado por vigas de aço apoiadas em colunas de madeira lamelada colada e decks de aço, (Figura 16). Segundo Canadian Wood Council (2018), em sua totalidade, *Tall Wood* contém 2233m³ de estrutura de madeira.

Figura 16 - Estrutura do telhado em *Tall Wood*



Fonte: Pilon *et al.* (2017, p.20)

De acordo com o Naturally Wood (2023), o prédio contém 2 núcleos de concreto que contemplam as escadas, elevadores e área de serviço (Figura 17).

Figura 17 - Núcleo de concreto no edifício *Tall Wood*



Fonte: Naturally Wood (2023)

No edifício, as colunas de madeira lamelada colada do segundo andar até o nono andar possuem seção transversal de 265mm x 265 mm e do décimo andar em diante composto por colunas de seção transversal de 265mm x 215mm (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2018). Para a validação da viabilidade do projeto, foi construída uma maquete em escala real de 2 andares, conforme pode ser visualizada na Figura 18, para avaliação da construção do conjunto estrutural híbrido do edifício, além do estudo das conexões a serem utilizadas entre os pisos e colunas, entre o núcleo de concreto e os painéis em madeira lamelada colada cruzada, e por fim entre os painéis externos envelopados e os painéis em madeira lamelada colada cruzada (PILON; UTIMATI; JIN, 2016).

Figura 18 - Maquete em escala real no edifício *Tall Wood*



Fonte: Pilon, Utimati e Jin (2016, p.11)

Segundo Canadian Wood Council (2018), as paredes externas do edifício são compostas por painéis de aço contendo revestimento de gesso, placa de lã de rocha e painéis laminados com 70% de fibras à base de madeira e de resina (Figura 19).

Figura 19 - Painel externo do edifício *Tall Wood*



Fonte: Canadian Wood Council (2018, p.27)

A sequência da montagem dos painéis na fábrica se iniciou com as vigas de aço, em seguida foi colocado o revestimento de gesso acompanhada de uma camada de lã de rocha, após isso os painéis laminados contendo fibra de madeira e por fim as janelas, pode-se observar mais detalhes do painel envelopado utilizado na fachada do edifício na Figura 20 (PILON *et al.*, 2017).

Figura 20 - Detalhes do painel externo



Fonte: Canadian Wood Council (2018, p.29)

Para a montagem do prédio, os elementos em madeira e os painéis revestidos externamente foram pré-fabricados e guardados fora do local da obra. Em relação a umidade, foram aplicados revestimento resistentes no processo de fabricação da madeira de forma a garantir sua proteção contra umidade (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2018). De acordo com Pilon *et al.* (2017), a princípio, as conexões de aço utilizadas nas colunas de madeira seriam instaladas somente no local da obra, porém, a partir dos resultados obtidos com a construção da maquete em escala real, os projetistas decidiram que as conexões seriam inclusas na fábrica juntamente com as colunas pré-fabricadas, conforme Figura 21.

Figura 21 - Conexões de aço nas colunas



Fonte: Pilon *et al.* (2017, p.14)

Na figura 22, é possível visualizar detalhes da instalação da coluna contendo a conexão em aço anteriormente citada no piso em madeira lamelada colada cruzada.

Figura 22 - Instalação da coluna no piso em madeira



Fonte: Pilon et al. (2017, p.17)

No projeto de incêndio, optou-se por revestir a madeira com no mínimo três camadas de gesso acartonado, garantindo uma proteção contra incêndio de 90 minutos. A proteção do edifício oferecida pelo projeto contra incêndio e pelo projeto estrutural do edifício com sistema estrutural híbrido foi considerado por especialistas equivalente ou superior ao um prédio incombustível, como por exemplo prédios de concreto ou de aço. No campo da sustentabilidade, o total de carbono fixado nas madeiras utilizadas no edifício estudantil *Tall Wood* foram de 1.753 toneladas de CO₂, em relação as emissões de gases do efeito estufa que foram evitadas representaram cerca de 679 toneladas de CO₂, no total, essas emissões são equivalentes à 511 carros fora das estradas durante o período de um ano (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2018).

A seguir, o edifício *The Tree* de 49 metros de altura e 14 andares localizado na Noruega na cidade de Bergen (CONSTRUCTION REVIEW ONLINE, 2023), que segundo *The Norwegian American* (2016), foi considerado o edifício em madeira mais alto no mundo em 2016 (Figura 23).

Figura 23 - *The Tree* (Noruega)



Fonte: Treet (2015)

De acordo com Abrahamsen (2015), o edifício *The Tree* possui em seu total 62 apartamentos que são formados por módulos de construção, feitos de estrutura de madeira. A fachada é composta por treliças de madeira lamelada colada, aço e vidro, nas paredes, nas escadas e elevadores optou-se pela madeira lamelada colada cruzada, enquanto que o concreto foi o escolhido para construção de dois decks internos e o deck do telhado.

Os módulos de construção pré-fabricados são dispostos em no máximo de 4 em 4 andares e podem ser visualizados na Figura 24, a partir das divisões dos níveis, têm-se o nível 1 ao 4, nível 5, nível 6 ao 9, nível 10 e nível 11 ao 14. Os níveis 1 ao 4 descansam em uma garagem de concreto, enquanto que o nível 5 e 10 são formados por treliças em madeira lamelada colada e por uma laje de concreto, na qual foi construída respectivamente para sustentação dos níveis acima e adição de peso à estrutura do edifício (Abrahamsen, 2015).

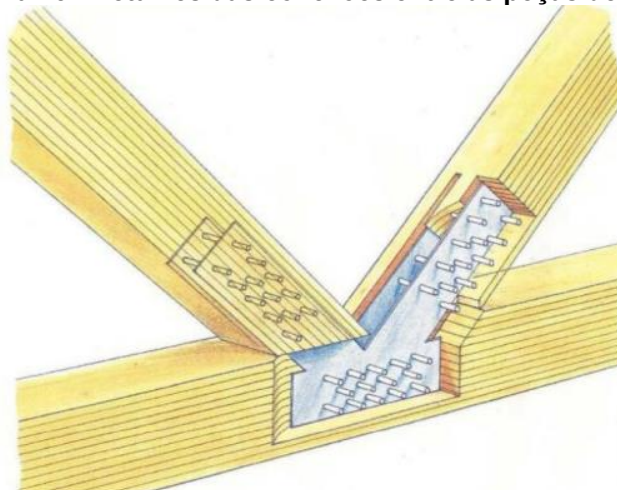
Figura 24 - Módulos de construção do edifício *The Tree*



Fonte: Abrahamsen (2015, p.4)

Segundo Abrahmsen (2015), as colunas do edifício possuem seção transversal de 405mm x 650mm e 495mm x 495 mm, e para as peças nas diagonais uma seção transversal de 405mm x 405mm. Para o dimensionamento estrutural, as classes de resistências escolhidas para a madeira lamelada colada foi de GI30c e GL30h seguindo a norma europeia EN1480:2013, e para as peças em madeira lamelada colada cruzada uma resistência característica à flexão de 24MPa. Em relação as conexões, todos os elementos em madeira foram conectados por chapas metálicas e pinos de aço, sendo o escolhido o aço S355 galvanizado (Figura 25).

Figura 25 - Detalhes das conexões entre as peças de madeira



Fonte: Abrahamsen (2015, p.5)

Na figura 26, é possível observar mais detalhes das conexões entre as peças de madeira utilizadas para construção do edifício *The Tree* (Directorio Forestal Maderero, 2017).

Figura 26 - Conexões nos elementos em madeira



Fonte: Directorio Forestal Maderero (2017)

Para o projeto de incêndio, foi determinado que o sistema principal de suporte de carga e os módulos pré-fabricados devem suportar 90 minutos de incêndio, e 60 minutos para o sistema secundário (ABRAHMSSEN, 2015).

Para a montagem, em sua grande maioria foram utilizados materiais pré-fabricados com o auxílio de guindaste de torre e andaimes para sua instalação, conforme pode ser visto na Figura 27. Devido a localização do edifício próxima ao mar, a passagem dos módulos pré-fabricados dos cargueiros foi de fácil acesso para o canteiro de obra (ABRAHMSSEN, 2015).

Figura 27 - Uso de guindaste de torre para instalação dos módulos pré-fabricados



Fonte: Abrahamsen (2015)

Além do uso de guindaste de torre, a construção do edifício contou com o auxílio de andaimes em toda a extensão da edificação, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Uso de andaimes na construção da edificação



Fonte: UrbanNext (2023)

Na sequência, o edifício *Dalston Lane* considerado em 2017 a maior estrutura de madeira lamelada colada cruzada do mundo, utilizando ao total 4500m³ de estrutura de madeira (COI, 2017). De acordo com a Construction Review Online (2023), o edifício é considerado um dos edifícios em madeira mais altos do mundo, com sua localização no Reino Unido na cidade de Londres. Segundo B&K Structures (2018), *Dalston Lane* possui 33,8 metros de altura, 10 andares e 121 unidades residenciais, com todas as paredes (centrais, laterais, externas), pisos e escadas construídos com madeira lamelada colada cruzada. Além do uso da MLCC, o edifício utiliza tijolos em sua fachada para referenciar casas vitorianas e eduardianas, (Figura 29).

Figura 29 - Dalston Lane (Reino Unido)



Fonte: B&K Structures (2018, p.3)

De acordo com ArchDaily (2018), todo o edifício *Dalston Lane* é feito de madeira lamelada colada cruzada, sendo entregue em apenas 18 meses, em decorrência da sua montagem ter sido feita com painéis em MLCC pré-fabricados, (Figura 30).

Figura 30 - Painéis em madeira lamelada colada cruzada



Fonte: ArchDaily (2018)

Na figura 31 é apresentado um desenho em 3D que representa toda a estrutura em madeira lamelada colada cruzada utilizada na construção do edifício.

Figura 31 - Estrutura em MLCC em *Dalston Lane*



Fonte: Waugh Thistleton Architects (2023)

O maior desafio encontrado na construção de *Dalston Lane* foi a sua proximidade com uma ferrovia, portanto descartou-se o uso de estacas na fundação. A solução encontrada foi a adoção de um material de construção leve, dessa forma, a madeira lamelada colada cruzada para construção da edificação (BK STRUCTURES, 2018). Para a fundação, optou-se por fundação de concreto (Figura 32).

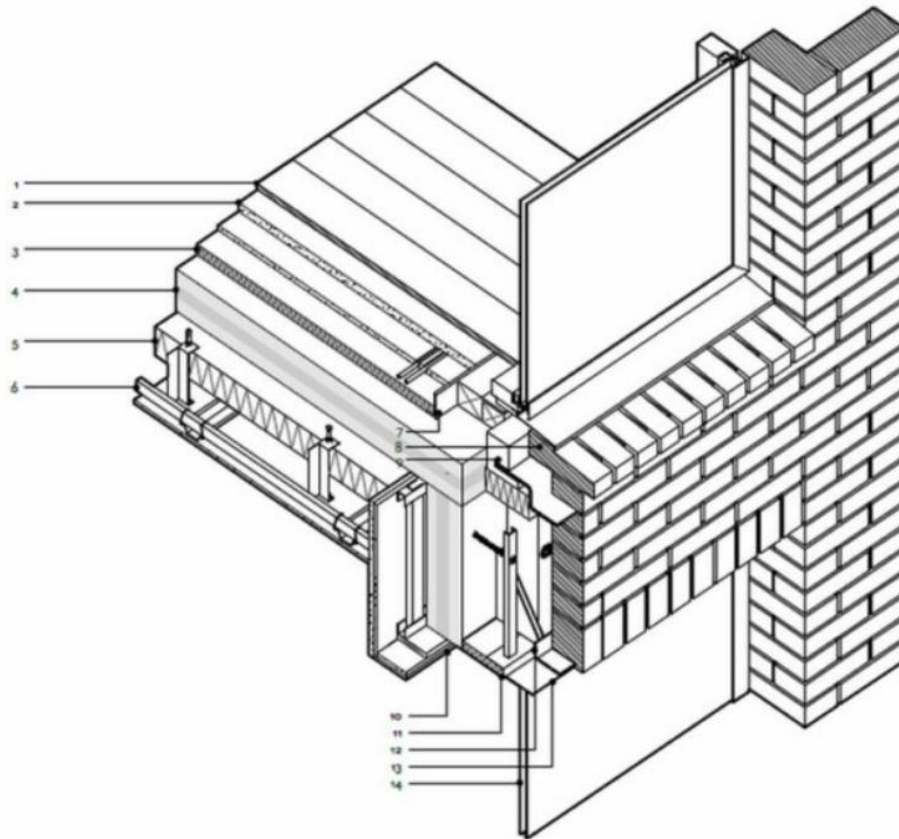
Figura 32 - Protótipo estrutural de *Dalston Lane*



Fonte: Harley et al. (apud Ying Liu et al, 2016, p.3)

Na figura 33, pode-se observar alguns detalhes construtivos da estrutura do edifício *Dalston Lane*.

Figura 33 - Detalhes construtivos de *Dalston Lane*

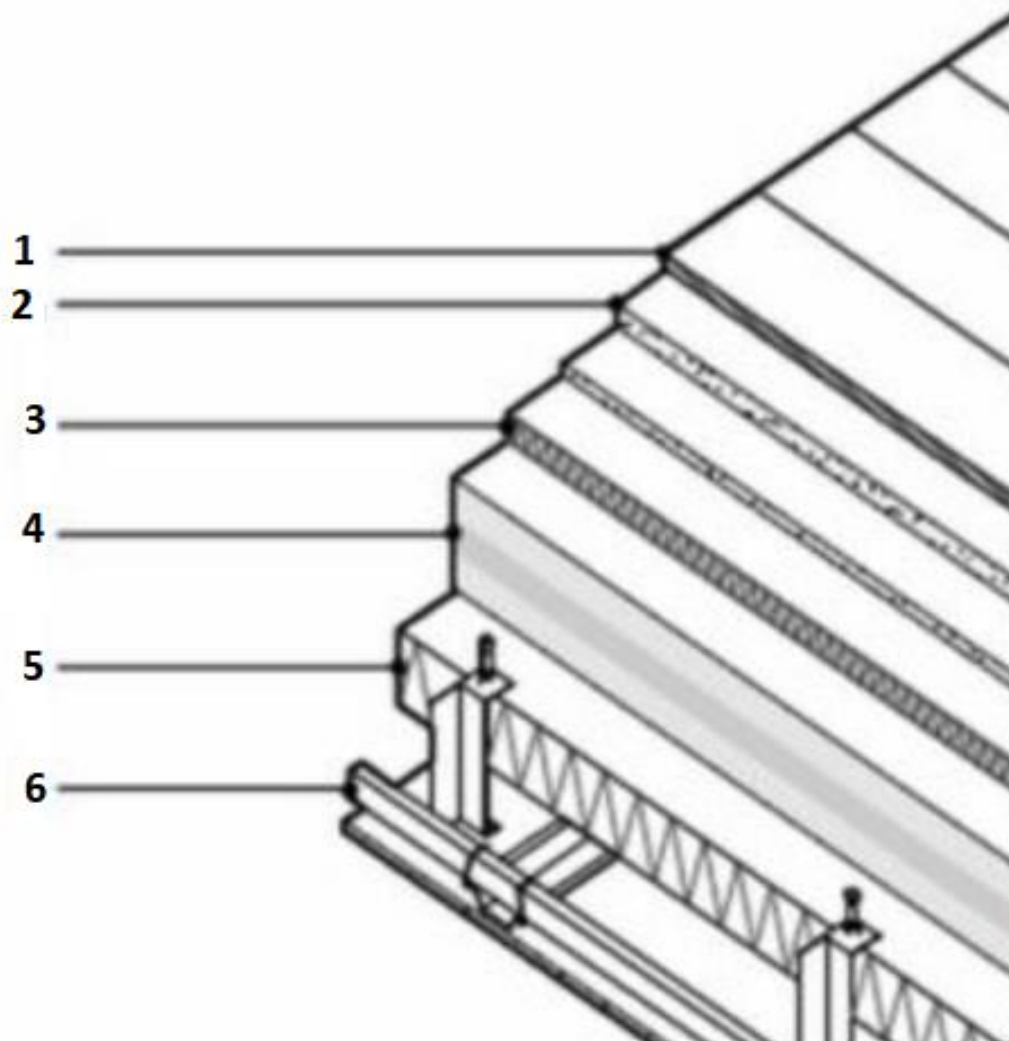


Fonte: Het Houtblad (2017)

A seguir, as identificações dos números apresentados na Figura 34, referentes aos detalhes do piso do edifício *Dalston Lane*, de acordo com Het Houtblad (2017).

- Número 1: soalho;
- Número 2: piso de cimento + piso aquecido;
- Número 3: isolamento acústico;
- Número 4: madeira lamelada colada cruzada de 100mm de espessura;
- Número 5: isolamento com lã mineral de 50mm de espessura;
- Número 6: gesso acartonado de 12,5mm de espessura.

Figura 34 - Detalhes construtivos do piso do edifício

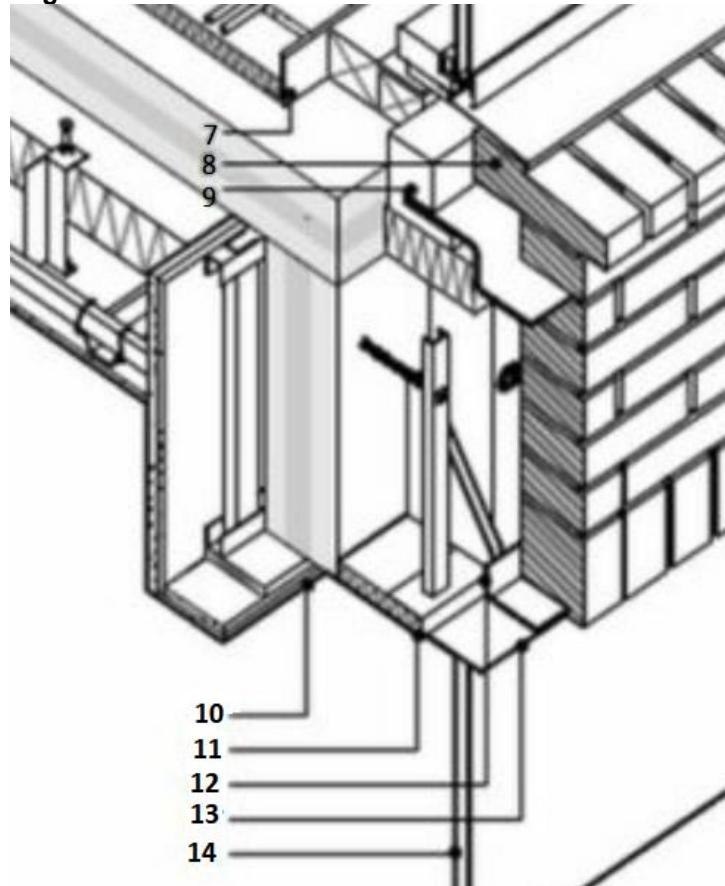


Fonte: Adaptado de Het Houtblad (2017)

Na sequência, as identificações dos números 7 a 14, referentes aos detalhes construtivos da fachada do edifício (Figura 35), de acordo com Het Houtblad (2017).

- Número 7: viga lateral;
- Número 8: peitoril;
- Número 9: peitoril de aço;
- Número 10: 2 placas de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura;
- Número 11: fechamento de cavidade resistente ao fogo;
- Número 12: suporte de aço;
- Número 13: chumbo de junta de alumínio;
- Número 14: janela madeira-alumínio;

Figura 35 - Detalhes construtivos da fachada do edifício



Fonte: Adaptado de Het Houtblad (2017)

Conforme Schuler (2018), os painéis de parede possuem de 4 a 5,5 polegadas de espessura e os painéis utilizados no piso de 4 a 8,8 polegadas de espessura. Para a proteção do edifício contra incêndio, as paredes e o teto da parte interna da edificação são revestidos com gesso acartonado enquanto que para a parte externa optou-se por isolamento laminado de 4,3 polegadas e alvenaria em tijolos. Na Figura 36, a estrutura interna do edifício formada com painéis em madeira lamelada colada cruzada.

Figura 36 - Parte interna da edificação



Fonte: Merrick (2017)

Na Figura 37, visualiza-se que o edifício foi construído em cima de estruturas de concreto no piso térreo.

Figura 37 - Estruturas de concreto no piso térreo



Fonte: Ravenscroft (2017)

Na Figura 38, é possível observar que a construção do edifício em madeira lamelada colada cruzada teve início a partir do primeiro andar.

Figura 38 - Estrutura da edificação de *Dalston Lane*



Fonte: Pringuer James Consulting Engineers (2021)

Toda a estrutura em madeira do edifício *Dalston Lane* armazenou cerca de 3.756 toneladas de dióxido de carbono, este número equivalente às emissões liberadas por 1.703 carros durante o período de um ano. Além disso, houve uma redução de 589 entregas de materiais no canteiro de obra, quando comparado à uma edificação de concreto. Caso a edificação tivesse utilizado concreto ao invés da madeira lamelada colada cruzada, só seria possível a construção de 106

apartamentos, ao invés de 121 apartamentos construídos (B&K STRUCTURES, 2018). Conforme afirma Coi (2017), aproximadamente 2.325 árvores foram utilizadas para construção da estrutura de madeira do edifício, oriundas de florestas da Áustria e da Alemanha.

Por último, o edifício *Forté* (Figura 39) localizado na Austrália na cidade de Melbourne, com 32,2 metros de altura e 10 andares, concluído no ano de 2012 em apenas 11 meses e após sua conclusão considerado o prédio mais alto em madeira lamelada colada cruzada do mundo (THE B1M, 2017).

Figura 39 - Forté (Austrália)



Fonte: Architecture & Design (2014)

O edifício *Forté* é feito com madeira lamelada colada cruzada, sendo o primeiro edifício na Austrália a ser construído em MLCC (WOODSOLUTIONS, 2014), contendo 23 apartamentos em seu total (ARCHITECTURE&DESIGN, 2014). De acordo com Wood Solutions (2014), sua fachada é composta por painéis de compostos de alumínio e madeira reciclada. O prédio conta com 759 painéis em MLCC pré-fabricados, com peso total de 485 toneladas, utilizados em paredes, pisos, sacadas, coberturas, escadas e elevadores, em contrapartida, para o piso térreo e laje do primeiro andar foi utilizado concreto, segundo Think Wood (2013), uns dos motivos pela escolha da do uso do concreto foi promover uma barreira entre a madeira e o chão para evitar os ataques de cupins na madeira, (Figura 40).

Figura 40 - Estrutura em MLCC e concreto do edifício *Forté*



Fonte: Think Wood (2013)

A edificação é composta em sua maioria com madeira lamelada colada cruzada, porém, há outros tipos materiais construtivos existentes, a fundação e o térreo utilizam concreto armado, vidros e esquadrias de alumínio formam as janelas e para o acabamento interno do edifício, optou-se por revestir as paredes e teto com gesso acartonado (DURLINGER; CROSSIN; WONG, 2013). Para a construção da laje, a madeira foi a escolhida, ao invés de utilizar concreto pré-moldado ou vigas de aço estrutural (RESILMOUNT, 2023). Na Figura 41, os detalhes da edificação interna antes e depois do revestimento de gesso nas paredes e teto (WOOD SOLUTIONS, 2014).

Figura 41 - Detalhes da edificação interna



Fonte: Wood Solutions (2014, p.20)

Em relação as conexões, as peças em madeira foram conectadas com parafusos e cantoneiras metálicas, totalizando em 34.550 parafusos e 5.500 cantoneiras. A montagem da estrutura de madeira teve início nos núcleos das escadas

e dos elevadores centrais, em seguida, as paredes internas e externas, e por fim os pisos, conforme Wood Solutions (2014). Embora o esperado seja os núcleos dos elevadores e de escadas de concreto, as construções destes componentes foram em madeira lamelada colada cruzada, sendo construídos em caixas duplas (Figura 42). Toda estrutura em madeira foi montada em 38 dias úteis com uma mão de obra de apenas 6 trabalhadores (THINK WOOD, 2013).

Figura 42 - Caixas duplas dos núcleos de elevadores e escadas

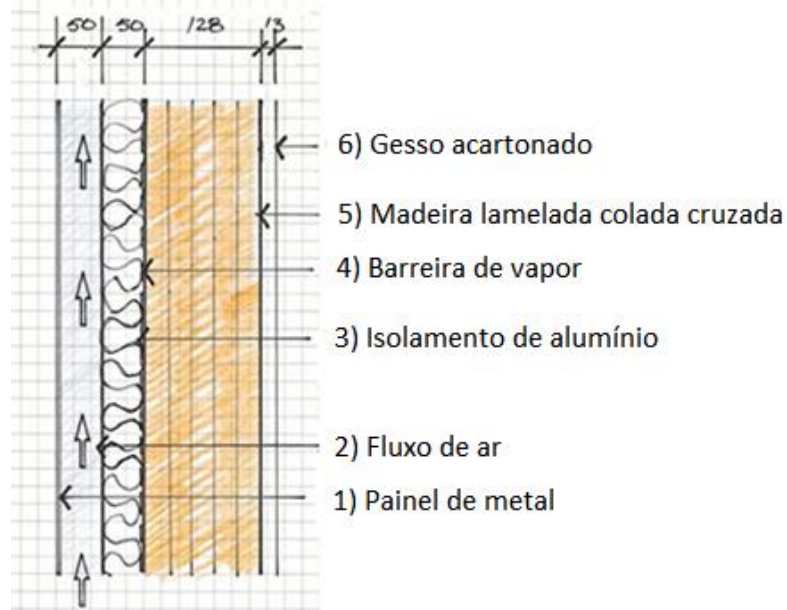


Fonte: Think Wood (2013)

Na Figura 43 os detalhes construtivos da fachada da edificação, de acordo com Think Wood (2013):

- Número 1: painel de metal;
- Número 2: fluxo de ar em uma camada de 50mm;
- Número 3: isolamento de alumínio em uma camada de 50mm;
- Número 4: barreira de vapor;
- Número 5: madeira lamelada colada cruzada com espessura de 128mm;
- Número 6: gesso acartonado com espessura de 13mm;

Figura 43 - Detalhes construtivos da fachada do edifício *Forté*



Fonte: Adaptado de Think Wood (2013)

No projeto de incêndio, determinou-se por revestir os painéis com gesso acartonado. Os painéis da parede de 128mm de espessura geralmente possuem duas camadas de gesso acartonado de 13mm em cada lado, e para os painéis de 146mm de espessura que compõem os pisos da edificação, duas camadas de gesso acartonado de 16mm em cada lado (WOODSOLUTIONS, 2014).

Os painéis utilizados na estrutura da edificação foram fabricados na Áustria, e em seguida foram transportados para Melbourne por meio de navios porta-contêineres (DURLINGER; CROSSIN; WONG, 2013). Na Figura 44, o içamento de um dos painéis em MLCC para o canteiro de obra do edifício *Forté*.

Figura 44 - Içamento do painel em madeira lamelada colada cruzada



Fonte: Durlinger, Crossin e Wong (2013, p.6)

De acordo com Wood Solutions (2023), o edifício *Forté* trouxe benefícios para o meio ambiente, em termos de emissões de gases do efeito estufa, a estrutura em madeira absorveu cerca de 761 toneladas de dióxido de carbono. De acordo com Architecture & Design (2014), se a cada ano, 2% das habitações na Austrália fossem construídas com madeira lamelada colada cruzada, isso seria equivalente a retirada de 19.174 de carros na rua durante o período de um ano.

4.4 Vantagens do uso da madeira como material construtivo

4.4.1 Sustentabilidade

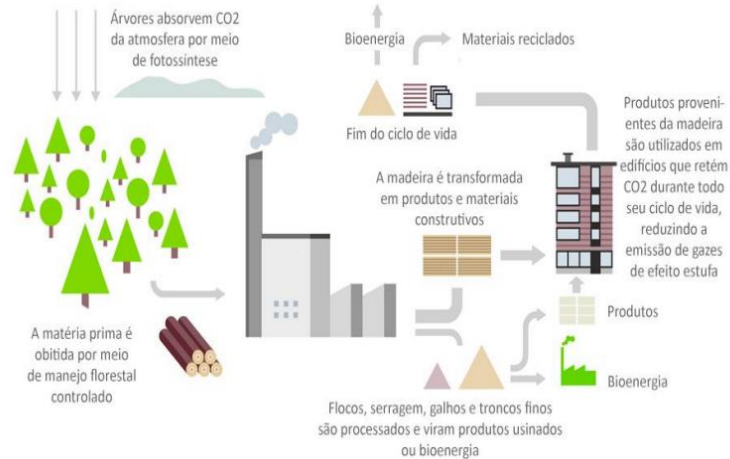
“Sustentabilidade se relaciona à quantidade do consumo que pode continuar indefinidamente sem degradar os estoques de capital total, que é representada pela soma de capital material (manufaturado, feito pelo homem), capital humano e capital natural” (MIKHAILOVA, 2004). De acordo com Brundtland *et al.* (1991), desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que supre as necessidades das gerações atuais sem prejudicar as gerações do futuro.

O setor florestal está diretamente relacionado com o desenvolvimento sustentável do meio ambiente, segundo Ibá (2021), pode-se dizer que as atividades florestais para uso industrial no Brasil se definem como a bioeconomia do país, tendo como característica um setor inovador e sustentável. As florestas contribuem significativamente nas reduções dos impactos gerados pelas alterações climáticas, por meio do carbono estocado nas florestas e do carbono armazenado em materiais de origem florestal. Outro segmento que exerce um papel importante nessa caminhada, é a construção com madeira engenheirada, à medida que armazena dióxido de carbono nas florestas e mantém armazenado por muito tempo ao longo da construção.

A madeira desempenha uma função importante para o equilíbrio do meio ambiente, seja na sua utilização em materiais no mercado da construção civil ou para bens de consumo, como por exemplo os móveis (GIORGI; QUIRINO; MEIRELLES, 2020). Na Figura 45, é possível comprovar a eficiência e a potencialidade da madeira, ao passo que o CO₂ presente na atmosfera é absorvido pelas árvores para o seu crescimento, em seguida é realizada a extração da madeira por meio de um controle de manejo florestal, após isso a madeira pode ser transformada em produtos para fins

construtivos ou utilizado no campo da bioenergia, e no fim do seu ciclo, pode ser reciclada ou destinada novamente para fins energéticos.

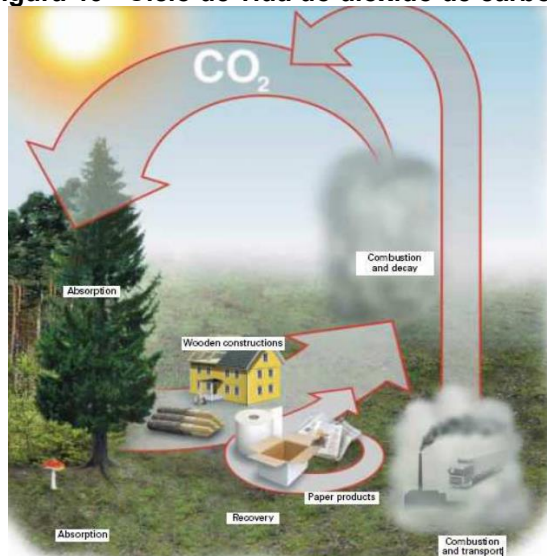
Figura 45 - Ciclo de vida da madeira



Fonte: Metsä Wood. (apud Giorgi; Quirino e Meirelles, 2020, p.9.764)

A indústria em seu processo de combustão e na fase de transporte emitem significativas concentrações de dióxido de carbono, contribuindo consideravelmente para o aquecimento global. Essas emissões são neutralizadas a partir da assimilação do dióxido de carbono pelas árvores em seu processo de fotossíntese. Produtos florestais madeireiros são utilizados em construções de edificações ou para consumo dos indivíduos, como os produtos de papéis. Esses produtos de forma geral mantêm o carbono estocado no material desde que não haja a sua queima ou degradação (Figura 46).

Figura 46 - Ciclo de vida do dióxido de carbono



Fonte: Marques (2008, p.51)

O setor florestal, além de contribuir com a sustentabilidade, exerce um importante papel no desenvolvimento econômico do país. De acordo com Ibá (2021), o segmento florestal, especificamente no setor de florestas plantadas ocupou o vigésimo segundo lugar no ranking de atividade que mais contribuiu para o produto interno bruto do Brasil entre o ano de 2010 e 2020.

A madeira é um material renovável e de origem orgânica e o fato de ser sustentável está atrelado a diversos fatores que estão presentes desde o início de sua exploração até a sua destinação final. De acordo com Zenid *et al.* (2019), a madeira é considerada como um material sustentável se possuir uma certificação e se for extraída de maneira correta das florestas, sempre priorizando a preservação dos recursos naturais.

A obtenção da madeira pode ser adquirida por meio de atividades florestais sustentáveis, como a aquisição de uma madeira certificada, além disso, a madeira pode ser utilizada de diversas formas e também pode ser reaproveitada, de acordo com Allen, Thallon e Schreyer (2017), em casos de edifícios demolidos que a madeira pode ser utilizada em futuras edificações, ou são envolvidas em um processo de desintegração gerando novas matérias primas e por fim podem ser cortadas resultando em outras peças de madeira.

4.4.2 Emissões de gases do efeito estufa

Em estudo realizado por Monich (2012) em uma casa unifamiliar de 42m² construída em Wood Frame, obteve-se um total de emissões de 6689 de CO₂ em todo o processo de fabricação de todos os materiais utilizados na construção, desconsiderando a fase de transporte.

A Tabela 1 apresenta os valores de emissões de alguns materiais utilizados na construção, pode-se visualizar que as maiores emissões são provenientes do aço, telha cerâmica, concreto e gesso, que juntos representam em média 75% das emissões totais. Em contrapartida, em relação às emissões de alguns dos materiais em madeira, tem-se o Pinus e OSB totalizando 714 kg de CO₂ liberados em seu processo de fabricação, cerca de 10% das emissões totais.

Tabela 1 - Emissões de CO₂ na fabricação dos materiais

Item	MATERIAL	CO ₂ (kg)
1	Aço	2363,40
2	Telha cerâmica	1472,33
3	Concreto	623,12
4	Gesso	560,70
5	Pinus	481,40
6	OSB	232,73
7	Drywall	224,04
8	Tinta óleo	158,84
9	Massa corrida	125,97

Fonte: Adaptado de Monich (2012)

Para a quantidade de carbono armazenado, em todos os materiais em madeira como o Pinus, Smartside e OSB estocam no total 1442 kg de CO₂ (MONICH, 2012). Ou seja, a quantidade de CO₂ liberado na atmosfera na fabricação dos componentes em madeira foram neutralizados, pois esses materiais alcançaram a emissão líquida zero de carbono. Tais dados demonstram a relevância, importância e a potencialidade da madeira como material construtivo.

A quantidade de energia presente na produção de vigas de aço é cerca de 2 a 3 vezes maior quando comparado com vigas de madeira lamelada colada. Em relação a quantidade de combustíveis fósseis utilizados, as vigas de madeira lamelada colada utilizam cerca de 6 a 12 vezes menos combustíveis quando comparada com as vigas de aço, além disso em termos de emissões de gases do efeito estufa, estas são 5 vezes maiores na construção de vigas de aço do que nas vigas de madeira lamelada colada, segundo um estudo realizado em um novo aeroporto de Oslo na Noruega (PETERSEN; SOLBERG, 2002).

4.4.3 Versatilidade do uso da madeira

O uso da madeira pode ser visualizado em diversos setores, na construção civil em construções de pontes, edificações, esquadrias, forros, pisos, telhados. Fora desse contexto, é utilizado em elementos decorativos, construções de móveis e equipamentos musicais (CARDOSO, 2015).

De acordo com Castro (2008), para que se utilize a madeira como material construtivo e que se possa usufruir de seus benefícios, é extremamente importante que haja o conhecimento a respeito das suas propriedades, a interferência das

intempéries no material, escolha correta do ambiente a ser utilizado e seus processos de secagem.

4.5 Desvantagens do uso da madeira como material construtivo

A madeira está sujeita à sua deterioração por diversos agentes, em destaque têm-se a ação dos agentes abióticos e dos agentes bióticos que provocam alterações prejudiciais nas propriedades da madeira (JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

4.5.1 Agentes bióticos

Um dos principais agentes bióticos são os fungos, que atacam a madeira causando diminuição da sua resistência, alteração de coloração e degradação do material. Devido a madeira ser um material higroscópico, esta pode conter um alto teor de umidade favorecendo diretamente o ataque dos fungos. A alta umidade na madeira pode ser oriunda de vazamentos nas coberturas, projeto mal detalhado ou alta umidade relativa do ambiente (JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Para Brito (2014), a aparição dos fungos surge em decorrência de infiltrações causadas por uma má conservação e construção das estruturas de madeira como as coberturas ou caixilharias, ambiente sem ventilação, tubos com vazamentos etc. De acordo com Junior, Lahr e Dias (2003), os insetos também se destacam como grandes agentes bióticos, como os cupins e larvas que se alimentam da madeira, não necessitando do alto teor de umidade para o ataque, em contrapartida, podem causar grandes infestações, portanto se torna indispensável a compressão e distinção dessas ameaças.

4.5.2 Agentes abióticos

No caso dos agentes abióticos, tem-se a corrosão da madeira, ocasionada pela reação da umidade da madeira com o aço em seu conector de metal, causando uma diminuição na resistência da madeira na parte prejudicada, em contrapartida, essa reação pode ser amenizada com a utilização de conexões galvanizadas ou conexões com materiais não ferrosos.

A madeira pode conter diversas imperfeições que podem afetar a sua resistência e sua durabilidade, essas falhas podem ser originadas no processo do crescimento do tronco ou pela maneira como a madeira foi preparada. Um desses

defeitos são os nós que se localizam nos pontos dos troncos onde anteriormente eram preenchidos por galhos, estes nós causam uma diminuição na resistência à tração na madeira (PFIEL; PFIEL, 2003).

Segundo Szücs *et al.* (2015), é muito comum a ocorrência de nós na madeira, por isso é necessário que haja um controle nas atividades de cortes dos galhos no período de desenvolvimento da árvore, reduzindo assim o surgimento desses nós que podem originar fissuras na madeira.

A durabilidade da madeira pode ser garantida de 3 formas, sendo a primeira a elaboração de um projeto bem detalhado, que ofereça proteção à madeira contra chuva e existência de ambientes ventilados que possam auxiliar na secagem da madeira caso esteja úmida; na segunda opção a utilização de tratamentos preservativos na madeira, e por fim realizar atividades de fiscalização, conservação e reparação nas peças em madeira (JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

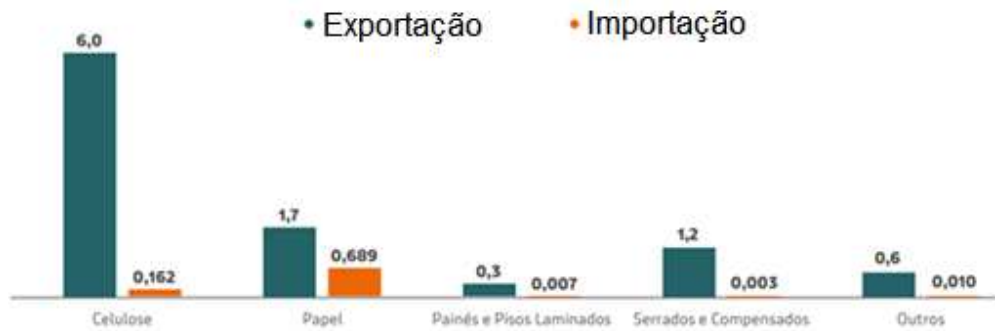
4.6 Cenário brasileiro no setor florestal

O Brasil possui um grande potencial para ter edificações em madeira visto a sua disponibilidade de áreas florestais, segundo o SNIF (2020), 58,5% do território brasileiro é composto por florestas, equivalente a uma área de 497.962.509 hectares, sendo que as florestas naturais representam 98% desse total, e o restante de 2% se referem florestas plantadas. Segundo IBÁ (2021), o país planta 1 milhão de árvores por dia, tendo em 2020 cerca de 9,55 milhões de hectares, estes destinados para áreas industriais e 6 milhões de hectares conservados em áreas de proteção permanente e reserva legal, desse total, é possível armazenar cerca de 4,5 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo 1,9 milhões presentes nas regiões plantadas e o restante de 2,6 milhões de hectares nas áreas de conservação.

Além do Brasil ser um país que detém uma grande área florestal, o país desempenha um papel importante nas exportações, de acordo com IBÁ (2021), o Brasil ocupou a primeira posição de maior país exportador de celulose no mundo no ano de 2020.

No mercado da exportação e importação, com valores mais altos em produtos exportados do que importados, obteve-se a celulose como principal produto com cerca de 6 bilhões de dólares em valor exportado, em segundo lugar o papel com 1,7 bilhões de dólares, seguido de painéis e pisos laminados com 0,3 bilhões de dólares e 1,2 bilhões de dólares em madeira serrada e compensada (Gráfico 1).

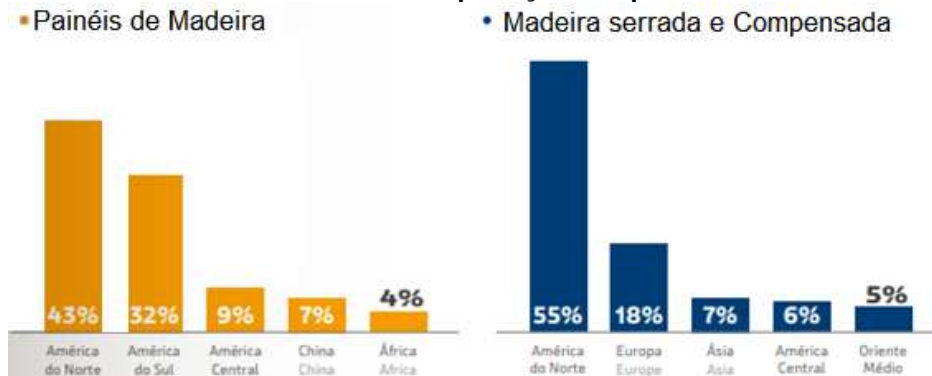
Gráfico 1 - Valor exportado e importado em 2020 (US\$ bilhões)



Fonte: Adaptado de FAO & Secex. (apud IBÁ, 2021, p. 38)

Em relação aos importadores de produtos oriundos de árvores plantadas no ano de 2020, a América do Norte representa o maior destino de exportação de painéis de madeira com participação de 43%. Para os produtos como madeira serrada e compensada, novamente a América do Norte se sobressai como principal país de destino de exportação, com participação de 55%, como mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Destino das exportações de produtos em 2020



Fonte: Adaptado de Secex. (apud IBÁ 2021, p. 41)

4.6.1 Manejo Florestal

O manejo florestal é um conjunto de técnicas aplicadas nas atividades florestais, se caracterizando como um manejo adequado ao promover extrações de baixos impactos ambientais e se houver um controle e acompanhamento que auxilie o profissional responsável nas adoções de medidas, dentre essas técnicas, se destaca a silvicultura (SILVA, 1996). De acordo com a Embrapa (2021), a silvicultura estuda os processos naturais e artificiais que podem ser utilizados para recomposição e aperfeiçoamento das florestas, além de estabelecer de qual maneira a floresta

deverá ser explorada, de forma a ser economicamente viável e garantindo a sua preservação.

A extração dos recursos naturais nas florestas deve ser realizada com a concessão do órgão Federal responsável, por meio de práticas de conservação, como os planos de manejo florestal sustentável ou com a permissão do IBAMA, dessa maneira a exploração nas florestas é reconhecida legalmente (CARDOSO, 2015). O manejo florestal é um grande aliado da sustentabilidade, pois permite que as florestas retenham o carbono que está presente em grande quantidade no meio ambiente.

Apesar da madeira estar presente na civilização desde os tempos antigos, ainda não é uma matéria-prima que está totalmente inserida na construção civil no Brasil, na realidade, são mais recorrentes construções em alvenaria, em aço ou concreto. É de grande recorrência o preconceito existente na humanidade, em relação ao achismo de que a exploração da madeira potencializa a devastação das florestas, embora a extração pode ser realizada aliada com técnicas florestais de modo que a assegurar a preservação do meio ambiente, segundo (ZENID *et al.*, 2009, p.17): “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 por partir do princípio de sustentabilidade, ou seja, prevendo uma utilização que permita a recomposição da floresta de uma determinada área, viabilizando-a econômica, socialmente e ambientalmente.” De acordo Junior, Lahr e Dias (2003), o crescimento e a extração da madeira envolvem menos energia quando comparada com a energia presente na fabricação de outras matérias-primas como o concreto armado e o aço, sendo estes materiais não renováveis, diferentemente da madeira.

Além dos paradigmas estabelecidos na sociedade em relação ao uso da madeira como material construtivo, tem-se diversos outros fatores que são considerados como entraves, como a falta de incentivos do setor governamental, falta de conhecimento da população, carência de mão de obra profissional na área, falta de otimização das florestas disponíveis que poderiam servir para plantio de árvores para uso futuro para extração da madeira.

4.7 Crédito de carbono

A intensa utilização de combustíveis fósseis pelos países desenvolvidos pós primeira Revolução Industrial na Inglaterra, aliada a produção e comercialização do carvão mineral na Europa em um período após a segunda Guerra Mundial

impulsionaram as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. Embora o Brasil na época esteve comprometido em propostas de sustentabilidade para o meio ambiente, as normatizações estabelecidas em esfera nacional não foram tão significativas para as reduções das emissões de gases do efeito estufa (SOUZA, 2020). De acordo com o Senado Federal (2004), foi determinada na RIO-92, na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima assinada pelo Brasil, que países desenvolvidos, inclusos países como Estados Unidos, Canadá, Japão, Alemanha, Rússia, dentre outros, deveriam ser os responsáveis pela redução do aquecimento global e regresso de suas emissões dos anos 2000 para as emissões anteriores referentes ao ano de 1990. Após isso, ocorreram outras convenções, dentre elas, a Conferência das Partes em Quioto no Japão em 1997 sucedendo o Protocolo de Quioto, em que foi determinado que os países desenvolvidos deveriam reduzir suas emissões em ao menos 5% das geradas em 1990.

A respeito dos países envolvidos no Protocolo de Quioto, segundo a DW Brasil (2020), os Estados Unidos nunca validaram o Protocolo e se ausentaram do mesmo em 2001, e em seguida, em 2011 foi a vez do Canadá abandonar o acordo. Segundo Cenamo (2004), em 23 de julho de 2002, o Brasil concluiu o processo de ratificação do Protocolo. De acordo o Decreto Nº5.445 de 12 de maio de 2005, o Protocolo de Quioto só entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005 (BRASIL, 2005).

De acordo com Prolo *et al.* (2021), as metas estabelecidas no Protocolo tinham como prazo entre os anos de 2008 e 2012, porém posteriormente sofreu alteração desse prazo para os anos de 2013 a 2020. Segundo Goldemberg (2023), os países da União Europeia foram os únicos que de fato aceitaram a redução das emissões estabelecidas no Protocolo de Quioto, se comprometendo a reduzir em 8% suas emissões. Os Estados Unidos, a União Europeia e o Japão, em 2019, obtiveram níveis menores de emissões quando comparadas com o ano de 1992, embora o Estados Unidos se absteve de sua participação no Protocolo de Quioto. Em contrapartida, houve um aumento das emissões nos demais países, trazendo riscos para as metas de reduções das emissões de gases do efeito estufa.

4.7.1 Mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto

Para que as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto fossem atingidas foram criados três tipos de mecanismos: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Comércio de Licença de Emissões e Implementação Conjunta (SENADO FEDERAL,

2004). Para Gutierrez (2018), o mercado de carbono se divide em 2 segmentos, sendo o primeiro responsável pelas licenças de emissões, e o segundo caracteriza-se pela diminuição das emissões que estão inclusos em projetos estabelecidos na Implementação Conjunta (IC) e no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Segundo Senado Federal (2004), a IC e o Comércio de Licença de Emissões são restritos para os países já desenvolvidos, enquanto que o MDL pode envolver tanto os países sub desenvolvidos e desenvolvidos.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo envolve a criação de projetos que promovam as reduções das emissões de gases do efeito estufa, gerando a Redução Certificada de Emissão (SOUZA,2020). Segundo Gutierrez (2018), os créditos são gerados a partir dos investimentos em projetos que visam o desenvolvimento sustentável. De acordo com Cenamo (2004), o MDL promove a ideia de que para cada tonelada de dióxido de carbono que o país desenvolvido deixar de emitir ou remover da atmosfera, possibilite essa quantidade ser utilizada em futuras negociações em todo o mercado nacional e internacional, fazendo com que as reduções globais se tornem mais visíveis e relevantes.

A Implementação Conjunta é caracterizada pela elaboração de projetos redutores de emissões globais, gerando as Unidades de Redução de Emissão, em que pelo menos dois países desenvolvidos atuam em conjunto para atingirem essas reduções e são responsáveis pelo uso dos créditos provenientes dos projetos criados (SOUZA, 2020).

O Comércio de Licença de Emissões utiliza o sistema cap and trade, no qual nesse sistema é permitido o comércio de créditos de carbono pertencentes aos países desenvolvidos que conseguiram reduzir suas metas a mais do que proposto no Protocolo de Quioto, a partir disso, o país pode comercializar o crédito em excesso com países desenvolvidos que não conseguiram cumprir suas metas. Em resumo, o crédito de carbono pode ser obtido de 3 formas, sendo a primeira por meio do Comércio de Licença de Emissões, a segunda e a terceira por meio de investimentos em projetos de redução de gases do efeito estufa que geram as Unidades de Redução de Emissão e Redução Certificada de Emissão (SOUZA, 2020).

4.7.2 Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

Os projetos de MDL se dividem em 3 segmentos, sendo o primeiro segmento de fontes renováveis e alternativas de energia, o segundo de eficiência e conservação

de energia e o último incluso projetos de reflorestamento e estabelecimento de novas florestas (CENAMO, 2004).

Segundo Pereira (2018), o Brasil possui cerca de 159 projetos de energia renovável e em questões de reduções, representam cerca de 52,26% das reduções de emissões dos gases do efeito estufa. Em seu portfólio, o Brasil também possui projetos MDL de metano, contando com 110 projetos e 31,74% de reduções de metano. Além disso, conta com projetos industriais, possuindo 16 projetos no total e 14,26% em termos de reduções de gases do efeito estufa. Por fim, contém apenas 3 projetos MDL florestais, representando em média 0,67% das reduções de dióxido de carbono, nesse tipo de projeto estão incluso o reflorestamento de florestas energéticas e o reflorestamento de florestas nativas. Embora o Brasil possua uma grande vantagem na execução desse último projeto, o número é pouco expressivo, um dos motivos são os custos necessários para a realização e registro do projeto.

A autoridade designada para avaliar os projetos MDL no Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGG). É levado em consideração no processo de avaliação qual é parcela de envolvimento voluntária da empresa, documento de concepção de projeto, relatório de validação e por fim qual a colaboração do projeto em termos de avanço na sustentabilidade do país (GUTIERREZ, 2018).

No Brasil, o processo de avaliação para implementação desse tipo de projeto é bem rigoroso e busca identificar se aquele projeto é ambientalmente exequível. Aliado a isso, essa análise engloba grandes custos de transação presentes na etapa de análise da documentação de concepção de projeto e na etapa de aprovação e período pós aprovação, pois é necessário que seja feita a verificação se as reduções das emissões estão sendo cumpridas de acordo com as metas estabelecidas. Segundo o Banco Mundial, em 2003, estimava-se um custo de aproximadamente US\$270mil referentes aos custos envolvidos em requerimentos exigidos no projeto MDL (GUTIERREZ, 2018).

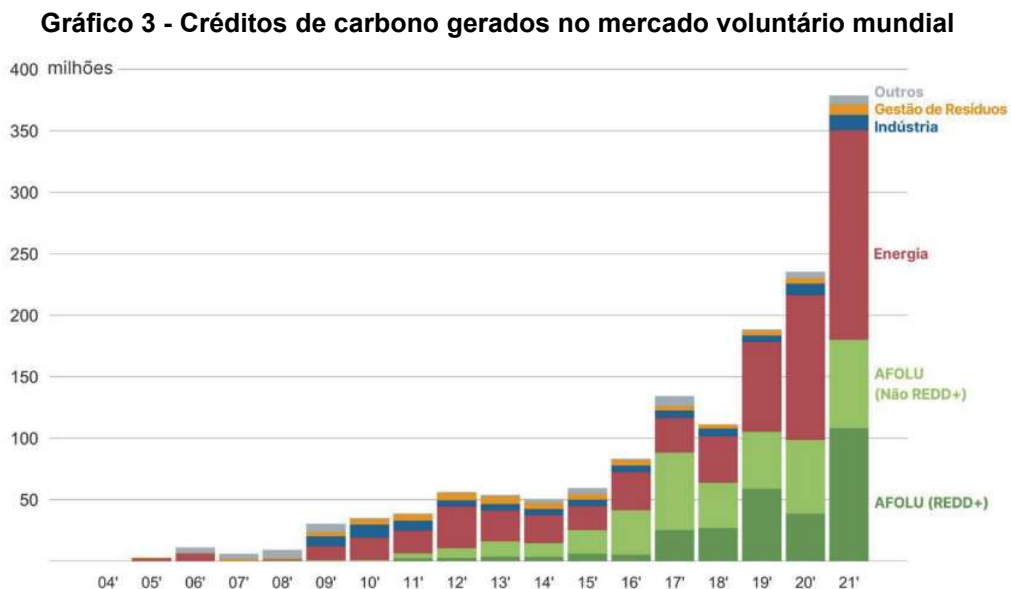
4.8 Crédito de carbono no mercado brasileiro

Concomitante ao mercado de crédito de carbono, surge o mercado voluntário de carbono, no qual se caracteriza pela compra de crédito de carbono por empresas ou organizações que não são obrigadas a cumprirem as metas de reduções de emissões, mas que desejam compensá-las (PROLO *et al.*, 2021). Segundo Souza,

Alvares e Andrade (2013) um crédito de carbono corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente não emitido ou removido da atmosfera, e de acordo com a CredCarbo (2022), a transação do crédito de carbono é realizada dentro de bolsas, denominadas bolsas de carbono, nas quais seus preços se modificam de acordo com a oferta e procura do mercado.

De acordo com Albuquerque *et al.* (2021), o Brasil tem competência para suprir em aproximadamente 28% a demanda mundial do mercado de carbono e 48,7% do mercado voluntário até o ano de 2030, podendo alcançar em receita até 120 bilhões de dólares.

No Gráfico 3, pode-se visualizar o desenvolvimento dos créditos de carbono gerados no mercado voluntário mundial entre o ano de 2004 até o ano de 2021 em diversos setores, como no setor da energia, da indústria, da gestão de resíduos, e no mercado da AFOLU (REDD+) e AFOLU (Não REDD+). De acordo com Vargas *et al.* (2022), AFOLU é o setor de projetos de agricultura, floresta e outros usos da terra, enquanto que para Prolo *et al.* (2021), REDD significa Reduções de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal e REDD+ inclui a conservação, o manejo sustentável e o aumento dos estoques de carbono nas florestas.



Embora os mercados AFOLU (REDD+) e AFOLU (Não REDD+) tiveram um destaque significativo ao longo dos anos na geração de seus créditos, o maior destaque ocorreu no mercado voluntário de energia.

5 METODOLOGIA

O método utilizado neste trabalho foi um levantamento bibliográfico, realizando-se buscas do tema escolhido em referenciais teóricos publicados. Em seguida, foram compiladas as informações adquiridas ao longo das pesquisas para escrita do trabalho apresentado.

As pesquisas bibliográficas foram realizadas em livros, artigos, trabalhos acadêmicos, teses, dissertações e notícias.

Efetou-se pesquisas referentes a influência do setor da construção civil no desenvolvimento sustentável do meio ambiente e buscas para entender como a madeira está inserida no mercado brasileiro da construção civil, seu desenvolvimento e evolução no decorrer dos anos.

Foram analisados assuntos referentes aos registros históricos da madeira e como prosseguiu a sua disseminação, além de buscas em edificações em madeira ao redor do mundo, assim como as suas técnicas construtivas.

Além disso, foram estudadas na literatura também os benefícios do uso da madeira como material construtivo, com enfoque na sua relação com a sustentabilidade gerada nesse processo, além da sua contribuição para a redução de emissões dos gases do efeito estufa.

6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos realizados anteriormente, conclui-se que a madeira está presente na sociedade desde os primórdios, e sua utilização teve início com técnicas mais primitivas sendo vistas em construções de pequenas habitações e embarcações, posteriormente foi sendo aplicada em edificações, com seu uso em esquadrias, forros, pisos, cobertura etc.

Diante dos fatos expostos nesse trabalho, é nítido a contribuição do uso da madeira como material construtivo para o desenvolvimento sustentável do meio ambiente, por meio de atividades como reflorestamento e manejo florestal que realizam a apreensão do dióxido de carbono, diminuindo a grande quantidade do CO₂ na atmosfera, contribuindo para o combate do aquecimento global. Além disso, o Brasil se sobressai no segmento florestal, devido grande parte do seu território ser composto por áreas florestais, de forma que favoreça ainda mais a extração da madeira, sempre tendo como base a sua exploração de forma correta, para garantir a preservação das florestas.

O uso da madeira para fins construtivos é uma escolha que favorece tanto o meio ambiente, pois a madeira é um material sustentável e mantém estocado o CO₂ ao longo do seu ciclo de vida nas edificações, devolvendo esse dióxido para a atmosfera somente após sua queima ou degradação, além de favorecer o crescimento econômico do país, a partir da geração de créditos no mercado de carbono, no qual os créditos são oriundos de projetos redutores de emissões de gases do efeito estufa e a comercialização desses créditos contribui para a receita do países em negociação.

As construções em edificações com o uso da madeira como matéria-prima construtiva são vistas em grande escala em construções fora do Brasil, como na Noruega, Canadá, Austrália etc. São países que valorizam de fato a madeira, fazendo seu uso em construção de prédios em sua grande maioria composto por madeira, desde as paredes externas, internas, vigas, lajes, colunas, pisos, núcleos de elevadores e escadas, coberturas etc.

É de grande importância que as barreiras impostas para o uso da madeira como material construtivo no Brasil sejam quebradas, dentre elas, o pensamento de que a madeira representa um material de baixa qualidade, sendo esse preconceito totalmente sem fundamento, visto que o material apresenta inúmeros benefícios para o sistema construtivo brasileiro e para a sociedade como um todo. É fundamental que

os profissionais envolvidos nesse processo busquem a inserção e o desenvolvimento da madeira no setor construtivo, por meio de buscas em conhecimentos e técnicas para aperfeiçoamento da sua utilização e por outro lado, no setor acadêmico o fomento de pesquisas referentes as construções em madeira para auxílio do desenvolvimento dessa matéria-prima.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSEN, R. World's tallest timber building – 14 storeys in Bergen. *In: INTERNATIONALES HOLZBAU*, 21., 2015, Garmisch-Partenkirchen. **Anais eletrônicos**. Garmisch-Partenkirchen, 2015, p. 1-9.
- ABRAHAMSEN, R. Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. *In: INTERNATIONALES HOLZBAU*, 23., 2017, Garmisch-Partenkirchen. **Anais eletrônicos**. Garmisch-Partenkirchen, 2017, p. 1-12.
- ABRAHAMSEN, R. Mjøstårnet - 18 storey timber building completed. *In: INTERNATIONALES HOLZBAU*, 24., 2018, Garmisch-Partenkirchen. **Anais eletrônicos**. Garmisch-Partenkirchen, 2018, p. 1-13.
- ALBUQUERQUE, L. *et al.* 2021. **Oportunidades para o Brasil em mercados de carbono**. Disponível em: <https://conteudo.waycarbon.com/oportunidades-para-o-brasil-em-mercados-de-carbono-2022>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ALLEN, E.; THALLON, R.; SCHREYER, A.C. **Fundamentals of Residential Construction**. 4th ed. Canadá: Wiley, 2017.
- ALMEIDA, F. W.; YAMASHITA, A. C. Arquitetura Indígena. **Revista de ciências exatas e da Terra**. UNIGRAN, v.2, n.2, p.14-29, 2013.
- ARCHDAILY. **O maior edifício de CLT no mundo é um modelo para habitações de alta densidade**. 16 out. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/903936/o-maior-edificio-de-clt-no-mundo-e-um-modelo-para-habitacoes-de-alta-densidade>. Acesso em 3 mai. 2023.
- ARCHDAILY. **Mjøstårnet: the tower of lake Mjøsa/Voll Arkitekter**. 25 fev. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com/934374/mjostarnet-the-tower-of-lake-mjosa-voll-arkitekter>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- ARCHITECTURE&DESIGN. **Forte by Lend Lease**. 23 out. 2014. Disponível em: <https://www.architectureanddesign.com.au/projects/multi-residential/forte-by-lend-lease>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- BRASIL. **Decreto n.5.445, de 12 de maio de 2005**. Promulga o Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 11 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Casa Civil, 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5445.htm. Acesso em: 21 abr. 2023.
- BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- BRUNDTLAND, G.H. *et al.* **Nosso futuro comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.14p.

BK STRUCTURES. **Dalston Lane**: A multi-award winning private residential building in the centre of the London Borough of Hackney. 12 jan. 2018. Disponível em: https://www.bkstructures.co.uk/contentfiles/downloads/Dalston_Lane.pdf. Acesso em: 27 abr. 2023.

CANADIAN WOOD COUNCIL. **Brock Commons Tallwood House**. Canadá: Natural Resources Canada, 2018. Disponível em: https://cwc.ca/wp-content/uploads/2018/04/CS-BrockCommon.Study_.8.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.

CANADIAN WOOD COUNCIL. **Wood-frame housing a North American Marvel**. Building Performance Series nº 4. Canadá, 2002. Disponível em: https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-BP4_WoodFrameHousing.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.

CARDOSO, L. A. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

CARVALHO, P. A. R. **Avaliação técnica e econômica de estruturas de cobertura de grande vão em madeira lamelada colada**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Especialização em Construções Civas, Universidade de Porto, Portugal, 2008.

CASTRO, S. C. L. **O uso da madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena**. 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CENAMO, M. C. **Mudanças Climáticas, o protocolo de quioto e mercado de Carbono**. Texto (Conclusão de estágio) - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CREDCARBO. **Crédito de carbono**: valor por hectare em diversas culturas. 2022. Disponível em: <https://credcarbo.com/carbono/creditos-de-carbono-valor-por-hectare-em-diversas-culturas/#:~:text=Quanto%20vale%201%20cr%C3%A9dito%20de,est%C3%A1%20valendo%20aproximadamente%2022%20reais>. Acesso em: 22 abril. 2023.

COI, R.de. From Murray Grove to Dalston Lane. *In*: EUROPÄISCHER KONGRESS,10., 2017, Colônia. **Anais eletrônicos**. Colônia, 2017, p. 1-8.

CONSTRUCTION REVIEW ONLINE. **Os 5 edifícios de madeira mais altos do mundo**. 6 jan. 2023. Disponível em: <https://constructionreviewonline.com/biggest-projects/top-5-tallest-timber-buildings-in-the-world/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

DIRECTORIO FORESTAL MADERERO. **Treet**: El edificio en entramado de maderamás alto del mundo. 26 jan. 2017. Disponível em: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/treet.html>. Acesso em: 26 abr. 2023.

DURLINGER, B.; CROSSIN, E.; WONG, J.P.C. **Life cycle assessment of a cross laminated timber building**. Melbourne: Forest & Wood Products Australia Limited: 2013. Disponível em: <https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/report/Life-cycle-assessment-of-a-cross-laminated-timber-building/9921861834901341>. Acesso em: 10 mai. 2023.

DW BRASIL. **Protocolo de Kyoto foi marco climático, mas insuficiente**. 16 jan.2020. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/protocolo-de-kyoto-foi-marco-na-prote%C3%A7%C3%A3o-clim%C3%A1tica-mas-insuficiente/a-52399555>. Acesso em: 13 abr. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Silvicultura**. 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/silvicultura>. Acesso em: 21 abril. 2023.

FERREIRA, D. S. G. **Soluções construtivas em madeira**: aplicação a novas estruturas e reabilitação. 2017. Relatório (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal, 2017.

FILHO, N. G. R. **Quadro de arquitetura no Brasil**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **FSC completa 20 anos de atuação no Brasil**. 08 abr. 2022. Disponível em: <https://br.fsc.org/br-pt/newsfeed/fscr-completa-20-anos-de-atuacao-no-brasil>. Acesso em: 04 de jan. 2023.

GIORGI, R.S.N.; Quirino, V.A.; MEIRELLES, C.R.M. Contexto para a utilização da madeira como sistema estrutural em edifícios habitacionais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6. n.3. p. 9760-9775, mar. 2020.

GOLDEMBERG, J.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

GOLDEMBERG, J. Atualidades: trinta anos da Convenção do Clima. **SciELO**, São Paulo, v.37, n.107, p. 276-287, jan.23.

GUTIERREZ, M. B.G.P.S. Evolução regulatória institucional do MDL e perspectivas futuras. *In*: FRANGETTO, F.W; VEIGA, A.P.B; LUEDEMANN, G. **Legado do MDL**: Impactos e lições apreendidas a partir da implementação do mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil como subsídios para novos mecanismos. Brasília: IPEA, 2018. p. 269-277.

HABITAT4D. **Os 5 mais altos edifícios de madeira do mundo**. 5 jul. 2022. Disponível em: <https://www.habitat4d.pt/os-5-mais-altos-edificios-de-madeira-do-mundo/>. Acesso em: 08 mar. 2023.

HABOWSKI, D. **Estudo da viabilidade da utilização de madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

HET HOUTBLAD. **Dalston Lane Londres**. 06 nov. 2017. Disponível em: <https://www.hethoutblad.nl/projectnieuws/dalston-lane-londen/>. Acesso em: 28 abr. 2023.

HETEMÄKI, L. *et al.* **Leading the way to a European circular bioeconomy strategy**. 5ed: European Forest Institute, 2017. 52p.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). **Relatório Anual IBÁ**. 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 30 out. 2022.

IMAZON - Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia. **Desmatamento na Amazônia cresce 29% em 2021 e é o maior dos últimos anos**. 17 jan. 2022. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-cresce-29-em-2021-e-e-o-maior-dos-ultimos-10-anos/#>. Acesso em: 09 set. 2022.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Perguntas frequentes**. 2023. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=6>. Acesso em: 11 set. 2022.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas**. Brasil: MCTIC, 2019.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Synthesis Report of the IPCC sixth assessment report**. Suíça: CWT, 2023.

JÚNIOR, C. R. C.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da madeira na construção civil. **Projectus**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017.

JUNIOR, C. C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2003.

LIU, Y. *et al.* Assessing cross laminated timber (CLT) as an alternative material for mid-rise residential buildings in cold regions in China: a life-cycle assessment approach. **Sustainability**, Bath, v.8, n.10, p. 1-13, out. 2016.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In: MELO, A.S.; RIBEIRO, M.C. **História da construção: arquiteturas e técnicas construtivas**. Braga: CITCEM, 2012. p.01-14.

MARQUES, L.E.M.M. **O papel da madeira na sustentabilidade de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Especialização em Construções Cívicas, Universidade do Porto, Portugal, 2008.

MERRICK, J. **High density, low carbon: Dalston Works by Waugh Thistleton**. 4 out. 2017. Disponível em: <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/high-density-low-carbon-dalston-works-by-waugh-thistleton>. Acesso em: 29 abr. 2023.

MIKHAILOVA, I. 2004. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, n.º16, p 22-41, jan. 2004.

MOELVEN. Standing 85,4 meters tall, **Mjøstårnet is officially the world's tallest timber building**. 2023. Disponível em: <https://www.moelven.com/mjostarnet/>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MOELVEN. **Mjøstårnet episode 1**. 28 mai. 2018. Disponível em: <https://mediabank.moelven.com/mediaroom.html?keywords=Mjostarnet&company=MoelvenLimtreAS>. Acesso em: 25 abr. 2023.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NATURALLY WOOD. **Brock commons Tallwood House: design modelling**. 2023. Disponível em: <https://www.naturallywood.com/resource/brock-commons-tallwood-house-design-modelling/>. Acesso em: 26 abr. 2023.

NATURALLY WOOD. **Introduction to brock commons Tallwood House: UBC Tall Wood building**. 2023. Disponível em: <https://www.naturallywood.com/resource/introduction-to-brock-commons-tallwood-house-ubc-tall-wood-building/>. Acesso em: 28 abr. 2023.

PEREIRA, H de A. Contribuição do mecanismo de desenvolvimento limpo ao desenvolvimento sustentável. *In*: FRANGETTO, F.W.; VEIGA, A.P.B; LUEDEMANN, G. **Legado do MDL: Impactos e lições apreendidas a partir da implementação do mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil como subsídios para novos mecanismos**. Brasília: IPEA, 2018. p. 209-257.

PETERESEN, A. K.; SOLBERG, B. Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport. **Environmental Science & Policy**, v. 5, n. 2, p. 169-182, 2002.

PFEIL. W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

PILON. A.; UTIMATI, A.; JIN, J. **Brock commons tallwood house: design modelling**. Columbia: CIRS, 2016. Disponível em: https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-design-modelling_case-study_naturallywood.pdf. Acesso em: 11 abr. 2023.

PILON. A. *et al.* **Brock commons tallwood house: construction overview**. Columbia: CIRS, 2017. Disponível em: https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-construction-overview_case-study_naturallywood.pdf. Acesso em: 11 abr. 2023.

POUSETTE, A. *et al.* **Harmonization of building regulations in the Nordic countries for wooden houses**. Oslo: Nordic Innovation, 2012. 48p.

PRINGUER JAMES CONSULTING ENGINEERS. **Dalston Works**. 2021. Disponível em: <https://www.pjce.com/our-projects/dalston-works/>. Acesso em: 01 mai. 2023.

PROLO, C. D. *et al.* **Explicando os mercados de carbono na era do Acordo de Paris**. Rio de Janeiro: Instituto Clima e Sociedade, 2021. Disponível em: <https://laclima.org/files/explicando-mercados-rev.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

RAIMUNDO, Y. M. **Análise das exportações brasileiras de madeira serrada e painéis à base de madeira no período de 1961 a 1999**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2001.

RAVENSROFT, T. **Dalston Lane: the world's largest timber building**. 6 dez. 2017. Disponível em: <https://www.theb1m.com/video/dalston-lane-the-worlds-largest-timber-building>. Acesso em: 17 abr. 2023.

RESILMOUNT. **Forte apartment, Vic**. 2023. Disponível em: <https://resilmount.com.au/projects/forte-apartments-vic/>. Acesso em: 5 mar. 2023.

SCHULER, T. A. **Dalston Works, the largest CLT building in the world**. 09 out. 2018. Disponível em: https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world_o. Acesso em: 9 mai. 2023.

SENADO FEDERAL. **Protocolo de Quioto e legislação correlata**. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas, 2004. v.3.

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

SILVA, J. N. C. **Manejo Florestal**. 2. ed. Brasília: SPI, 1996. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/916225/1/ManejoFlorestal.pdf?locale=pt_BR. Acesso em: 17 mai. 2023.

SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestais). **Florestas naturais**. 2 mar. 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-biomas-e-suas-florestas>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SOUZA, C. A. C. **Negociação internacional de crédito de carbono entre o Brasil e o mercado de carbono Europeu**. 2020. Artigo (Bacharel em Direito) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2020.

SOUZA, A.L.R. *et al.* 2013. Mercado regulado de carbono no Brasil: um ensaio sobre divergências contábil e tributária dos créditos de carbono. **Revista Organização & Sociedade**, Salvador, v.20, n.67, p. 675-679, nov/dez. 2013.

SZÜCS, C. A. *et al.* **Estruturas de Madeira**. Notas de aula. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

THE B1M. **Top 5: the world's tallest timber buildings**. 04 out. 2017. Disponível em: <https://www.theb1m.com/video/top-5-the-world-s-tallest-timber-buildings>. Acesso em: 13 mar. 2023.

THE NORWEGIAN AMERICAN. **Norway's "the tree" tops list for now**. 07 out. 2016. Disponível em: <https://www.norwegianamerican.com/norways-the-tree-tops-list-for-now/>. Acesso em: 26 abr. 2023.

THINK WOOD. **Forté: creating the world's tallest CLT apartment building**. 20 set. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pHpthNBiYqE>. Acesso em: 28 abr. 2023.

TREET. **Mer enn bare en leilighet**. 2015. Disponível em: <http://treetsameie.no/>. Acesso em: 26 abr.2023.

URBAN NEXT. **Treet: sustainable housing**. 2023. Disponível em: <https://urbannext.net/treet/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 – relatório da ONU**. 16 dez. 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram>. Acesso em: 07 set. 2022.

VARGAS, D. B. *et al.* **Observatório de bioeconomia: mercado de carbono voluntário no Brasil: na realidade e na prática**. 3 jan.2022. Disponível em:

https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ocbio_mercado_de_carbono_1.pdf. Acesso em: 24 abr. 2023.

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS. **Dalston Works: the world's largest CLT building**. 2023. Disponível em: <https://waughthistleton.com/dalston-works/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

WOOD SOLUTIONS. **Massive timber construction systems**. Australia: Forest and Wood Products, 2014. Techinal Design Guide. Disponível em: <https://www.woodsolutions.com.au/publications/massive-timber-construction-clt>. Acesso em: 16 mai. 2023.

WOOD SOLUTIONS. **Forte living**. 2023. Disponível em: <https://www.woodsolutions.com.au/case-studies/forte-living>. Acesso em: 28 mar. 2023.

WWF BRASIL (World Wide Fund For Nature). **Relatório Amazônia Viva 2022**. Brasil: WWF, 2022.

YOUNG, R. L. History, nature and products of wood. In: OWENS, J.N.; LUND, H.G. **Forests and forest plants**. Oxford: EOLSS, 2009. v. 2, p. 1-10.

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

ZENID, G. J. *et al.* **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009.