

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WANDERLEY SILVA

**ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO EM
MADEIRA NOS EUA**

ANÁPOLIS / GO

2021

WANDERLEY SILVA

**ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO EM
MADEIRA NOS EUA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: ESP. AURÉLIO CAETANO FELICIANO

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, WANDERLEY

Estudo de caso aplicado a construção em madeira nos EUA.

53P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Madeira	2. Brasil
3. Estados Unidos da América	4. Construção Civil
I. ENC/UNI	II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Wanderley. Estudo de caso aplicado a construção em madeira nos EUA. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 53p. 2021.

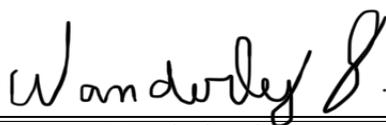
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wanderley Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de caso aplicado a construção em madeira nos EUA.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Wanderley Silva

E-mail: wandaojunior@hotmail.com

WANDERLEY SILVA

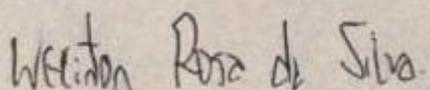
**ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO EM
MADEIRA NOS EUA.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

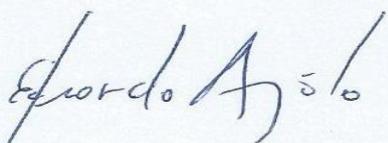
APROVADO POR:



**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**



**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 07 de MAIO de 2021.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus.

Agradeço ao meu orientador Aurélio Caetano por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa.

Aos meus pais Suzana e Sergio que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória e pelo esforço investido na minha educação.

À minha esposa Larissa e a minha filha Eloah pela compreensão e paciência demonstrada durante o período do projeto.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante esse período da faculdade.

Wanderley Silva.

RESUMO

Atualmente existem diversos materiais e tecnologias aplicadas as técnicas construtivas na construção civil. No Brasil, as técnicas mais comuns são alvenaria e concreto, muito embora tenha surgido novas tecnologias como a utilização de madeira na construção de estruturas para edificações das mais variadas. Nessa linha de pensamento, o estudo em questão visa apresentar por meio de um estudo de caso a caracterização da construção de uma casa em madeira de acordo com parâmetros de construção nos Estados Unidos da América e suas particularidades de projeto. Dentro do escopo do estudo, englobou-se a caracterização da madeira como material de construção nos Estados Unidos da América e as normativas vigentes para projeto em estruturas apresentando as vantagens e desvantagens da madeira como material de construção e a apresentação por meio da análise de projeto, relatório fotográfico e depoimentos de profissionais envolvidos, à execução da casa em madeiras e suas qualidades como sistema construtivo aplicado. No trabalho foi apresentado um estudo de caso com o projeto de uma residência composta por um porão, dois andares sociais e um sótão. O processo construtivo da residência foi baseado em alvenaria e madeira a partir do primeiro andar da residência, onde o porão é abaixo no nível do solo e feito sobre uma fundação de concreto cercado por bloco de concreto para as paredes. Os demais andares foram feitos em madeira seguindo os parâmetros de segurança normatizados pelo órgão local. Com o estudo, percebeu-se que o investimento médio por metro quadrado relativo à construção de casas nos Estados Unidos é maior em comparação com Brasil.

PALAVRAS-CHAVE:

Brasil. Construção Civil. Estados Unidos da América. Madeira.

ABSTRACT

Currently, there are several materials and technologies applied to construction techniques in civil construction. In Brazil, the most common techniques are masonry and concrete, although new technologies have emerged, such as the use of wood in the construction of structures for the most varied buildings. In this line of thought, the study in question aims to present, through a case study, the characterization of the construction of a wooden house according to construction parameters in the United States of America and its design peculiarities. Within the scope of the study, the characterization of wood as a building material in the United States of America was included and the current regulations for design in structures presenting the advantages and disadvantages of wood as a building material and the presentation through design analysis , photographic report and testimonials of professionals involved, the execution of the house in wood and its qualities as an applied construction system. In the work, a case study was presented with the design of a residence consisting of a basement, two social floors and an attic. The construction process of the residence was based on masonry and wood from the first floor of the residence, where the basement is below ground level and made on a concrete foundation surrounded by a concrete block for the walls. The other floors were made of wood following the safety parameters standardized by the local agency. With the study, it was noticed that the average investment per square meter related to the construction of houses in the United States is higher compared to Brazil.

KEY WORDS:

Brazil. Construction. USA. Wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção transversal de um tronco	17
Figura 2 - Plantio de arvores no Brasil em 2019	21
Figura 3 - Utilização de wood frame para residências unifamiliares e multifamiliares nos EUA	23
Figura 4 - Edifício Floresta Urbana	28
Figura 5 - Arranha-céu Framework - EUA	28
Figura 6 - Wood frame construída no sul do Brasil	29
Figura 7 - Edifício River Beech Tower - Chicago EUA	29
Figura 8 - Obras em madeira no estado de Nova Iorque	30
Figura 9 - Porão finalizado inserção da base da casa	35
Figura 10 – obra 1º andar	36
Figura 11 – obra 2º andar	37
Figura 12 - Construção do sótão.....	38
Figura 13 - estrutura da residência concluída.....	39
Figura 14 - construção em madeira	40
Figura 15 - Custo do m ² desonerado no Brasil	41
Figura 16 - Custo do m ² não desonerado no Brasil	41
Figura 17 - construção de casas geminadas.....	42
Figura 19 - planta porão.....	45
Figura 20 - Planta primeiro andar	46
Figura 21 – Planta segundo andar.....	47
Figura 22 - Planta sótão	48
Figura 25 - Projeto pagina 1	49
Figura 26 - Projeto pagina 2	50
Figura 27 - Projeto pagina 3	51

LISTA DE TABELA

Tabela 01 – Características das <i>Angiospermas</i> e <i>Gimnospermas</i>	16
Tabela 02 – Utilização da madeira em construção no Brasil.....	22

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EUA	Estados Unidos da América
IBA	Indústria Brasileira de Árvores
NBR	Norma Brasileira
NDS	<i>National design specification for wood construction</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
US CENSUS	United States Census Bureau

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA	16
2.1.1 Comportamento estrutural da madeira	18
2.2 PANORAMAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO	20
2.2.1 Madeira como material de construção no Brasil.....	20
2.2.2 Madeira como material de construção nos EUA	22
2.3 NORMATIVAS DE PROJETO E EXECUÇÃO BRASILEIRA E AMERICANA	23
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO	24
2.4.1 Vantagens	24
2.4.2 Desvantagens.....	26
2.5 EXEMPLOS DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO BRASIL E NOS EUA	27
3 ESTUDO DE CASO	30
3.1 NOTAS GERAIS DA CONSTRUÇÃO	31
3.1.1 Alterações e condições existentes	31
3.1.2 Notas de alvenaria	31
3.1.3 Notas de madeira	32
3.1.4 Fundação e concreto.....	32
3.2 FUNDAÇÃO	34
3.3 PORÃO	35
3.4 1º ANDAR	36
3.5 2º ANDAR.....	37
3.6 SÓTÃO	38

3.7	REVESTIMENTO, PISOS E LAJES	38
3.8	BALANÇO FINANCEIRO	40
4	CONCLUSÃO	44
	APÊNDICE A	45
	APÊNDICE B	46
	APÊNDICE C	47
	APÊNDICE D	48
	APÊNDICE E	49
	APÊNDICE F	50
	APÊNDICE G	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia, em especial a Engenharia Civil, é uma das mais antigas ciências praticadas no mundo. É possível comprovar essa afirmativa através das monumentais pirâmides construídas pelos faraós no Egito a cerca de 2.700 anos a.C, muito antes de existir as ferramentas e materiais de construção que são utilizados hoje (PAULI, 2001).

Na construção civil, existem diversos materiais e tecnologias aplicadas as técnicas construtivas, conferindo acabamento e características distintas a cada projeto. No Brasil, os métodos construtivos mais comuns são o de alvenaria e concreto, entretanto, tem surgido novas tecnologias como a utilização de madeira na construção de estruturas para edificações das mais variadas (FIGUEIREDO, 2014).

A utilização de madeira pelo homem se deu no primórdio da construção para levantar abrigos que eram utilizados como proteção contra animais e intempéries e garantia de sobrevivência. Seu uso se deu especialmente devido sua disponibilidade, acessibilidade e facilidade de manuseio. Além da construção de abrigos, a madeira foi bastante utilizada para criar armas, como fonte de aquecimento após o surgimento do fogo e posteriormente na criação de embarcações que facilitou o deslocamento. Com isso, é possível observar a evolução das técnicas de manejo da madeira até os dias de hoje, inclusive, sua importância histórica no desenvolvimento humano (JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

A partir da Revolução Industrial iniciada no século XVIII, com o início da industrialização e surgimento de maquinários, houve um aumento significativo na utilização da madeira como matéria prima na construção civil. Embora o setor tenha se tornado um dos principais contribuintes para a extração da matéria prima, atualmente existem diversas tecnologias que permitem a utilização sustentável da madeira, através do plantio e aproveitamento de madeiras de reflorestamento (FIGUEIREDO, 2014).

De acordo com Lopes (2019) ainda que a utilização desse método para construção seja bastante comum nos EUA (Estados Unidos da América) no Brasil ainda existe uma resistência quando a utilização da madeira para fins construtivos, principalmente para o residências, visto que diversos profissionais acreditam que casas feitas de madeira são mais frágeis que as executadas em alvenaria ou concreto. Além disso, a falta de profissionais qualificados para esse tipo de serviço ocasiona a uma certa objeção quando a qualidade desse método construtivo.

Por outro lado, a utilização de madeira na construção civil pode ser extremamente vantajosa, uma vez que, a matéria prima pode ser aplicada em diversas etapas e elementos da construção, podendo contemplar a estrutura como pilares, vigas, caibros ou terças, vedação de

paredes, forros, painéis, pisos ou até mesmo para apoio como escoramentos, andaimes ou formas (LOPES, 2019).

Diante disso, este trabalho fará um estudo sobre o emprego de madeira na construção civil, tendo como base estratégias, métodos construtivos e propostas internacionais de construção em madeira nos EUA, dado que a utilização desse método é muito comum no país. Durante a elaboração do trabalho serão levantadas as vantagens e desvantagens do uso da madeira na construção civil e apresentado um projeto de edificação de residência em madeira.

1.1 JUSTIFICATIVA

Existem hoje diversos métodos construtivos utilizados no Brasil e que são bastante conhecidos, como por exemplo, a alvenaria estrutural e alvenaria de vedação que utilizam blocos cerâmicos ou paredes de concreto. Entretanto a utilização de madeira na construção de edificações não é uma opção muito popular no país, sendo muito comum nos EUA (CORDEIRO E TIET, 2018).

Nesse contexto, pensando no âmbito da construção civil hoje, o estudo sobre a utilização da madeira é extremamente necessário. O avanço do setor de obras civis e automação industrial ligada a construção civil tem proporcionado cada vez mais o surgimento de novas tecnologias mais duráveis e seguras em relação às estruturas de madeira, além disso, atualmente existe uma gama de material para o embasamento legal e teórico para a utilização desse tipo de tecnologia (LEMONFLEX, 2019).

Cordeiro e Tiet (2018) destacam também que a engenharia civil é uma das ciências que mais modificam e extraem recursos do meio ambiente, seja de forma direta com desmatamentos para construção ou de forma indireta, quando adquire material extraído da natureza, como brita.

Desta forma, pensar em construção sustentável através de madeira de reflorestamento está se tornando cada vez mais necessário visando minimizar sempre que possível os impactos ambientais provindos da construção civil. Em relação ao ganho energético a madeira também não deixa a desejar, pois demanda bem menos energia para sua produção em relação às matérias primas mais tradicionais como aço e tijolo por exemplo (MELO, 2019).

Dentre essas e outras vantagens que serão estudadas nos capítulos seguintes que esse estudo será muito eficiente, especialmente ao se basear nas estratégias, métodos construtivos e propostas internacionais de construção em madeira nos EUA, que já é líder nesse tipo de construção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar por meio de um estudo de caso a caracterização da construção de uma casa em madeira de acordo com parâmetros de construção nos EUA (Estados Unidos da América) e suas particularidades de projeto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar a caracterização da madeira como material de construção, primeiramente, no Brasil e as normativas vigentes para projeto em estruturas;
- Apresentar a caracterização da madeira como material de construção nos Estados Unidos da América e as normativas vigentes para projeto em estruturas;
- Apresentar as vantagens e desvantagens da madeira como material de construção aplicadas as condições de execução norte-americanas;
- Apresentar por meio da análise de projeto, relatório fotográfico e depoimentos de profissionais envolvidos, à execução da casa em madeiras e suas qualidades como sistema construtivo aplicado.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho teve por finalidade apresentar um estudo de caso através da apresentação de projetos envolvidos e relatórios fotográficos a respeito da execução de uma casa unifamiliar. Tratando-se de regulamentação e normativas estrangeiras, propõem-se apresentar parâmetros quantitativos e qualitativos a respeito dos critérios de dimensionamento de estruturas em madeira nos EUA frente as exigências de mercado local e outros pontos relativos ao sítio como por exemplo temperatura, relevo e outros.

De posse das informações obtidas que caracterizam a edificação em questão apresenta-se uma análise comentada sobre todos os pontos de vista técnicos envolvidos que identificação das características da edificações em madeira na América do Norte e os benefícios que esta pode influenciar na capacidade de exploração e aplicação no mercado nacional brasileiro.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para que os objetivos propostos no TCC sejam atingidos com eficiência serão consideradas 04 etapas divididas em capítulos.

O capítulo 01 apresentou a introdução. Na introdução constam as informações iniciais do trabalho, demonstrando todos os passos que serão seguidos durante a elaboração do mesmo e quais os procedimentos serão utilizados. Nesse capítulo estão descritos a justificativa do estudo, objetivos que se pretende alcançar, metodologia aplicada e a estruturação do trabalho.

O capítulo 02 é composto pela fundamentação teórica. Na fundamentação teórica foi apresentado todo o referencial teórico utilizado no TCC onde consta a teoria levantada através de pesquisa. Nesse capítulo trata-se sobre a caracterização da madeira, panoramas sobre a utilização da madeira na construção no Brasil e nos EUA, normas relativas ao uso do material, vantagens e desvantagens e alguns exemplos de construções feitas em madeira.

No capítulo 03 foi apresentado o projeto de edificação de residência de madeira. Além do projeto, o capítulo apresentará também a viabilidade de aplicação do mesmo no Brasil.

Para finalizar, no capítulo 04 foram apresentadas as considerações finais levantadas através dos resultados do estudo. Nesse capítulo também serão propostas as sugestões de pesquisas futuras.

Após a conclusão, serão apresentadas as referências utilizadas para a elaboração do TCC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A execução de construções empregando madeira como matéria prima tem sido utilizada na construção civil ao longo dos anos como alternativa aos métodos tradicionais de construção em alvenaria ou concreto, seu tem se tornado opção no setor devido suas inúmeras vantagens como durabilidade, aplicabilidade e versatilidade (JUNIOR, 2017).

Nesse contexto, esse capítulo apresenta os principais assuntos relacionados ao uso na madeira na construção civil, evidenciando sua utilização nos Estados Unidos da América e no Brasil.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

O termo madeira é originado do latim *materiae*, seu significado abrange os tipos de celulose que se trata de um tecido formado a partir de plantas lenhosas que tem função de suporte mecânico. Do ponto de vista da botânica, a madeira com destinos estruturais são provenientes de árvores que se enquadram em duas categorias, as *Angiospermas* e as *Gimnospermas* (MANFRINATO, 2015).

Segundo Ronssen (2012) a principal distinção entre as duas categorias é em relação a sua semente e resistência. As são caracterizadas por possuírem as sementes envolvidas por frutos enquanto nas *Gimnospermas* as sementes são nuas, ou seja, não são envolvidas por frutos. As *Angiospermas* são conhecidas como madeira dura que conseqüentemente são mais resistentes que as *Gimnospermas* conhecidas como madeira mole. As demais características que distinguem uma categoria da outra estão presentes na tabela 01.

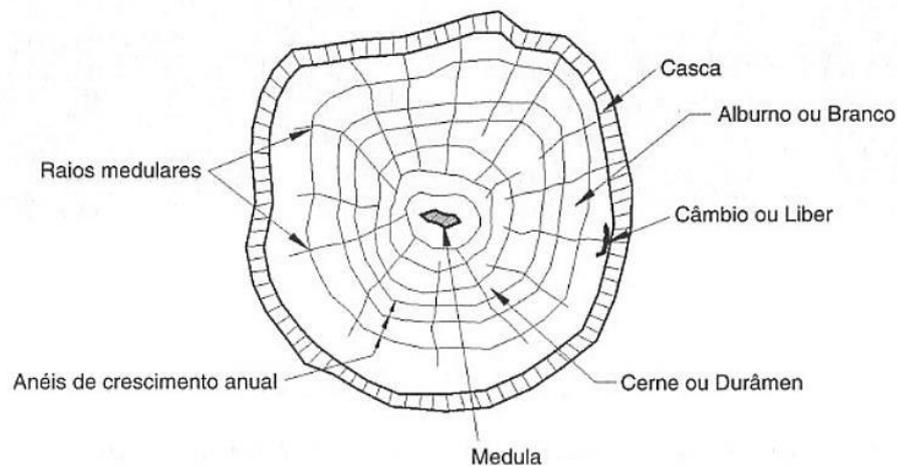
Tabela 01 – Características das *Angiospermas* e *Gimnospermas*.

	<i>Angiospermas</i>	<i>Gimnospermas</i>
Definição	Sementes envolvidas em frutos, também conhecida como sementes na bolsa.	Não possui frutos, as sementes ficam expostas. Também conhecida como sementes nuas
Estrutura	Raiz; Caule; Flor; Fruto e Sementes.	Raiz; Caule; Cone e Sementes.
Reprodução	Sexuada, polonizada por agentes polinizadores.	Sexuada, polonizada pelo vento.
Tipos de plantas	Frutíferas e Floríferas	Pinheiros; Cedros; Sequóias; Cicadáceas, etc.

Fonte: RONSSSEN, 2012 (Adaptado)

No que diz respeito a estrutura da madeira AFLALO (2005) destaca que as arvores que geram madeira empregues na construção são constituídas por camadas externas abaixo da casca. A figura 01 ilustra a seção transversal de um tronco com suas respectivas camadas.

Figura 1 - Seção transversal de um tronco



Fonte: PFEIL; PFEIL, 2003

Segundo Pfeil e Pfeil (2003) a casca corresponde a proteção da árvore, ela é formada por uma camada externa morta e uma camada interna viva que conduz o alimento na planta. O alburno ou branco corresponde à camada responsável por conduzir a seiva das raízes para as folhas. O cerne ou durâmen que corresponde às camadas de alburno que se tornam inativas com o crescimento das árvores, o cerne ou durâmen tem função apenas de sustentação do tronco. E a medula trata-se do tecido responsável pelo crescimento da madeira.

Para a construção civil, é recomendável que a madeira seja retirada do cerne, que é a parte mais durável, enquanto a madeira retirada do alburno é mais sensível, devido isso absorve melhor a ação de agentes protetores. Por ser um material natural resistente e relativamente leve, suas propriedades físicas são fundamentais para assegurar o desempenho das edificações (MANFRINATO, 2015).

Szucs *et al.* (2015) destaca as características físicas da madeira: teor de umidade, densidade, retratibilidade, resistência ao fogo, durabilidade e resistência química.

- Teor de umidade: Assim como toda ser vido parte da arvore é constituída de água, ora, ao ser cortada, a arvore inicia um processo de perda dessa água. O teor de umidade diz respeito a quantidade de água equilibrada na madeira, aproximadamente 25%, para

aplicação estrutural, o teor de umidade referência para cálculo é de 12%. O teor de umidade tem ação na densidade da madeira (NENNEWITZ, 2012).

- **Densidade:** A densidade é uma propriedade da madeira que diz respeito a uma característica fundamental para as madeiras de construção civil, principalmente no que diz respeito a indústria moveleira e fabricação de chapas. Ela pode ser dividida em densidade aparentem, relação entre a massa e o volume, densidade a 0%, relação entre massa e volume obtidos para $U = 0$ e densidade básica (SHIGUE, 2018).
- **Retratibilidade:** A retratibilidade diz respeito a característica da madeira em reduzir dimensões pela saída de água. A estrutura da madeira possui diferentes comportamentos a respeito da direção das fibras e dos anéis de crescimento. Portanto, a retração ocorre em diferentes percentuais nas direções longitudinal, tangencial e radial (SZUCS *et al.*, 2015).
- **Resistência ao fogo:** Embora a madeira seja considerada um material com baixa resistência ao fogo, na construção civil ela apresenta uma melhor performance ao fogo, inclusive, superior outros elementos. Isso se dá pois quando submetida ao fogo, a peça estrutural de madeira carboniza sua parte mais externa atuando como um isolante térmico, retendo mais calor e conseqüentemente auxiliando no combate ao fogo (FIGUEIREDO, 2014).
- **Durabilidade:** Se tratada, dimensionada e executada corretamente, a utilização da madeira em construções pode ser muito resistente a agentes de deterioração (SHIGUE, 2018).
- **Resistência química:** De modo geral, a madeira empregada construção apresenta boa resistência química. Em muitas indústrias, é mais popular do que outros materiais mais suscetíveis à exposição à agentes químicos. Em alguns casos, a madeira pode ser danificada por ácidos fortes ou álcali fortes. O ataque dos agentes químicos produzirá manchas esbranquiçadas devido à ação da lignina e da hemicelulose, podendo reduzir também seu peso e resistência (SZUCS *et al.*, 2015).

2.1.1 Comportamento estrutural da madeira

Para Manfrinato (2015) embora a utilização da madeira na construção tenha implícito a ideia de que se trata de um material artesanal que pode ser utilizado conforme a necessidade e experiência do usuário, ainda assim, mesmo com sua praticidade é preciso ter em mente que

esse material necessita de dimensionamento, principalmente quando aplicado à função estrutural, devido seus detalhes técnicos e propriedades.

Pensando nisso, a seguir serão destacados os principais comportamentos estruturais da madeira na construção, a saber: flambagem, flecha, cisalhamento e compressão.

1. Flambagem

A flambagem se trata de um fenômeno que ocorre em peças esbeltas quando sujeitas à compressão axial, ou seja, peças onde a seção transversal é menor que o comprimento. Em uma linguagem mais clara, pode-se dizer que esse fenômeno ocorre quando a madeira entorta lateralmente quando submetida à compressão. Quanto maior a discrepância entre a seção transversal e comprimento e quanto mais comprida for a peça, mais ela está sujeita a ação da flambagem (MARGARIDO, 2003).

Caso a flambagem seja muito grave a peça se torna instável. Nesse estado, é observado um deslocamento considerável na seção transversal embora não exista aumento na sua carga axial, o que pode causar danos estruturais. Portanto, é importante verificar a flambagem ao determinar o tamanho da madeira (HABOWSKI, 2018).

2. Flecha

A flecha diz respeito ao comportamento da madeira quando submetida ao esforço superior a sua capacidade de carga que faz com que a peça sofra uma leve falha caracterizada pelo embarrigamento da peça. Esse fenômeno não causa problema estrutural à peça, embora cause um dado estético (FRANÇA, 2007).

Em casos mais críticos a falha pode ocorrer na camada inferior da série, principalmente quando submetida a esforço de tração muito intenso, o que ocasiona na fratura da parte afetada. Para evitar tal processo, é necessário que seja feito o dimensionamento respeitando as medidas estabelecidas em norma para projetos utilizando madeira (LUCENA, 2017).

3. Cisalhamento

O cisalhamento é um fenômeno caracterizado pela deformação em direção e sentidos iguais de uma superfície devido a tensão a qual ela é submetida. As peças de madeira possuem a seção longitudinal composta de fibras paralelas, o que a torna sujeita a ação do cisalhamento. Perto dos apoios onde a força cortante é mais intensa, o cisalhamento pode ser mais expressivo ocasionando em fissuras horizontais nas peças (MANFRINATO, 2015).

Segundo Pellis (2015) devido esse fenômeno, é necessário que sejam feitos ensaios de resistência para verificar a ocorrência de cisalhamento nas peças, além de evitar o preenchimento de grandes vãos com vigas sobrepostas, a fim de evitar a ocorrência desse tipo de deformação.

2.2 PANORAMAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

Desde o início da civilização a madeira é utilizada como parte da matéria-prima empregada para atender às necessidades de habitação. A madeira tem sido amplamente utilizada pela humanidade na combinação de índios brasileiros com outros materiais orgânicos. Com o desenvolvimento da humanidade, ela atendeu às necessidades de habitação de diferentes épocas e diferentes formações culturais, e protegeu as pessoas das intempéries e mudanças climáticas por milhares de anos (GABRIEL; WEIGERT, 2017).

Rovaris (2019) afirma que embora a madeira seja um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, após a Revolução Industrial sua aplicação na construção sofreu uma redução considerável devido a busca pelos novos materiais como concreto e aço.

A aplicação de madeira para na construção com finalidades arquitetônicas e estruturais é muito comum nos países desenvolvidos. Nesses locais é muito é bastante comum as construções de *wood frame*, se que trata de um método construtivo a partir de perfis de madeira (CARASEK, 2007).

2.2.1 Madeira como material de construção no Brasil

A utilização da madeira no Brasil teve início com chegada dos colonizadores portugueses, na história do período colonial brasileiro, ouve uma grande exploração das madeiras tropicais, principalmente da Mata Atlântica e Cerrado bem como das madeiras macias da floresta conífera do sul tropical do país, que eram utilizadas na construção naval, embora também já era empregada nas construções (BATISTA, 2007).

Batista (2007) afirma ainda que a disponibilidade da madeira naquela época em conjunto com à mão de obra qualificada trazida pela imigração, gerou uma série de métodos construtivos com diversas tecnologias mistas europeias. Os trabalhadores disponibilizavam de três materiais: madeira, pedra e argila, dos quais a madeira era o material mais versátil.

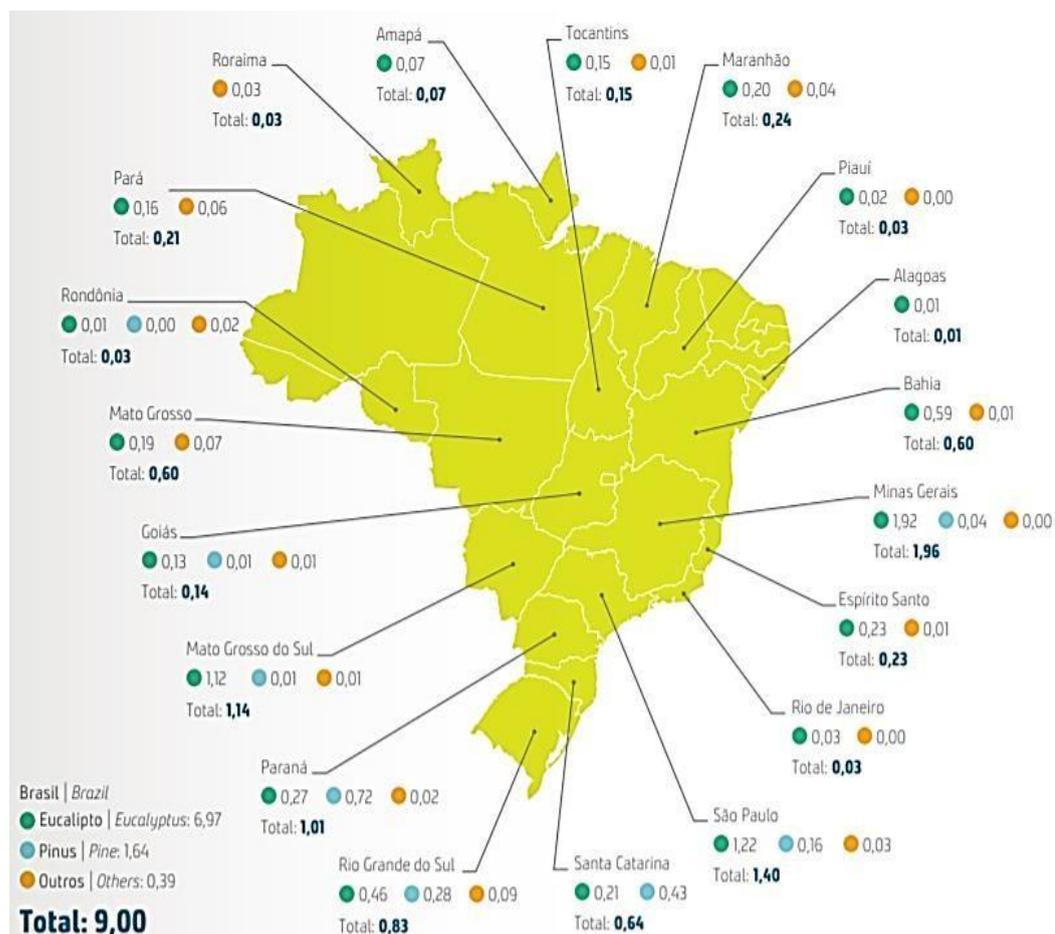
Atualmente o Brasil está entre os grandes produtores e exportadores de madeira no mundo, embora no país a demanda pela matéria prima para fins construtivos ainda seja baixa.

Dados de 2016 mostram que a média mundial do consumo do material é de aproximadamente 0,12m³, sendo que no Brasil o consumo é de apenas 0,096 m³, dentre os maiores consumidores de madeira como matéria prima para a construção estão os EUA (consumo de 0,45m³), Canadá (consumo de 0,75m³), Suécia (consumo de 0,71m³) e Finlândia (consumo de 0,71 m³) (ROVARIS, 2019).

De acordo com a IBA (Indústria Brasileira de Árvores) (2020) o plantio de árvores no país sempre foi um grande indicador de desenvolvimento econômico, ambiental e social, pois promoveu diversos avanços econômicos, proporcionou oportunidades de trabalho e gerou renda para os moradores, além de contribuir para a adaptação e minimização da degradação florestal, clima e ecossistema. O ano de 2019 teve um aumento de 2,04% da área total de plantio de árvores em relação a 2018, atingindo 9 milhões de hectares. Da totalidade de árvores plantadas, grande parte corresponde ao cultivo de eucalipto e pinus.

A figura 02 demonstra o plantio de árvores no Brasil em 2019, separado por estado e gênero.

Figura 2 - Plantio de árvores no Brasil em 2019



Fonte: IBA, 2020

Para os próximos anos, a expectativa é de que haja um crescimento no consumo de madeira no país, assim como novos investimentos, impulsionando de forma direta a relação de oferta e demanda do setor florestal (PONS, 2020).

Em relação ao consumo da matéria prima internamente no Brasil grande parte da madeira é aplicada na produção de papel e energia, enquanto a parcela destinada a construção está dividida conforme a tabela 02.

Tabela 02 – Utilização da madeira em construção no Brasil

Aplicação	Porcentagem de utilização
Telhados	42%
Formas (peças estruturais, peças pré moldadas)	28%
Forro	16%
Esquadrias (portas, janelas, portões, etc.)	9%
Casas pré-fabricadas	3%
Outras aplicações	2%

Fonte: MANFRINATO, 2015 (Adaptado)

No Brasil a madeira como material de construção não é tão utilizada como nos EUA, pois em comparação com os tijolos de argila, possui preço mais elevado na confecção dos mesmos elementos construtivos, somado a cultura de alvenaria tradicional, mantém a madeira como material secundário na construção civil do país.

Segundo Pons (2020) no mercado internacional, prevê-se que se desenrole a chamada guerra comercial entre os Estados Unidos e a China, havendo uma tendência de melhoria das relações comerciais entre os dois países, o que permitirá conhecer melhor o comportamento do mercado internacional. Com a valorização do dólar norte-americano frente ao real, espera-se que a competitividade dos produtos brasileiros nas exportações aumente.

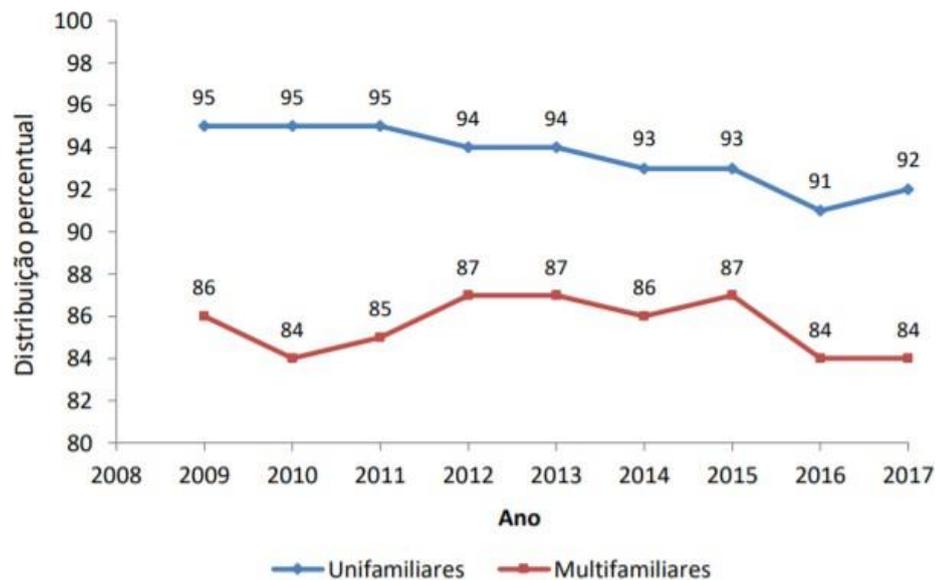
2.2.2 Madeira como material de construção nos EUA

Nos EUA, a madeira é comumente usada na construção de casas e edifícios. De acordo com dados do US CENSUS (*United States Census Bureau*) houve um grande aumento de construções de madeira no país, a proporção de casas unifamiliares *wood frame*, ou seja, construídas com estrutura de madeira alcançou 92% em 2017, no mesmo ano o número de edifícios multifamiliares com esta tecnologia representou 84% (ROVARIS, 2019).

Muito embora o sistema de *wood frame* seja utilizado na construção de edifícios de dois andares há muito tempo, o surgimento de novos incentivos e tecnologias expandiu sua aplicação para a construção de edifícios mais elaborados e com uma quantidade superior a dois pavimentos. Ora, essa evolução têm permitido o uso massivo de madeira nos mais diversos tipos de edifícios e continuam a expandir a possibilidade de aumentar o uso de madeira (CARDOSO, 2015).

A Figura 03 apresenta o crescimento da utilização de *wood frame* para residências unifamiliares e multifamiliares nos EUA de 2009 a 2017.

Figura 3 - Utilização de wood frame para residências unifamiliares e multifamiliares nos EUA



Fonte: ROVARIS, 2019

A indústria americana de produtos de madeira lançou um programa nacional de educação para fornecer aos designers mais oportunidades de educação em madeira, este trabalho teve como objetivo ampliar a visão do uso de estruturas de madeira em edifícios verticais usando vários produtos de madeira e sistemas estruturais inovadores (ALLEN & THALLON, 2011).

2.3 NORMATIVAS DE PROJETO E EXECUÇÃO BRASILEIRA E AMERICANA

No Brasil, as NBRs (Normas Brasileiras) são publicadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). No país a regulamentação da construção em madeira é feita

pela ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) - Projeto de estruturas de madeira, que estabelece as condições de projeto, execução e controle de construções em madeira.

Para a execução de qualquer projeto estrutural em madeira, a NBR 7190 (ABNT, 1997) exige que o serviço seja acompanhado total ou parcialmente por um profissional habilitado. Além disso, o projeto precisa ser composto de memorial e no caso de particularidades de projeto, a norma prevê ainda que sejam feitos detalhamentos de desenhos contendo símbolos gráficos conforme fixado no Anexo A da norma.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) exige sejam detalhados também as classes de resistência das madeiras projetadas, assim como descrição do arranjo global da estrutura, carregamentos, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento das peças estruturais, emendas, ligações e uniões e análise e identificação dos elementos estruturais e suas peças.

De posse dessas informações é realizado um planejamento para a execução, contendo as especificações de montagem e acabamentos, além das demais informações que forem pertinentes para garantir o desempenho de cada edificação (MANFRINATO, 2015).

Segundo Rovaris (2019) os códigos de construção dos EUA são mais tolerantes fornecendo aos projetistas várias opções para criar projetos de estrutura de madeira seguros e econômicos em edifícios verticais, muito embora existam restrições estruturais a respeito da altura do edifício.

Nos EUA, a regulamentação dos projetos de estrutura de madeira é feita pela norma NDS (*National desing specification for wood constructuion*) de 1991. Essa norma baseia-se na determinação de tensões admissíveis para o dimensionamento (ALLEN & THALLON, 2011).

2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

Assim como qualquer outra tecnologia empregada na construção civil, seja como material ou sistema construtivo, a madeira possui vantagens e desvantagens em relação a sua utilização. A tabela 03 apresenta uma relação entre as vantagens e desvantagens da utilização da madeira na construção, posteriormente cada tópico será explicado.

2.4.1 Vantagens

As vantagens relacionadas a utilização da madeira como matéria prima para a construção estão relacionadas principalmente à suas propriedades. Embora atualmente no Brasil

é mais comum o emprego da alvenaria e parede de concreto em função da *wood frame*, fatores como sustentabilidade e eficiência energética da madeira superam os métodos tradicionais (CARDOSO, 2015).

1. Fonte renovável de matéria prima

A madeira se trata de uma fonte renovável de matéria prima. Embora atualmente o desmatamento seja pauta de diversas discussões, a madeira para emprego na construção pode e deve ser derivada de reflorestamento por diversos motivos: o crescimento das árvores é rápido, se trata de um processo limpo, não agride o meio ambiente, além de contribuir para a saúde do planeta e se produzida e consumida com responsabilidade e planejamento, se torna um insumo extremamente abundante (HABOWSKI, 2018).

2. Resistencia

Possui uma alta resistência mecânica em relação a massa específica. Confere à edificação uma estrutura não tão robusta e contribui para a minimização de cargas, não sofre oxidação e proporciona uma redução de custos de projeto. Além disso, estruturas de madeira possuem uma boa resistência à exposição a altas temperaturas se comparada ao aço, por exemplo (SPANIOL, 2018).

3. Ganho energético

Comparada a outros materiais mais tradicionais na construção civil como aço, vidro e concreto, a madeira apresenta um consumo energético consideravelmente inferior. Além de obter essa diferença devido seu processo produtivo e ausência de emissão de poluentes, o transporte do insumo são notavelmente mais leve uma vez que apresenta baixa densidade (SILVA, 2018).

4. Bom isolante térmico e acústico

As estruturas em madeira possuem a capacidade de retenção de calor, o que confere um equilíbrio ao ambiente, no frio mantem o local quente, enquanto no calor o ambiente fica fresco. Em relação ao conforto acústico, as estruturas de madeira fazem a absorção das ondas sonoras, não permitindo que haja uma grande propagação de som fazendo com que os ruídos gerados no ambiente não ecoam pelo local (BARBOSA, 2019).

5. Versatilidade

Outro fator extremamente vantajoso no uso da madeira, é sua versatilidade para a aplicação na construção civil, uma vez que, pode ser utilizadas nas mais diversas peças estruturais como vigas, pilares, placas, forros, painéis, pisos. Além disso, pode ainda ser utilizada em estruturas temporárias como formas, andaimes, fechamentos, etc. (SILVA, 2018).

Diante disso, é possível observar que as vantagens da aplicação da madeira na construção civil são inúmeras. Entretanto, para que o desempenho da estrutura seja alcançado, é preciso que sejam respeitadas as especificações de projeto e dimensionamento, assim como manuseio, especificações e execução do material.

2.4.2 Desvantagens

Embora a madeira apresenta uma serie de benéficos quando empregada como matéria prima na construção, existem ainda algumas entraves que dificultam sua utilização. No que diz respeito as desvantagens, pode-se destacar alguns obstáculos como o baixo nível de conhecimento sobre o assunto, falta de mão de obra especializada e dificuldade de aplicações a lugares úmidos (BARBOSA, 2019).

1. Falta de conhecimento

Embora a madeira seja empregada na construção desde o início dos tempos, ainda é muito comum perceber um certo preconceito quanto a utilização do material. Existem profissionais que enxergam a madeira como um material inadequado para a construção, principalmente por não conhecer as aplicações, características e propriedades físicas e mecânicas da matéria prima Shigue (2018).

2. Mão de obra especializada

Alguns autores como Shigue (2018) e Souza (2012) e defendem que a medida em que a utilização de sistemas construtivos tradicionais foi se tornando mais comum, a mão de obra especializada para as construções em madeira foi se tornando mais escassa, em parte, devido a própria falta de conhecimento já citada anteriormente. Shigue (2018) afirma ainda que essa falta de mão de obra não atinge somente o setor de construção civil, mas afeta também o setor florestal.

3. Baixa resistência a umidade

Outro ponto negativo da aplicação desse tipo de sistema construtivo é sua baixa resistência a umidade, principalmente abaixo do ponto de saturação das fibras, mesmo que tratada a madeira ainda pode apresentar variações de dimensão quando submetida a ação da umidade (CARDOSO, 2015).

4. Baixa resistência a fungos

As peças de madeira apresentam uma certa suscetibilidade a ataques de fungos e insetos, para proteger a madeira desses ataques, as matérias-primas passam por um processo denominado autoclavagem, método de esterilização que remove as bactérias da madeira por meio de vapor em alta temperatura. Esse método também é utilizado para a proteção contra a umidade excessiva (SILVA, 2018).

2.5 EXEMPLOS DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO BRASIL E NOS EUA

Conforme mencionado, a utilização de madeira na construção civil, principalmente em técnicas *wood frame*, está amplamente sendo empregada em todo o mundo, embora atualmente já existem aplicações das mais diversas formas.

Nesse contexto, serão apresentadas algumas construções realizadas em madeira no Brasil e EUA.

- Edifício Floresta Urbana localizado em São Paulo, Brasil. Ilustrado pela figura 04.

Figura 4 - Edifício Floresta Urbana



Fonte: MENGUE, 2020

- Arranha-céu *Framework* construído nos EUA. Ilustrado pela figura 05.

Figura 5 - Arranha-céu Framework - EUA



Fonte: ROVARIS, 2019

- Construção *wood frame*, sul do Brasil. Ilustrado na figura 06.

Figura 6 - Wood frame construída no sul do Brasil



Fonte: SHIGUE, 2018

- Edifício *River Beech Tower* em Chicago EUA. Ilustrado pela figura 07.

Figura 7 - Edifício River Beech Tower - Chicago EUA



Fonte: ROVARIS, 2019

3 ESTUDO DE CASO

Obras em madeira (Figura 8) são bastante comuns nos Estados Unidos para este estudo de caso será apresentado a construção de uma residência unifamiliar localizada nos Estados Unidos da América, no estado de Nova York, portanto a construção deve atender aos requisitos regulamentadores definidos pelo estado.

Todas as obras devem estar em conformidade com o código de construção do estado de Nova York, última edição documento normatizador que atribui regras as construções locais em paralelo com Brasil o equivalente a um plano diretor e aos códigos de obras municipais.

Figura 8 - Obras em madeira no estado de Nova Iorque



FONTE: AUTOR, 2021

Esta residência será composta por um porão, dois andares sociais e um sótão, esta configuração é bastante comum nos EUA, o que promove um ótimo aproveitamento do terreno.

O processo construtivo é baseado em alvenaria e madeira a partir do primeiro andar da residência, onde o porão é abaixo no nível do solo e feito sobre uma fundação de concreto

cercado por bloco de concreto para as paredes. Os demais andares são feitos em madeira seguindo os parâmetros de segurança normatizados pelo órgão local.

3.1 NOTAS GERAIS DA CONSTRUÇÃO

Toda a execução deve ser adequada como mostrada no projeto, onde ações específicas são fornecidas, as conexões devem ser semelhantes em toda a execução seguindo o projeto.

A contratada deve preparar desenhos de fábrica quando necessário, para mostrar todos os itens de trabalho que requerem a aprovação do arquiteto

3.1.1 Alterações e condições existentes

Devem ser verificadas todas as dimensões e elevações no local Todos os cortes e remendos necessários devem ser realizados a mão.

Todos os escoramentos, amarrações, cunhas e embalagem seca, devem ser fornecidos pela contratada executora da obra que também será responsável pela segurança da estrutura durante a execução.

O empreiteiro será obrigado a reparar e remendar todas as áreas que foram alteradas ou danificadas durante o processo de execução.

O contratante é alertado para fazer observações contínuas da estrutura existente durante a execução de seu trabalho, caso ele se torne avisado de qualquer situação que requeira investigação ou estudo adicional (como rachaduras na alvenaria e divisórias, deflexões adicionais, etc.) Ele deve notificar o engenheiro / arquiteto

3.1.2 Notas de alvenaria

Paredes de alvenaria devem ser blocos de concreto de qualidade, $F_w = 2000 \text{ PSI}$ (13,79 Mpa). A empreiteira contratada deverá fornecer parede galvanizada padrão reforçando todos os outros processos, manta têxtil impermeabilizante (*Fabric Flashing*) para baldrame, todas as aberturas e juntas devem ser calafetadas.

As juntas de dilatação devem ser utilizando um produto imperializaste, ou iguais aprovadas.

As unidades de alvenaria de concreto devem ser conforme exigidas para os blocos sólidos dos projetos, se necessário, deve ser 75% sólido em todas as direções perpendiculares ao rolamento, fornece reforço horizontal em cada outro sentido da parede ou igual aprovado.

O contratante será responsável por verificar os requisitos locais para inspeções, certificações do bloco de concreto fornecido no projeto e requisitos locais para apresentação dos mesmos ao departamento de construção, ou outra autoridade local, incluir todas as taxas e serviços em seu preço final.

3.1.3 Notas de madeira

O contratante deve fornecer todos os acessórios, como ganchos de viga, parafusos de fixação, parafusos de ancoragem, pontes metálicas, etc., conforme necessário para a conclusão do projeto, os ganchos de viga e conexões de madeira devem estar em conformidade com o padrão aprovado como fabricado pela empresa Simpson CO. ou empresa semelhante.

A madeira serrada estrutural deve ser *Douglas fir*, *Southern pine* ou outra espécie semelhante, tensões admissíveis $f_b = 1400$ (9,65 Mpa) PSI; $E = 1600$ KSI (11 GPa).

Fornecer ligações (vãos) para as vigas do piso de no máximo 8'-0" (2,44 m), fornece reforço adequado para vigas construídas. Duplique a parte inferior dos postes apoiados em vigas com apoio de madeira nas vigas do piso.

A cortina de fogo deve ser fornecida nas paredes quando exigido pelo código de obras local. Todas as madeiras estruturais expostas às intempéries devem ser tratadas sob pressão.

Devem ser utilizados conectores galvanizados como pregos em todas as superfícies externas.

As vigas vazadas, onde especificado devem ser do tamanho indicado nos projetos, fornecem parafusos de 1/2 " (12,7 mm) de diâmetro com porcas e arruelas em 12" (30,28 cm) O.C superior e inferior, a placa de aço deve ser de aço A36.

3.1.4 Fundação e concreto

O concreto para toda a fundação, lajes no solo, lajes reforçadas, etc. Deve ser de concreto de 3.500 LB (24,13 MPa) em 28 dias, a menos que especificado de outra forma, nenhum concreto deve ser colocado em solo congelado.

Nenhuma ação deve ser tomada até que a escavação tenha sido vista e aprovada pelo departamento de construção local, o empreiteiro será responsável por verificar os requisitos

locais para inspeções de engenheiro ou arquiteto, as quais incluem inspeções de controle e relatórios do cilindro de concreto incorporando seu preço no orçamento final.

O pé isolado deve ser abaixado ou levantado, pilares devem ser adicionados, reduzindo ou aumentando sua altura, tudo conforme aprovado pelo arquiteto onde o solo com a capacidade de suporte especificada for encontrado em uma elevação mais baixa ou mais alta do que mostrado. O preenchimento contra as paredes da fundação não deve ser feito até que as paredes tenham atingido a resistência suficiente e as paredes estejam devidamente escoradas e reforçadas.

As bordas das sapatas não devem ser colocadas em uma inclinação maior que 1 (vertical) a 2 (horizontal) em relação a quaisquer sapatas adjacentes.

O empreiteiro deve garantir e proteger todas as escavações.

As bordas do concreto da armadura de reforço deve ser o seguinte:

- 3/4 (20 mm) para laje estrutural 1º onde as lajes são formadas no solo.
- 2 " (50 mm) para os laterais das vigas, pilares e paredes.
- 3 "(75 mm) para sapatas.

Todas as barras de reforço NO.3 e maiores devem ser barras deformadas de aço novo de grau intermediário em conformidade com ASTM A-60, a menos que especificado de outra forma nos projetos, arame soldado igual ao A-82 e ter uma resistência à tração mínima de 70.000 PSI (482,63 MPa).

O contratante deve verificar todos os desenhos para coordenação entre as operações, localizar parafusos, luvas e valas conforme necessário para operações mecânicas, fornece ou instalar âncoras, inserções, ganchos conforme necessários para vários trabalhos.

A contratada deve apresentar desenhos de fábrica detalhados e reforçados para aprovação quando o reforço é especificado. Antes de prosseguir com o trabalho, a contratada deve verificar todas as dimensões e aceitar a responsabilidade total pela correção dimensional, nenhum desenho estrutural deve ser reproduzido para uso como desenho de fábrica.

As juntas nas paredes da fundação não devem ter mais do que 8-0 " (2,44 m) de distância e não menos do que 8-0" (2,44 m). Juntas horizontais não serão permitidas. Seguindo a última edição padrão para todos os detalhes de construção de concreto, suportes de reforço de ancoragem.

Três amostras de concreto de cada caminhão devem ser retiradas do misturador e testadas em compressão de acordo com ASTM C39-61, por um laboratório de testes qualificado. Um cilindro deve ser testado em sete dias e dois cilindros devem ser testados em

28 dias. Sendo necessário os registros de abatimento, conteúdo de ar, peso unitário e temperatura devem ser feitos e relatados com ensaios de compressão.

Instruções para paredes de fundação de sapatas, devem ser fornecidas conforme mostrado nas seções detalhadas. Todas as placas de base de coluna e bases de coluna abaixo da laje devem ser concretadas ao redor. Todo o trabalho deve estar em conformidade com os requisitos especificados do código de construção do estado, o que for rigoroso.

3.2 FUNDAÇÃO

A fundação utilizada nesta residência é o Radier, que devido ao porte da construção e ao tipo de terreno é mais vantajosa pelo fator mão de obra e material. Uma vez que a mão de obra americana tende a ter elevado custo, assim processos que demandem menos trabalho e maior agilidade são mais utilizadas.

O concreto utilizado para toda a fundação e laje no solo foi o de 3.500 LB em 28 dias, se atentando ao fato de que o concreto não deve ser colocado em solo congelado, pois o mesmo provoca uma aderência fraca e diminui a resistência em contato pelo aumento do fator água/concreto e pelo atraso da cura devido a temperatura.

O preenchimento contra as paredes da fundação não é feito até que as paredes tenham atingido a resistência suficiente e as paredes estejam devidamente escoradas e reforçadas.

As bordas do concreto da armadura de reforço são o seguinte:

- 3/4 (20 mm) para laje estrutural 1° onde as lajes são formadas no solo.
- 2" (50 mm) para os laterais das vigas, pilares e paredes.

Todas as barras de reforço NO.3 são barras deformadas de aço novo A-60, a menos que especificado de outra forma nos projetos, arame soldado igual a A-82 e ter uma resistência à tração mínima de 70.000 PSI (482,63 MPa).

As juntas nas paredes da fundação possuem cerca de 8-0 " (2,44 m) de distância. Juntas horizontais não são utilizadas.

Todas as placas de base de coluna e bases de coluna abaixo da laje são engastadas com 3" (7,62 cm) de concreto ao redor.

3.3 PORÃO

O porão é um andar subterrâneo, feito sobre o radier com paredes de alvenaria e pilares que vão acima do nível do solo de encontro com a laje do 1º Andar. A alvenaria tem como objetivo fazer a contenção do solo lateral e possuir propriedades de vedação da temperatura.

Este andar é comumente utilizado como depósito, lavanderia, adega ou sala de atividades.

O porão deve ser devidamente construído seguindo as normas vigentes locais que podem variar dependendo do município ou região distrital e regulamentam a quantidade de saídas a ventilação.

É no porão que são inseridos os elementos estruturais responsáveis por sustentar a casa como a viga metálica e a escora metálica concretada no solo (Figura 9) a madeira utilizada para laje do porão foi tratada para resistir a umidade, fungos e insetos.

Figura 9 - Porão finalizado inserção da base da casa



FONTE: AUTOR, 2021

3.4 1º ANDAR

A partir do primeiro andar (Figura 10) começa a se utilizar de madeira para os elementos estruturais e de vedação, a laje piso é feita a partir de um arranjo de vigas conectadas por ligações metálicas.

As ligações (vãos) para as vigas do piso de no máximo 8'-0" (2,44 m), para fornecer reforço adequado para vigas construídas, e duplicadas na parte inferior dos postes apoiados em vigas com apoio de madeira nas vigas do piso.

É utilizada uma cortina de fogo nas paredes nos locais exigido pelo código.

Todas as madeiras estruturais expostas às intempéries devem ser tratadas sob pressão. Os conectores galvanizados como pregos foram utilizados em todas as superfícies externas.

Figura 10 – obra 1º andar



FONTE: AUTOR, 2021

As Vigas vazadas, onde especificado são do tamanho indicado nos projetos, utilizando parafusos de 1/2 " (1,27 cm) de diâmetro com porcas e arruelas em 12" (30,28 cm) O.C superior e inferior, a placa de aço é de aço A36.

Para produção das vigas utilizadas para sustentação da laje o material utilizado foi Madeira laminada colada (MLC), "*Glued Laminated Timber*" em inglês, é um material estrutural fabricado através da união de segmentos individuais de madeira, colados com adesivos estruturais a base de melamina ou poliuretano.

3.5 2° ANDAR

No segundo andar (Figura 11) o método construtivo foi o mesmo apresentado no primeiro andar onde utilizou-se de madeira serrada estrutural é Douglas fir, Southern pine e Glulam (Madeira laminada colada para vigas da laje, E uma madeira que compreende várias camadas de madeira colada com adesivos estruturais duráveis e resistentes à umidade, paredes com cortina de fogo nos devidos locais exigidos, todas as madeiras estruturais expostas devidamente tratadas, entre o primeiro e segundo andar ouve diferenciação somente em decorrência da locação dos cômodos ambientados no segundo andar.

Figura 11 – obra 2° andar

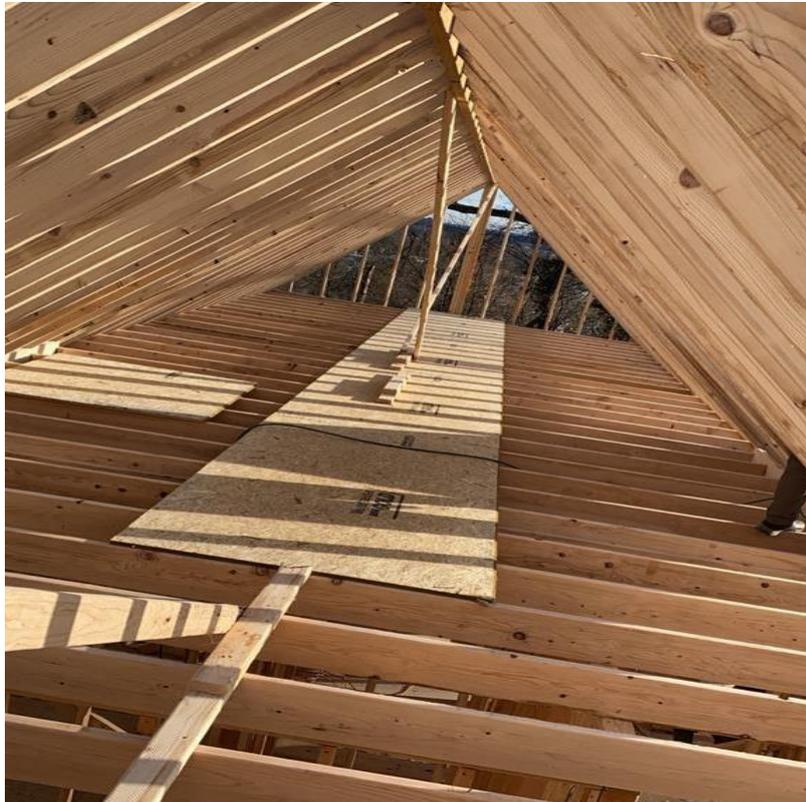


FONTE: AUTOR, 2021

3.6 SÓTÃO

No sótão (Figura 12) o método construtivo foi o mesmo apresentado no primeiro e segundo andares onde utilizou-se de madeira serrada estrutural é Douglas fir, Southern pine para elementos estruturais e Glulam para vigas da laje, a planta do sótão é apresentada na Figura 14.

Figura 12 - Construção do sótão



FONTE: FONTE: AUTOR, 2021

3.7 REVESTIMENTO, PISOS E LAJES

Com o fim da construção, dos principais elementos estruturais e o esqueleto concluído (Figura 13 e 14) ocorre o início da etapa de revestimentos, dos pisos, lajes e telhado.

Os pisos de toda casa e revestimento externo foram feitos com *Plywood* um tipo de madeira compensada tratada que não possui a função estrutural porem apresenta ótima capacidade de revestimento podendo ser exposta a umidade. O Plywood aplicado na piso da casa e mais espesso variando de 5,0 a 8,0cm ja o aplicado nas paredes externa e telhado variam de 1,0 a 3,0cm.

Figura 13 - estrutura da residência concluída



FONTE: AUTOR, 2021

Outra opção para a alvenaria que poderia ser adotada para as paredes internas é o *drywall* constituído por perfis guias de aço galvanizado para montagem e placas constituídas da mistura de água, gesso e aditivos entre duas lâminas de cartão comercializados em três tipos.

Drywall standard (ST): disponível nas cores branca e cinza é indicado para uso em áreas secas.

Drywall resistente a umidade (RU): disponível na cor verde com hidrofugantes em sua composição é indicado para áreas expostas temporariamente a umidade em áreas de umidade constante não é indicado uso de *drywall*.

Drywall resistente ao fogo (RF): disponível na cor rosa com fibra de vidro em sua composição possui resistência ao fogo e a calor.

A seleção da opção *plywood* ocorreu em virtude de características técnicas e orçamentarias. Na figura 14 já foi aplicado todo o *plywood* de revestimento externo e interno menos o do telhado.

Figura 14 - construção em madeira



FONTE: AUTOR, 2021

3.8 BALANÇO FINANCEIRO

De acordo com Wentland (2021) os custos de uma construção variam nos Estados Unidos variam entre US \$ 158.572 (R\$ 849.010,35) e US \$ 478.600 (R\$ 2.562.472,26) com média nacional US \$ 303.373 (R\$ 1624289,38).

Tamanho e forma também influenciam o custo final sendo em média para casas em madeira entre US \$ 150 (R\$ 1070,82) e US \$ 250 (R\$ 1338,52) por pé quadrado sendo uma casa padrão inclusos valores referentes a ligação com as redes de serviço das cidades. Casas customizadas com cômodos grandes custam no mínimo US \$ 500 por pé quadrado.

Os materiais de construção representam cerca de metade do custo total da obra enquanto o terreno representa entre 5 e 8% do custo total de construção a fundação representa entre 10 e 15 % dos custos e a estrutura da casa representara dependendo do projeto de 10 a 20 % do total investido.

Os acabamentos internos representaram entre 15 e 20 % e o externo entre 25 e 35%.

Para casas de mesmo padrão a estrutura de madeira pode ter um custo por pé quadrado entre US \$ 10 (R\$ 53,54) a US \$ 15 (R\$ 80,31) menor que construídas em aço.

As casas em concreto podem ser entre US \$ 5 (R\$ 26,77) e US \$ 8 (R\$ 42,83) mais caras que as em aço ou em madeira (Figura 13) por pé quadrado geram economia de 20 a 30% no custo de aquecimento e refrigeração ao longo da vida útil da casa. O custo de uma residência em concreto pode ser de US \$ 5 (R\$ 26,77) a US \$ 8 (R\$ 42,83) por pé quadrado mais cara que casas de estrutura metálica ou em madeira porem economiza em climatização durante a vida útil da casa (WENTLAND, 2021) A média nacional de custo de obra é de US \$ 150,00 (R\$

803,12) por pé quadrado considerando diversos, materiais e níveis de acabamentos. Considerando que 1 m² é aproximadamente 10,76 pés quadrados o custo médio para construção de uma casa nos estados unidos é de R\$ 8641,57 por m². O metro quadrado no Brasil de acordo com IBGE encontrasse na figura 15 com desoneração e na Figura 16 não desonerada.

Figura 15 - Custo do m² desonerado no Brasil

Custo do m² da construção no Brasil (Considerando a desoneração da folha de pagamento)			
Mês	Total	Variação	
		Mês	12 meses
Março/2021	R\$ 1.338,35/m ²	1,45%	14,46%
Fevereiro/2021	R\$ 1.319,18/m ²	1,33%	13,22%
Janeiro/2021	R\$ 1.301,84/m ²	1,99%	12,01%
Dezembro/2020	R\$ 1.276,40/m ²	1,94%	10,16%
Novembro/2020	R\$ 1.252,10/m ²	1,82%	8,30%
Outubro/2020	R\$ 1.229,72/m ²	1,71%	6,48%
Setembro/2020	R\$ 1.209,02/m ²	1,44%	4,89%
Agosto/2020	R\$ 1.191,84/m ²	0,88%	3,78%
Julho/2020	R\$ 1.181,41/m ²	0,49%	3,33%
Junho/2020	R\$ 1.175,62/m ²	0,14%	3,52%
Mai/2020	R\$ 1.174,02/m ²	0,17%	3,74%
Abril/2020	R\$ 1.172,05/m ²	0,25%	3,68%
Março/2020	R\$ 1.169,15/m ²	0,35%	3,77%

Fonte: IBGE

FONTE: FARIA, 2021

Figura 16 - Custo do m² não desonerado no Brasil

Custo do m² da construção no Brasil (Sem desoneração da folha de pagamento*)			
Mês	Total	Variação	
		Mês	12 meses
Março/2021	R\$ 1.426,47/m ²	1,39%	13,70%
Fevereiro/2021	R\$ 1.406,89/m ²	1,26%	12,54%
Janeiro/2021	R\$ 1.389,40/m ²	1,22%	11,40%
Dezembro/2020	R\$ 1.363,23/m ²	1,82%	9,59%
Novembro/2020	R\$ 1.338,83/m ²	1,72%	7,89%
Outubro/2020	R\$ 1.316,24/m ²	1,60%	6,19%
Setembro/2020	R\$ 1.295,48/m ²	1,35%	4,70%
Agosto/2020	R\$ 1.278,18/m ²	0,82%	3,69%
Julho/2020	R\$ 1.267,75/m ²	0,49%	3,30%
Junho/2020	R\$ 1.261,56/m ²	0,13%	3,49%
Mai/2020	R\$ 1.259,86/m ²	0,17%	3,72%
Abril/2020	R\$ 1.257,74/m ²	0,26%	3,66%
Março/2020	R\$ 1.254,47/m ²	0,36%	3,73%

Fonte: IBGE

FONTE: FARIA, 2021

Figura 11 - custo unitário básico R-1

custo unitario basico Sinduscon-GO			
mês	total	variação	
		mês	12 meses
março/2021	R\$ 2.218,70 /m ²	1,99%	10,92%
fevereiro/2021	R\$ 2.174,49 /m ²	0,21%	9,11%
janeiro/2021	R\$ 2.169,94 /m ²	0,75%	9,47%
dezembro/2020	R\$ 2.153,72 /m ²	0,66%	8,81%
novembro/2020	R\$ 2.139,48 /m ²	0,57%	8,26%
outubro/2020	R\$ 2.127,27 /m ²	1,66%	9,15%
setembro/2020	R\$ 2.091,93 /m ²	3,80%	7,64%
agosto/2020	R\$ 2.012,50 /m ²	1,40%	4,36%
julho/2020	R\$ 1.984,23 /m ²	0,89%	2,96%
junho/2020	R\$ 1.966,57 /m ²	-0,44%	2,15%
maio/2020	R\$ 1.975,16 /m ²	-0,07%	2,58%
abril/2020	R\$ 1.976,63 /m ²	0,02%	3,76%
março/2020	R\$ 1.976,32 /m ²	0,00%	2,64%

FONTE: Sinduscon-GO adaptado, 2021

Figura 17 - construção de casas geminadas



FONTE: AUTOR, 2021

Os Principais aspectos de uma casa geminada são o seu telhado e fundação continua e uma única parede as dividindo. Algumas estruturas têm parede dupla com um espaço de ar de centímetros de largura para melhor isolamento acústico essa mesma parede deve ser mais resistente que as demais e suporta 1 hora de fogo. Uma casa geminada geralmente e menor e menos luxuosa do que uma casa padrão americana, com menos privacidade pois o quintal e uma área comunitária. A grande vantagem além do aspecto econômico e que toda manutenção externa e feito por terceiros como jardinagem. O modelo de casa geminada mais básico não possui garagem, o estacionamento e na entrada da casa.

4 CONCLUSÃO

O método construtivo *wood frame* apresenta vantagens a versatilidade, resistência mecânica, a possibilidade de renovação da matéria prima, o baixo custo energético e o bom isolamento térmico e acústico e como características a serem observadas há o emprego de mão de obra capacitada que não é facilmente encontrada e o material madeira é suscetível a ataques de fungos e através de umidade.

Considerando as características gerais da obra *wood frame* fica evidente que para obras unifamiliares com devido acesso a mão de obra capacitada o método construtivo é rápido e versátil uma boa alternativa para construção.

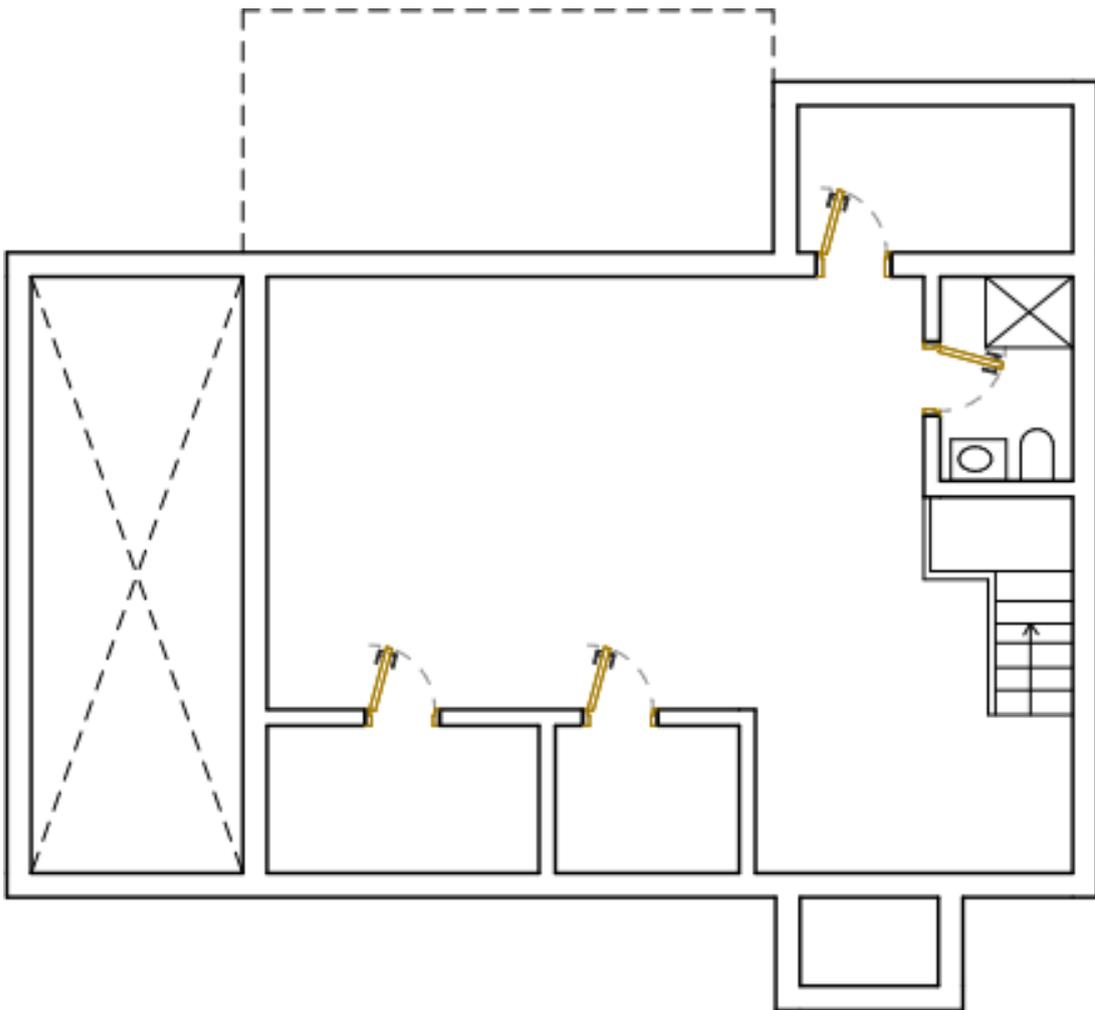
Considerando custo e tempo as obras mais vantajosas nos EUA são as casas geminadas aonde uma casa unifamiliar demora cerca de 3 meses para ser feita. Já a casa geminada demora de 8 a 10 meses sendo que se faz 6 a 8 casas juntas, o processo de construção de uma casa para outra vai se repetindo sendo assim mais rápido sua execução.

Necessário considerar que a casa em madeira pode custar mais sendo de 33% a 67% mais cara que a média construtiva estados unidense porem mais barata construções com concreto como principal material construtivo que tem maior custo construtivo médio e gera economia em climatização.

O investimento médio por metro quadrado relativo à construção de casas nos Estados Unidos é maior em comparação com Brasil sugere-se para trabalhos futuros avaliar a que ponto e em qual proporção essa variação de custo está relacionada a fatores como qualificação da mão de obra, custo de materiais, transportes de equipamentos e pessoas e encargos governamentais.

APÊNDICE A
PLANTA PORÃO

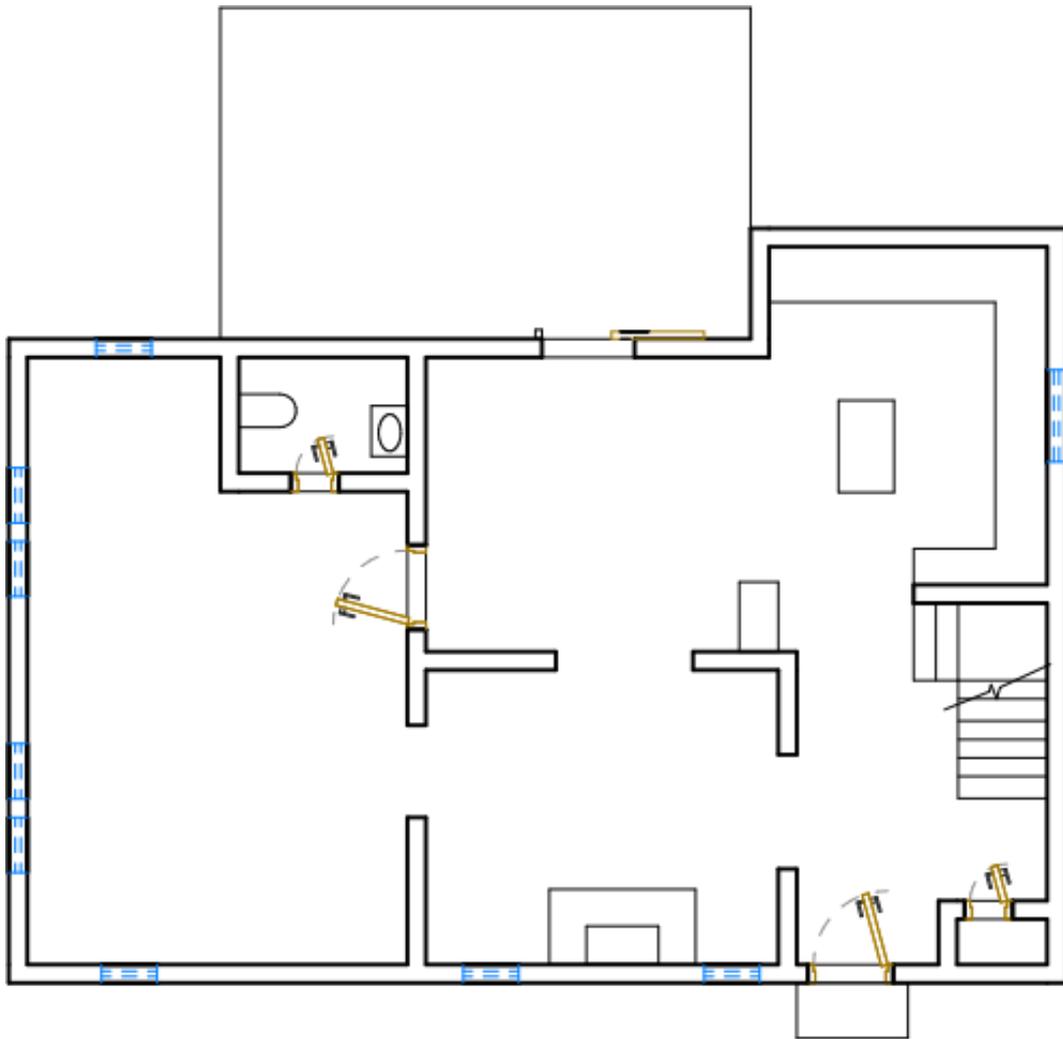
Figura 19 - planta porão



FONTE: AUTOR, 2021

APÊNDICE B
PLANTA 1º ANDAR

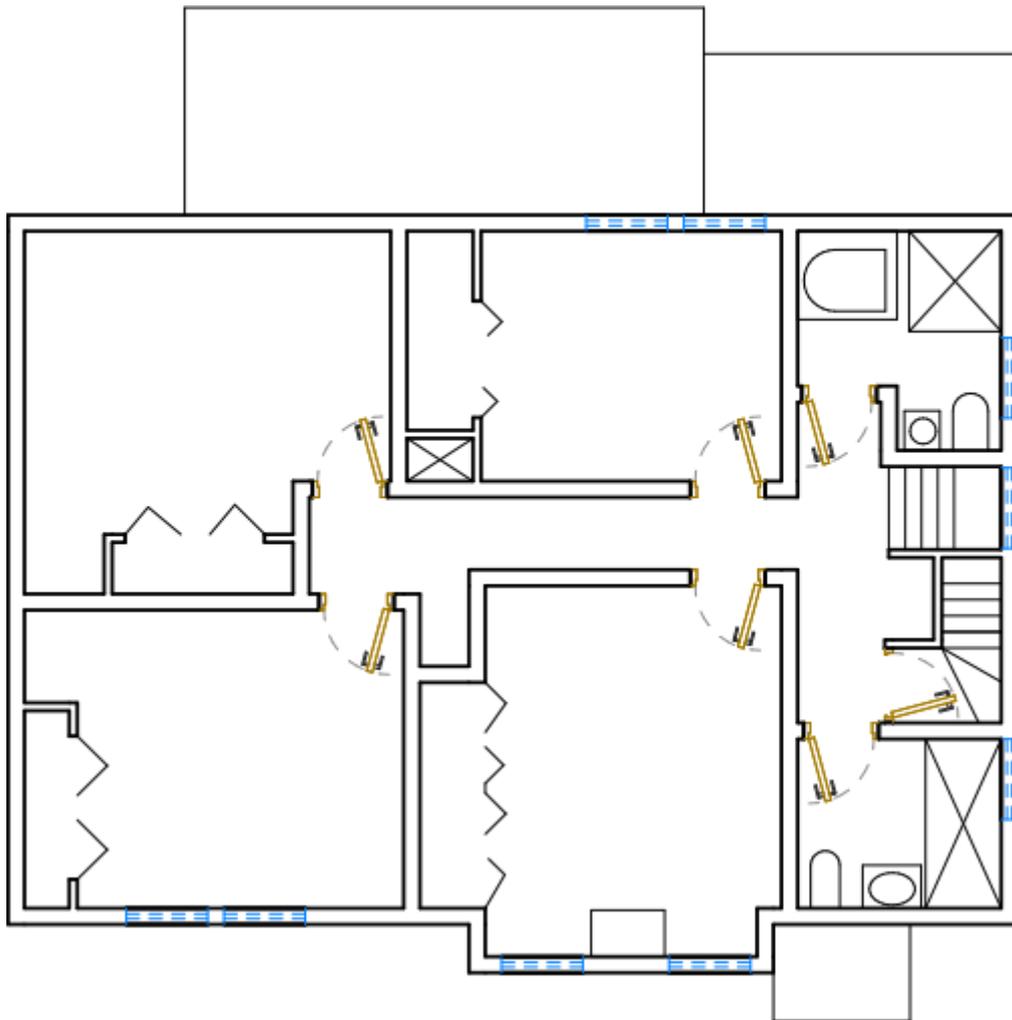
Figura 20 - Planta primeiro andar



FONTE: AUTOR, 2021

APÊNDICE C
PLANTA SEGUNDO ANDAR

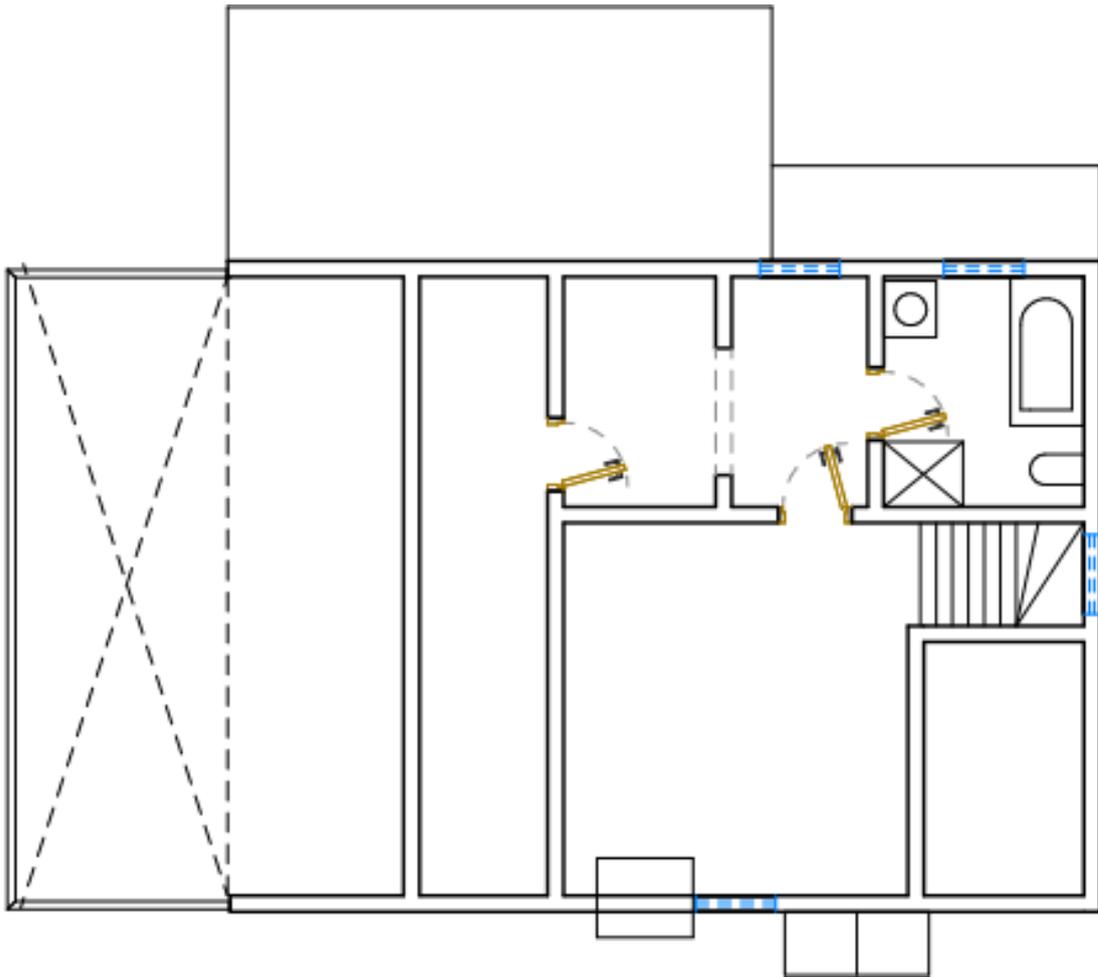
Figura 21 – Planta segundo andar



FONTE: AUTOR, 2021

APÊNDICE D PLANTA SÓTÃO

Figura 22 - Planta sótão

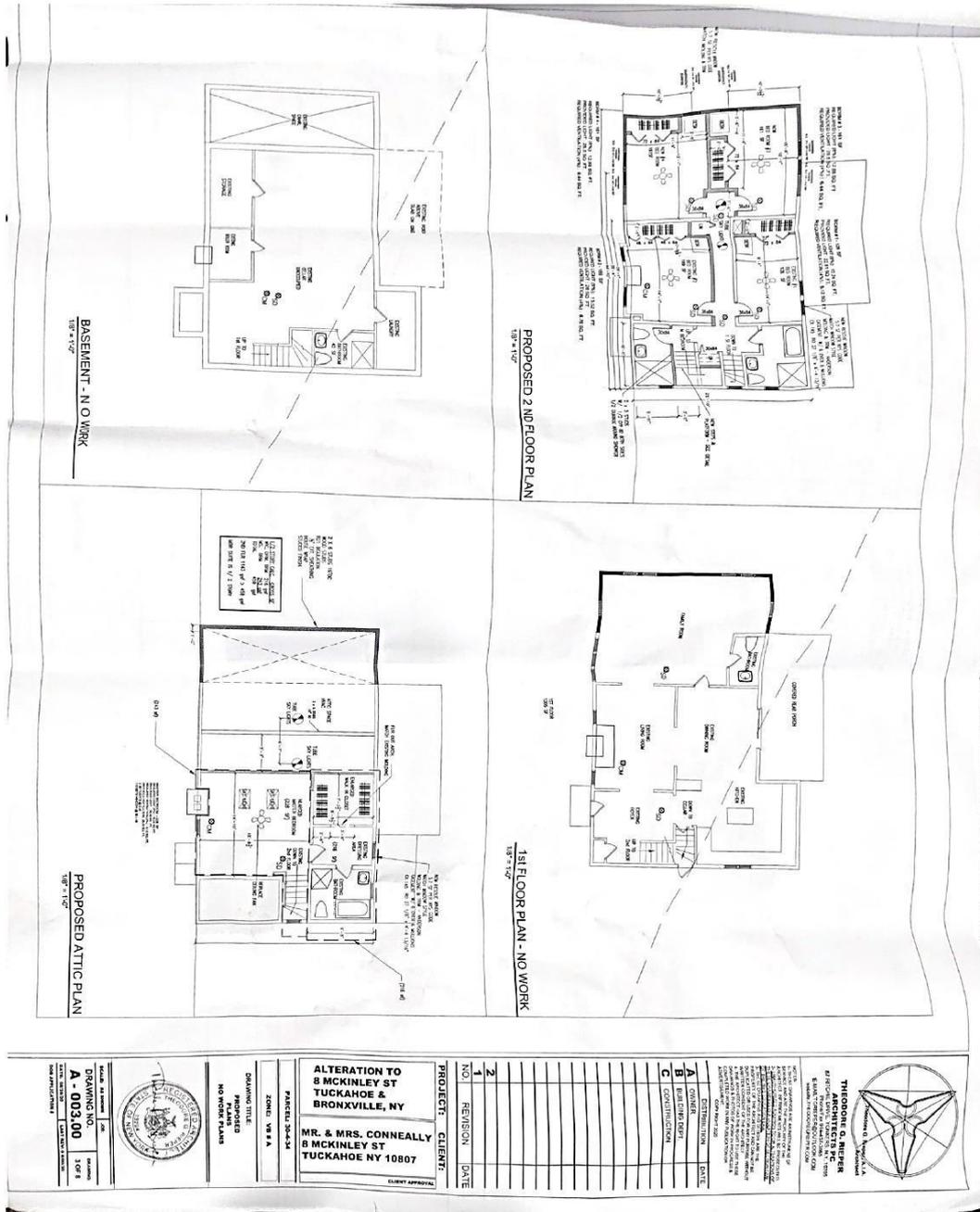


FONTE: AUTOR, 2021

APÊNDICE E

PROJETO PAGINA 1

Figura 25 - Projeto pagina 1



REFERÊNCIAS

AFLALO, Marcelo. **Madeira como estrutura: a história da Ita - Wood as structure: the story of Ita**. Paralaxe: São Paulo, 2005.

ALLEN, E.; THALLON, R. **Fundamentals of Residential Construction**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. ABNT. Rio de Janeiro, 1997.

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea**. 2007. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2007.

BARBOSA, Iutah Cristal Dezidério de Veras. **Análise comparativa entre os métodos construtivos de concreto armado e madeira em uma residência unifamiliar no Tocantins**. Monografia. Universidade Federal do Tocantins: Palmas, 2019.

CARDOSO, Larriê Andrey. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, 2015.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

FIGUEIREDO, Ricardo Jatobá. **Estudo de caso do uso da madeira reflorestada no mobiliário para redução das emissões**. Dissertação de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, 2014

FARIA, Renato. **Veja o valor do metro quadrado na construção civil neste mês**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/veja-o-valor-do-metro-quadrado-na-construcao-civil-neste-mes/18498>. Acesso em: 05 maio 2021.

FRANÇA, Klaydson D. Lopes. **Estudos de reforços de elementos estruturais de madeira com estrutura metálica, em edificações antigas**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade de Ouro Preto: Ouro Preto, 2007.

GABRIEL, Marco A. M.; WEIGERT, Ivylyn. **Inventário da arquitetura Ítalo Gaúcha em madeira como processo de educação patrimonial em Pato Branco – PR**. Artigo. 1º Simpósio Científico ICOMOS Brasil: Belo Horizonte, 2017.

HABOWSKI, Dassaev. **Estudo da viabilidade da utilização de madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Pato Branco, 2018.

IBA. Relatório Anual. Industria Brasileira de Arvores. Fundação Getulio Vargas, 2020.

JÚNIOR, Carlos Roberto Cordeiro; SILVA, Wendna Cristina Rocha; SOARES, Paulo de Tarso Machado Leite. **Uso da madeira na construção civil**. Artigo. Projectus. Rio de Janeiro, 2017.

LEMONFLEX. **Benefícios do uso da madeira na construção civil**. **Mantiqueira Construção Civil e Reformas**. 2019. Disponível em: <https://mantiqueiraconstrucoes.com.br/importancia-da-madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em: 04 de outubro de 2020.

LOPES, Marina Stygar. **O uso da madeira na construção civil**. Mata Nativa. 2019. Disponível em: <https://www.matanativa.com.br/blog/madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em: 02 de outubro de 2020.

LUCENA, Romeu Corrêa. **Análise teórica de rigidez e resistência à flexão de painéis de madeira lamelada colada cruzada**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2017.

MANFRINATO, Maria Eduarda. **Estudo sobre o uso da madeira para fins estruturais e arquitetônicos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Campo Mourão, 2015.

MARGARIDO, Aluizio Fontana. **Fundamentos de estruturas: Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam nos estudos das estruturas**. 2 ed. Ziguarte: São Paulo, 2003.

MELO, Monise. **Madeira na construção civil: tipos, usos e cuidados**. 123 Projetei. 2019. Disponível em: <https://conteudo.123projetei.com/madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

PELLIS, Bruno Piva. **Desempenho mecânico de vigas de madeira laminada colada armada confeccionadas com adesivo poliuretânico**. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2015.

NENNEWITZ, Ingo. *et al.* **Manual de tecnologia da madeira**. 2 ed. Blucher: São Paulo, 2012.

MENGUE, Priscila. **Tendência mundial, prédios de madeira começam a ser erguidos em São Paulo**. Terra. 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/tendencia-mundial-predios-de-madeira-comecam-a-ser-erguidos-em-sao-paulo,ea7da88aa9e77bdb6a8dbfb156eb54f7fhjrgb7f.html>. Acesso em: 05 de dezembro de 2020.

PAULI, G. **UP sizing: como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição**. Porto Alegre, Fundação Zeri Brasil, 2001.

PFEIL, Michele; PFEIL, Walter. **Estruturas em madeira**. 6 ed. LTC Editora: Rio de Janeiro, 2003.

PLACO. **CONHEÇA OS 3 TIPOS DE PLACA DE DRYWALL E NÃO ERRE MAIS!** Disponível em: <https://www.placo.com.br/blog/conheca-os-diferentes-tipos-de-placas-de-drywall>. Acesso em: 06 maio 2021.

PONS, Cristiano. **Construções utilizando estruturas de madeira.** Artigo. Revista CIPPUS: Canoas, 2020.

RONNSEN, Marilia Elizabeth. **Análise da abordagem da flora nativa em livros didáticos de biologia usados em escolas de Pato Branco – PR.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina: Pato Branco, 2012.

ROVARIS, Camila. **Estudo para ampliação do uso da madeira para a construção de habitações no Brasil.** Dissertação. Universidade Federal da Integração LatinoAmericana: Foz do Iguaçu, 2019

SHINGUE, Erich Kazuo. **Difusão da Construção em madeira no Brasil.** Dissertação. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo: São Carlos, 2018.

SILVA, Noriene Cristina. **Sistemas construtivos de madeira: análise comparativa entre dimensionamentos realizados com base em uma estrutura real.** Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Civil – FECIV: Uberlândia, 2018.

SOUZA, Laurilan Gonçalves. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e wood frame.** Especialize Revista Online, janeiro de 2012.

SPANIOL, Norton Cesar. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e wood frame para habitação de interesse social.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Pato Branco, 2018.

SZUCS, Carlos Alberto. *et al.* **Estruturas de madeira.** Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2015.

WENTLAND, Meghan. **Quanto custa para construir uma casa.** Disponível em: <https://www.bobvila.com/articles/how-much-does-it-cost-to-build-a-house/>. Acesso em: 03 maio 2021.