

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE OBRAS

FELIPE JOSÉ GASPARIN

**COMPOSIÇÃO DE MÓDULO POPULAR DE *WOOD FRAME* E
MADEIRA MINERALIZADA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

FELIPE JOSÉ GASPARIN

**COMPOSIÇÃO DE MÓDULO POPULAR DE *WOOD FRAME* E
MADEIRA MINERALIZADA**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós Graduação em Engenharia de Gerenciamento de Obras, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR
Orientador: Prof., Eloy Fassi Casagrande Jr, PhD.

CURITIBA
2018

FELIPE JOSÉ GASPARIN

**COMPOSIÇÃO DE MÓDULO POPULAR DE *WOOD FRAME* E
MADEIRA MINERALIZADA**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Junior
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Cezar Augusto Romano
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M. Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2018

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

*A todos que sempre acreditaram que a minha persistência resultaria em grandes conquistas.
Aos meus familiares mais próximos, que sempre confiaram e incentivaram meu sucesso.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. PHD. Eloy Fassi Casagrande, pela disposição em orientar, pelo acompanhamento, e ideias apresentadas.

Ao Curso de Especialização em Gerenciamento de Obras, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Às secretárias do Curso, Isabel e Janete, pela disponibilidade e auxílio quando necessário.

Aos meus familiares, que me apoiaram e me compreenderam de toda forma que puderam.

Aos amigos, que a especialização me proporcionou e que estiveram presentes em todos os finais de semana de aula neste último ano de formação.

RESUMO

GASPARIN, Felipe José. **Composição de módulo popular de *wood frame* e madeira mineralizada.** 2018. 61 p. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Obras). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Esta pesquisa apresenta um estudo teórico e conceitual para a composição de um projeto de uma edificação de interesse social, apresenta os projetos arquitetônico, estrutural e uma representação tridimensional. Utiliza como premissa básica, empregar materiais de base sustentável e renovável, aplica técnicas construtivas ainda pouco utilizadas em nosso país. Busca integrar estudos já publicados na área, discorrer sobre o sistema construtivo em *wood frame*, sobre o material compósito de madeira e cimento, a madeira mineralizada, identificar as normas existente, os principais requisitos para sustentabilidade e seus ganhos. Complementado pela apresentação de um modelo de projeto para uma edificação de cunho popular, aplicando valores mínimos estabelecidos por normas habitacionais para a composição de áreas da residência, com conceitos de acessibilidade. Pela apresentação do projeto estrutural da edificação e com a humanização do projeto, composto por um modelo 3D. Traz como resultado, levantamentos constatados com a pesquisa sobre a união entre o sistema em *wood frame* e a aplicação de chapas de madeira mineralizada. Também, foi aplicado uma comparação simples entre com o sistema em concreto armado com vedações de tijolos comuns, para evidenciar aspectos sustentáveis e de custo.

Palavras-chave: Sistemas Construtivos, *Wood-Frame*, Madeira Mineralizada, Sustentabilidade.

ABSTRACT

GASPARIN, Felipe José. **Composição de módulo popular de *wood frame* e madeira mineralizada.** 2018. 61 p. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Obras). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

This research presents a theoretical and conceptual study for the composition of a project for a building of social interest, features the architectural, structural and a three-dimensional representation. Uses as a basic premise, to employ sustainable and renewable base materials, it applies constructive techniques still little used in our country. It seeks to integrate studies already published in the area, discuss the constructive system in wood frame, the composite material of wood and cement, like wood wool cement board, identify existing standards, the main requirements for sustainability and its earnings. Complemented by the presentation of a project template for a popular construction by applying minimum values established by housing standards for the composition of areas of residence, with concepts of accessibility. The presentation of the structural design of the building and the humanization of the project, consisting of a 3D model. Brings as result, data obtained with the research of the union between the system in wood frame and the application wood wool cement board plates. Also a simple comparison was applied between the system in concrete reinforce and with common brick walls, to evidence the sustainable and costs aspects for the Project.

Keywords: Construction Systems, Wood-Frame, Wood Wool Cement Board, Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – EXEMPLO DE ESTRUTURA DE WOOD FRAME.....	18
FIGURA 2 – TIPOS DE CHAPAS DE MADEIRA	20
FIGURA 3 – CHAPAS DE MADEIRA MINERALIZADA	21
FIGURA 4 – EXEMPLO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS	24
FIGURA 5 – COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DA PAREDE DE WOOD FRAME	25
FIGURA 6 – MATERIAIS APLICADOS ÀS CHAPAS DE MADEIRA MINERALIZADA PARA ACABAMENTO OU JUNTAS.....	27
FIGURA 7 – CASA CONSTRUÍDA COM MADEIRA MINERALIZADA	28
FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	34
FIGURA 9 – PLANTA BAIXA TÉRREO	37
FIGURA 10 – PROJETO ESTRUTURAL EM <i>WOOD FRAME</i>	41
FIGURA 11 – EXEMPLO DA ESTRUTURA DA TRELIÇA	43
FIGURA 12 – EXEMPLO DA ESTRUTURA DA TRELIÇA	43
FIGURA 13 – VISTA FRONTAL	44
FIGURA 14 – VISTA POSTERIOR.....	45
FIGURA 15 – DETALHES INTERNOS	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE CHAPAS EXCELSIOR PRODUZIDAS NO BRASIL.....	28
TABELA 2 - PROPRIEDADES REQUERIDAS PARA AS VEDAÇÕES.....	29
TABELA 3 – EMISSÃO DE CO ₂ POR ALGUNS MATERIAIS PRESENTES NO CONCRETO ARMADO.....	30
TABELA 4 - ÁREAS DOS AMBIENTES	38
TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES DAS VERGAS PROJETADAS.....	40
TABELA 6 – DETALHES DAS PEÇAS DO TELHADO.....	42
TABELA 7 – QUANTIDADES PARA CONCRETO E TIJOLOS	49
TABELA 8 – VALORES DE CONSUMO DE CO ₂	50
TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTRUTURAS	51
TABELA 10 – CUSTO MÉDIO DE DOS PRINCIPAIS DISPOSITIVOS DE SUSTENTABILIDADE.....	52
TABELA 11 – COMPARATIVO DE LÂMPADAS.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

EN – *European Norme*

LED – *Light Emitting Diode*

NB – Norma Brasileira

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

PEC – Consumo de Energia Primária

SBA – *Structural Board Association*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	DEFINIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM <i>WOOD FRAME</i>	17
2.2	DEFINIÇÕES DO MATERIAL MADEIRA MINERALIZADA (COMPÓSITO MADEIRA-CIMENTO).....	19
2.3	ESTRUTURA E ETAPAS CONSTRUTIVAS DO SISTEMA <i>WOOD FRAME</i>	22
2.4	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA MADEIRA MINERALIZADA	26
2.5	NORMAS E REQUISITOS	29
2.6	SUSTENTABILIDADE	30
2.6.1	<i>Métodos e materiais</i>	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	DEFINIÇÕES DE PROJETO	35
3.2	PROJETO ARQUITETÔNICO	37
3.2.1	<i>Placas de madeira mineralizada</i>	38
3.3	PROJETO ESTRUTURAL.....	39
3.3.1	<i>Telhado</i>	41
3.4	MODELO 3D	44
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	47
4.1	COMPARAÇÃO COM SISTEMA EM CONCRETO ARMADO COM ALVENARIA DE TIJOLOS	48
4.2	APLICAÇÃO DE COMPONENTES SUSTENTÁVEIS A EDIFICAÇÃO.....	51
4.2.1	<i>Painel fotovoltaico e boiler</i>	52
4.2.2	<i>Demais itens sustentáveis</i>	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO 1 – DIMENSIONAMENTO DO <i>WOOD FRAME</i> E DO TELHADO	62

1 INTRODUÇÃO

Materiais provenientes de recursos renováveis e suas composições, pouco aproveitados, ou até mesmo esquecidos aparecem como alternativas aos já tradicionais métodos construtivos. Com o aumento na busca de soluções construtivas, que possam ser reutilizadas e/ou provenientes de recursos renováveis, que por consequência tenham menor impacto no meio ambiente, a necessidade e a cultura de utilização destes elementos popularizou-se e tem ganhado destaque também no mercado de construção civil. Ainda, no Brasil, com a diversificação dos métodos construtivos e com o aproveitamento de grandes reservas naturais disponíveis, principalmente para compostos de madeira, surge a necessidade de estudos para o melhor aproveitamento dos materiais e resíduos existentes, além das características e especificações dos materiais resultantes.

A engenharia desempenha o papel de agente transformador do meio ambiente, conforme as necessidades humanas de desenvolvimento. Assim, conhecimentos criados por métodos empíricos, com o auxílio do rigor de métodos científicos impulsionaram a resolução das necessidades com a criação de produtos com desempenho compatível ao fim destinado. (PARCHEN, 2012).

A construção civil no Brasil é um setor tradicional, com técnicas consolidadas através de anos de práticas e alocadas na cultura de nossa sociedade. Este fato provoca certa resistência por parte dos profissionais do segmento para implantar novidades, fazendo com que seja necessário um período de tempo maior para novas tecnologias serem utilizadas. De forma geral, grande parte das edificações é construída utilizando a maneira convencional: concreto armado e vedações de tijolos, ou até mesmo a alvenaria estrutural. O processo executivo é pouco mecanizado, diferente de sistemas de construção alternativos que não utilizam o concreto.

No sentido da padronização e utilização de técnicas construtivas que produzam menos resíduos na execução, pode-se destacar o *wood frame*. Este consiste em um sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, utiliza como obra-prima principalmente a madeira do tipo pinus e, em menor escala, o eucalipto (NAKAMURA, 2009). O sistema engloba diversas etapas estruturais de uma construção, sendo constituído por painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais. Estes materiais acessórios, tem principalmente, como finalidade aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também há a possibilidade de proteção contra o fogo. (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010).

Associado aos métodos construtivos, como o *wood frame*, está um conceito que se tornou importante na construção civil: a sustentabilidade. A preocupação de construir com eficiência e de maneira ambientalmente correta cresceu neste século, tornando-se uma realidade em diversos tipos de construções. Um dos principais fatores que alavancaram a utilização desta cultura na engenharia, foi o fato de que a indústria da construção civil é responsável pelo consumo de cerca de 50% dos recursos naturais segundo John (2005) e ainda por parcela significativa das emissões de gases poluentes.

De acordo com MMA (apud LACERDA, 2014), a sustentabilidade envolve uma otimização do consumo de materiais, energia e resíduos gerados, bem como a preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído.

Este trabalho apresenta um panorama sobre a utilização do sistema construtivo em *wood frame*, juntamente com aplicação de vedações compostas por painéis de madeira mineralizada, com a adoção de técnicas e sugestões de práticas sustentáveis. Utilizando como base um estudo de caso para a criação de um módulo popular construído com tais materiais.

1.1 OBJETIVOS

Apresentar e identificar sobre as principais qualidades e vantagens da utilização do sistema construtivo em *wood frame*, juntamente com a aplicação de vedações compostas por painéis de madeira mineralizada. Desenvolver modelo de módulo residencial popular, apresentando projetos necessários, com a utilização dos materiais já citados e com a adoção de técnicas sustentáveis e com acessibilidade, compreendendo:

- Desenvolvimento do projeto arquitetônico da edificação popular unifamiliar em *wood frame* com vedações compostas de madeira mineralizada;
- Desenvolvimento do projeto estrutural em *wood frame*.
- Desenvolvimento de projeto em 3D, utilizando um *software* de modelagem 3D;
- Abordar custos e prazos e elementos sustentáveis que poderiam ser aplicadas a um módulo ou conjunto de módulos.
- Mensurar e descrever os ganhos, em relação a sustentabilidade, no sistema implantado em *wood frame* com vedações de madeira mineralizada, com indicadores de projeto e comparar de forma simplificada com uma composição do mesmo projeto para o sistema construtivo em concreto armado com alvenaria de tijolos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A qualidade de vida no planeta depende das ações e atitudes referentes ao desenvolvimento humano, desta forma, a engenharia tem papel fundamental na transformação dos recursos naturais, prezando pelo bem da humanidade.

Com o aumento da demanda na indústria de materiais de construção, especialmente nas últimas décadas, devido ao aumento da população, cresceu também a importância da utilização de materiais provenientes de resíduos industriais. Além disso, o acúmulo de resíduos, principalmente em países desenvolvidos, resultou em uma crescente preocupação com passivos ambientais. A reciclagem destes entulhos, surge como opção viável não somente para o problema da poluição, mas, também como solução econômica para a construção civil. Com o aumento da utilização de materiais residuais, de baixo custo e mais leves, se faz necessário estudar como esses podem beneficiar o meio ambiente e também manter os requisitos técnicos das normas de construção. (TURGUT & MURAT ALGIN, 2007).

O estudo do processo de transformação da madeira cultivada ou sobras de outros processos industriais, permite, pelo aspecto ambiental, deslocar um material muitas vezes utilizado para incineração e obtenção de beneficiamento energético, para uso independente de queima e geração direta de gases poluidores. Além disso, a utilização de materiais, considerados como entulho da construção ou indústria, tem como principal característica a redução de passivos ambientais. Em relação ao aspecto econômico, o acesso a estes tipos de materiais, considerados como sobra, geralmente é facilitado, trazendo benefícios de custos. Já a correta alocação de tais recursos pode beneficiar projetos de cunho social, como também gerar construções com menor acúmulo de resíduos.

Desta forma, a correta utilização da madeira engenheirada, surge como uma forma de absorver esta demanda por materiais com menor impacto ambiental, explicando a necessidade do estudo da madeira na construção. Além disso, segundo Szücs (2010), existem poucos exemplos de construções com o uso de madeira engenheirada no Brasil, principalmente pelo fato da pequena quantidade de escolas de engenharia e arquitetura que ensinam em seus currículos a utilização e aplicação do material, madeira, sob ótica de técnicas avançadas.

Aliado a isso, a utilização de um sistema construtivo baseado completamente na utilização da madeira, como no método de *wood frame*, amplia essa busca por modelos construtivos de baixo impacto ambiental, já que além da utilização de um material renovável, existe a racionalização da construção, com a diminuição de resíduos gerados.

Neste sentido a madeira desempenha papel de grande importância, Zenid (2009) propõe

que este material tenha uma representação mais significativa na sociedade atual, como uma alternativa ambientalmente mais adequada aos materiais com maior utilização, como metais, concreto, plásticos e outros. Durante seu processo produtivo esses materiais podem utilizar como fonte de energia a queima da própria madeira e no seu ciclo de vida causam maior impacto ao meio ambiente.

Ainda, este material, segundo Monich (2012), é considerado popular, leve, durável, renovável e com baixo grau de dificuldade de manuseio. Na construção civil a madeira pode ser utilizada de maneira temporária (formas, andaimes e escoramentos) e de maneira definitiva (para estruturas, forros, pisos, esquadrias e casas pré-fabricadas).

Segundo Berriel (2011), no Brasil, ainda há um longo caminho a ser percorrido em relação ao desenvolvimento de componentes padronizados para as construções causarem menores impactos ambientais, como a redução do desperdício dos materiais, menor consumo de energia e de rápida execução. Ainda, por ser renovável a madeira é tida como material promissor, mas somente sua utilização não garante um projeto mais sustentável. Porém com a utilização do tipo de madeira certa, como a de reflorestamento, esta surge como material sustentável para utilização em tecnologias construtivas.

A completa utilização da madeira em sistemas construtivos pode ser vista com o aproveitamento de todos os resíduos gerados na extração do material. Segundo Turgut & Murat Algin (2007), as grandes quantidades de reservas acumuladas de resíduos de madeira serrada, em vários países, podem causar problemas ambientais sérios, assim como problemas de saúde. Em média a transformação da madeira por meio do corte, resulta em aproximadamente 5 a 10% de pó e madeira serrada. A utilização deste material, junto a outros agregados (resíduos da extração de calcário e cimento), permite a criação potencial de um produto mais leve e econômico, para a utilização em forma de tijolos e painéis. No caso de blocos, pode apresentar um produto cerca de 65% mais leve do que os tradicionais blocos de concreto e com resistências satisfatórias.

A utilização do método construtivo em *wood frame* apresenta grande vantagem no que se refere a racionalização das etapas construtivas. Isso ocorre devido ao processo de industrialização dos materiais utilizados durante a execução, o que possibilita que eles sejam encaminhados à obra em sequência de execução da superestrutura. Além disso, não é necessário o corte das paredes para a execução das instalações, já que estas são postas entre as duas faces que compõe uma parede e também são poucas as sobras encontradas neste método, assim é estabelecida uma obra mais limpa do que no método em concreto armado. (MONICH, 2012)

Por fim, mesmo o método construtivo em wood frame sendo relativamente recente no Brasil, em países como Canadá, EUA, Japão e Alemanha é amplamente adotado. Nos Estados Unidos, por exemplo, esse sistema está presente em 95% das residências. (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010). Juntamente com o wood frame, e a utilização de placas de madeira mineralizada, há a implantação de elementos sustentáveis na edificação. É importante analisar os ganhos que estes podem trazer, bem como o impacto econômico na obra.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM *WOOD FRAME*.

O princípio básico do método construtivo em *wood frame* é a utilização da madeira, que segundo Monich (2012), é um material considerado popular, leve, durável, renovável e com baixo grau de dificuldade de manuseio. Na construção civil a madeira pode ser utilizada de maneira temporária (formas, andaimes e escoramentos) e de maneira definitiva (para estruturas, forros, pisos, esquadrias e casas pré-fabricadas).

O *wood frame* se destaca como o principal técnica construtiva com a utilização da madeira como insumo básico, com possibilidades estruturais e construções de pequeno a grande porte. Conforme Souza (2012a), se refere a um método construtivo utilizada em diversos países, principalmente no continente norte americano e no norte da Europa, nessa técnica a madeira é aplicada em forma de perfis montantes.

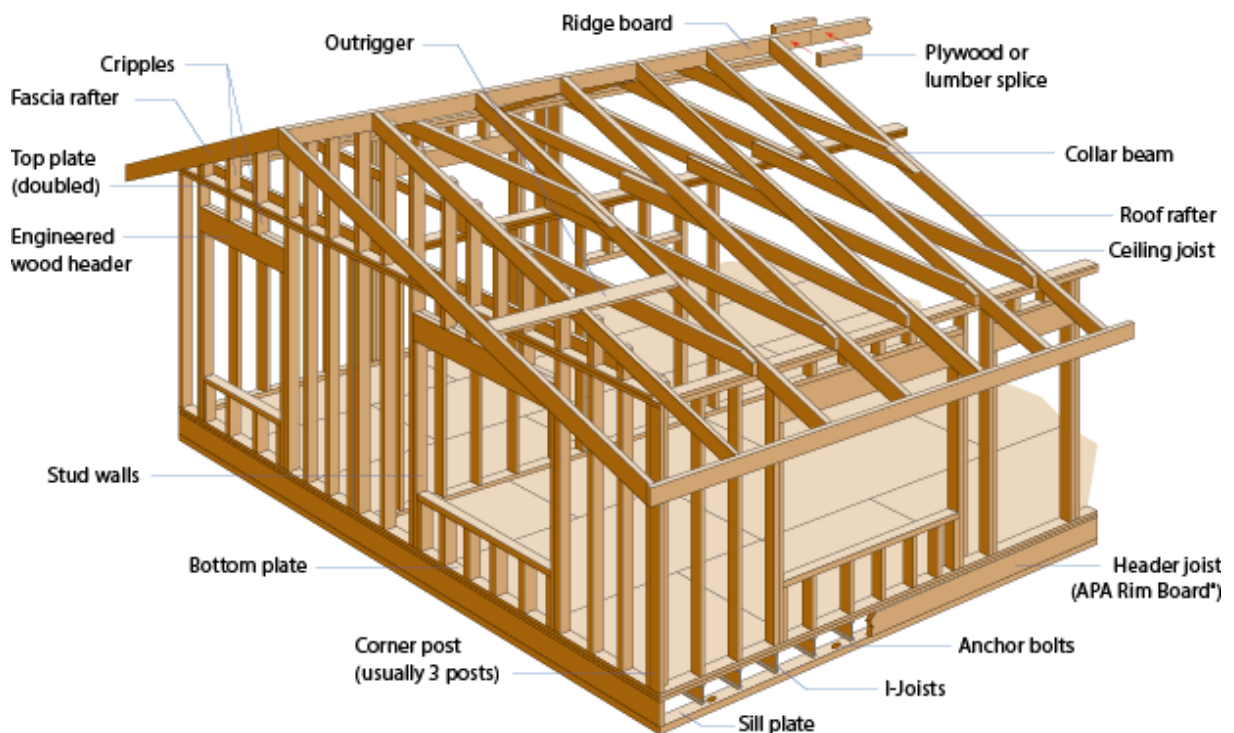
Historicamente há relatos da utilização de um método construtivo semelhante com uso de pré-fabricados em 1578, levado da Inglaterra ao Canadá. Porém somente com a revolução industrial e com a expansão norte americana que houve o impulso do uso de pré-fabricados, sendo necessário um método construtivo rápido, devido ao aumento da população. O método de construção em *wood frame*, ou ainda em *light wood frame*, é uma tecnologia desenvolvida há mais de 100 anos na América do Norte, muito utilizada em países como EUA, Canadá, Alemanha e Suécia. (ADRIANZOLA, 2008; MORAES et al., 2008; CAMPOS, 2006 apud PAESE, 2012).

Devido a facilidade de produção da matéria prima utilizada e da versatilidade que pode ser aplicada à projetos, Zenid (2009) propõe que este material tenha uma representação mais significativa na sociedade atual, já que no Brasil, a utilização deste método é relativamente recente e sofre com a dificuldade no crescimento do uso devido à questão cultural, a tímida divulgação, a insegurança em relação ao sistema, falta de conhecimento da técnica, normatização e também da mentalidade que liga o uso da madeira com o desmatamento e por consequência desastres ecológicos.

A utilização da madeira gera uma alternativa ambientalmente mais adequada em relação aos materiais com maior utilização, como metais, concreto, plásticos e outros, os quais durante seu processo produtivo podem utilizar como fonte de energia a queima da própria madeira, ou de seus resíduos, e no seu ciclo de vida causam maior impacto ao meio ambiente. (ZENID, 2009).

Neste sentido, para a utilização da madeira como material definitivo, na construção, no caso do *wood frame*, busca-se a padronização da estrutura, para a otimização dos recursos utilizados. Segundo Berriel (2011), no Brasil, ainda há um longo caminho a ser percorrido em relação ao desenvolvimento de componentes padronizados para as construções causarem menores impactos ambientais, como a redução do desperdício dos materiais, menor consumo de energia e quesitos em relação à rapidez na execução. Ainda, por ser renovável a madeira é tida como material promissor, mas somente sua utilização não garante um projeto mais sustentável. Porém, com a utilização do tipo de madeira certa, como a de reflorestamento, surge uma alternativa como material sustentável para utilização em tecnologias construtivas. A FIGURA 1 apresenta um exemplo de estrutura em *wood frame*, demonstrando praticamente todos os elementos estruturais de uma construção neste modelo construtivo.

FIGURA 1 – EXEMPLO DE ESTRUTURA DE WOOD FRAME



FONTE: CONSTRUINDODECOR (2018)

2.2 DEFINIÇÕES DO MATERIAL MADEIRA MINERALIZADA (COMPÓSITO MADEIRA-CIMENTO)

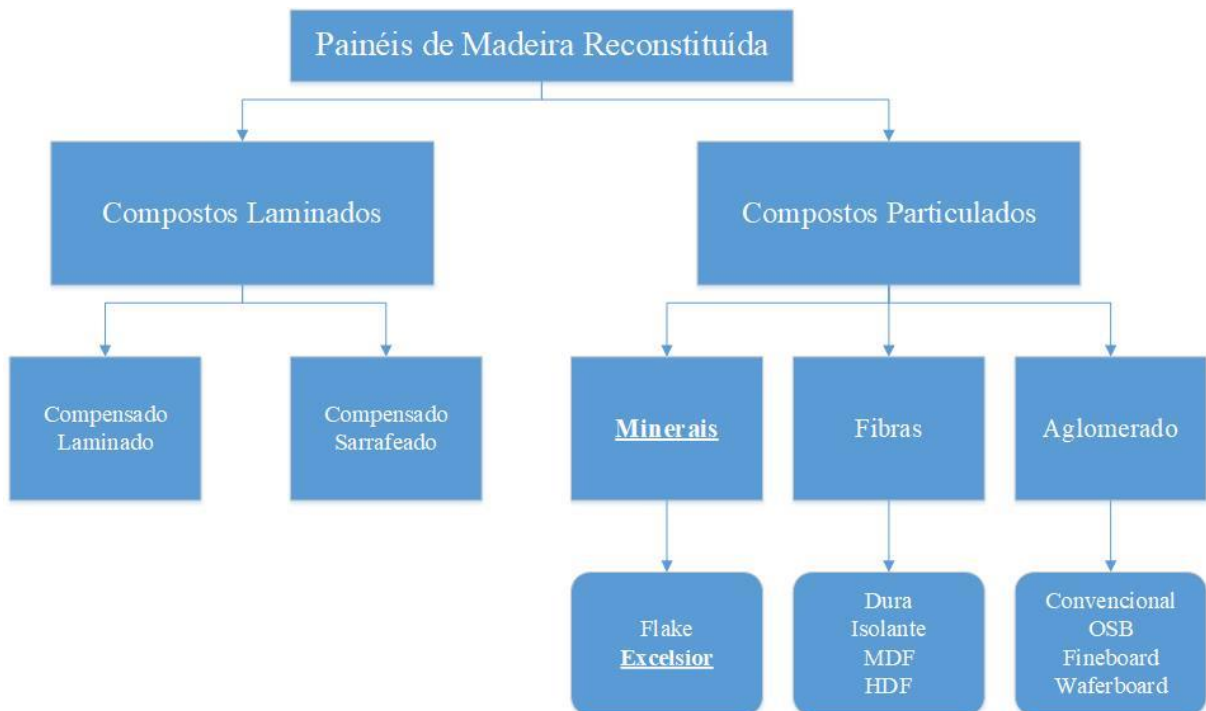
As placas cimentícias de madeira mineralizada (compósito madeira-cimento), são compostas por fibras longas de madeira selecionada juntamente com adição de cimento, com um processo de mineralização. Para a composição das placas, ou chapas, são utilizadas formas para prensagem com dimensões e espessuras que variam conforme o tipo de utilização. (JOHANSSON, 1994).

Segundo Latorraca (1996), as chapas de madeira-cimento são compostas basicamente por: água, para a efetivação das reações químicas do aglutinante, dissolução dos aditivos e mistura do cimento; aglutinantes, como cimento Portland, Gipsita ou Magnesita; madeira, utilizada basicamente como agregado do material; e aditivos químicos, utilizados para a aceleração da cura, diminuindo o tempo de prensagem.

Em sua forma original de estudo, este material é conhecido como compósito de madeira-cimento. Um compósito pode ser definido como um material constituído por dois ou mais elementos e que possui uma fase reforçada. No caso das placas de madeira mineralizada, os fragmentos de madeira estão envolvidos pelo cimento, que funciona como ligante, fazendo com que o compósito tenha resistência e dureza maiores do que quando os materiais em separado. O cimento mantém a orientação dos fragmentos de madeira e transmite os esforços, já a madeira aumenta a resistência à tração, e ajuda na diminuição da densidade e do custo do material. Além disso, este material apresenta bom desempenho em relação ao fogo, fungos, ataques de insetos e resistência a intempéries (MATOSKI e IWAKIRI, 2007).

Existem diversos tipos de placas e chapas compostos por madeira e outros materiais, os painéis de madeira-cimento se destacam em relação a outros tipos pela menor utilização de madeira, baixo consumo de energia em sua produção, com um sistema de prensagem a frio. Além disso, uma das principais vantagens se dá na utilização de resíduos da exploração floresta e processamento industrial, tornando este tipo de painel adequado para a utilização em construções de habitações de cunho social. Este modelo ainda permite construções pré-fabricadas ou construções simples. (LATORRACA, 1996). A FIGURA 2 apresenta os tipos de painel de madeira existentes no mercado.

FIGURA 2 – TIPOS DE CHAPAS DE MADEIRA



FONTE: ADAPTADO ADRIAZOLA (2008)

Segundo, Wolfe and Gjinolli (1996), existe a possibilidade da utilização de aditivos com propriedades para agir como catalisadores, utilizados em conjunto com o cimento e a madeira. Para a produção, as partículas de madeira são revestidas com o cimento e pressionadas em painéis com densidades entre 300 a 500 kg/m³, com o fator madeira cimento variando entre 0,4 a 0,6 em massa.

Ainda, a adição de materiais fibrosos, como a madeira, ajuda a reduzir a temperatura máxima de hidratação do cimento e aumenta o tempo necessário para atingir esta temperatura, se comparado ao uso somente do cimento. Sugere-se ainda, a utilização de uma proporção de 40% de madeira, 55% de cimento e 5% de cloreto de cálcio (CaCl₂) apresentando uma solução com melhores propriedades em relação à outras proporções (ASHORI ET AL, 2011).

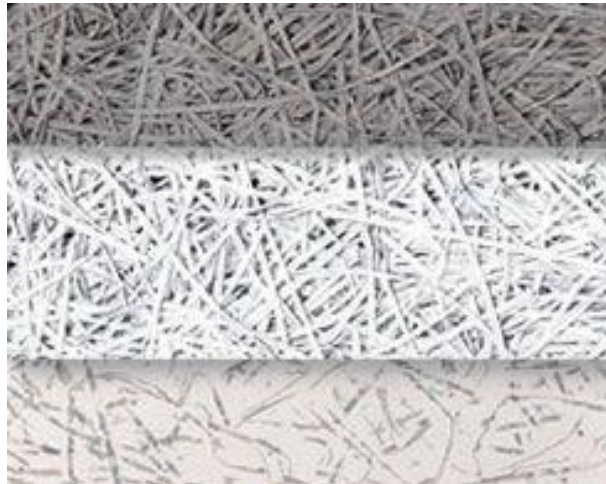
Em relação ao tipo de material a ser utilizado, as madeiras do tipo coníferas apresentam maior compatibilidade química com o cimento do que as madeiras do tipo folhosas. As folhosas apresentam maior número de componentes que atacam o cimento. Assim, a composição ideal de um compósito madeira-cimento, com a mistura de cimento, serragem e água, apresenta-se reduzida para apenas alguns tipos de espécies de árvores. (BATISTA 2001/2002).

Conforme Barth e Camillo (2009), este material possui elementos semelhantes patenteados na Alemanha no século XIX, com o surgimento de placas compostas por palha de madeira, gesso e água. Já na década de 1910, na Áustria, houve um avanço com a utilização de

Magnesita no lugar do gesso, apresentando maior durabilidade. Dez anos mais tarde ocorreu uma nova troca, com a utilização agora do cimento Portland, material que é utilizado até os dias atuais.

A produção das placas de madeira mineralizada, outrora de forma manual, despendia de grande mão de obra para um trabalho pesado, como a distribuição do material nos moldes e remoção dos mesmos. Já na metade do século passado, surgiram equipamentos automatizados, que primeiramente, desfiam as toras de madeira, até a formação de uma lã, a partir de uma máquina com 16 facas e um disco giratório. Após isso, esse material fica submerso em alguns produtos que visam estimular a aderência do cimento à madeira, sendo adicionado posteriormente o cimento em um misturador. Por fim, ocorre a prensagem em uma prensa hidráulica, que produz a compactação das placas, padronizando o tamanho para o corte. As fabricas atuais permitem que aproximadamente 15 trabalhadores produzam até 150 m³ de placas diariamente. No Brasil, a primeira empresa a utilizar o sistema para produção de chapas de madeira mineralizada foi a Climatex, em 1956, em Porto Alegre, com tecnologia trazida da Alemanha pelo empresário Werner Dopheide. (BARTH E CAMILLO, 2009). A composição final de uma placa de madeira mineralizada foi apresentada na FIGURA 3, com a apresentação de diferentes acabamentos dados às placas.

FIGURA 3 – CHAPAS DE MADEIRA MINERALIZADA



FONTE: TÉCHNE (2018)

2.3 ESTRUTURA E ETAPAS CONSTRUTIVAS DO SISTEMA *WOOD FRAME*

A estrutura e as etapas de um sistema construtivo se definem como duas de suas principais características. Neste aspecto, o sistema construtivo em *wood frame* se baseia em uma estrutura composta por elementos de madeira, unidos por parafusos auto-atarrachantes, pregos em aço e pinos, formando painéis estruturados com vigas de madeira e montantes, com pouco espaçamento entre si e com dimensões reduzidas na seção transversal. Este conjunto substitui o tradicional sistema em concreto armado, assim como as paredes em alvenaria comum, ao passo que, para as vedações podem ser utilizadas placas cimentícias, gesso acartonado, chapas de *OSB (Oriented Strand Board)* ou de compensado (revestidas de argamassa projetada) ou placas de madeira mineralizada, para as paredes externas ou internas. (MORAES et al., 2008; EINSFELD et al, 1998 apud PAESE, 2012).

O principal constituinte da estrutura, e do sistema como um todo, é a madeira, normalmente utilizada a proveniente do *Pinus*. Trata-se de um material mais leve em comparação com outras madeiras, por ser retirada de uma conífera, não possui cerne e tem lenho permeável ao tratamento do preservante, aspecto não disponível na maioria das madeiras nativas do Brasil. Seu tratamento geralmente utiliza-se da base de autoclave, com produtos hidrossolúveis, repelindo fungos e cupins. As medidas utilizadas nos componentes de madeira da estrutura seguem um padrão, geralmente os montantes verticais têm seção típica de 2''x4'' (5x10 cm), assim como as guias inferior e superior. (NAKAMURA, 2009).

A utilização de madeira de reflorestamento, apresenta também a vantagem de possuir peso próprio mais baixo que o de outros materiais empregues em sistemas construtivos. Desta forma, a estrutura composta apresenta leveza e menor solicitação de esforços estruturais. Essa menor necessidade de resistência possibilita a utilização de madeira de coníferas, disponível na região sul do Brasil. (HILGENBERG NETO, 2004).

Segundo Monich (2012), o método construtivo em *wood frame* tem uma grande vantagem no que se refere a racionalização das etapas construtivas. A industrialização, presente na etapa de montagem de painéis, permite que o material seja encaminhado à obra em sequência de execução da superestrutura, para a instalação dos painéis constituídos por montantes, peças da base e do topo, se tem uma pré-montagem, na qual é fixada a base. Então ocorre à amarração lateral entre painéis paralelos e transversais, para possibilitar a fixação dos painéis externos aos montantes. Ainda, há a questão da inexistência de cortes e quebras nas paredes para a colocação das instalações elétricas e hidráulicas, já que estas são colocadas entre as faces de uma parede do sistema. A principal vantagem deste método se dá na pequena, ou quase nula, quantidade de

sobras encontradas, estabelecendo uma obra mais limpa do que outros métodos construtivos mais tradicionais.

Existem duas variações dentro do método executivo do sistema construtivo em *wood frame*, o *ballon frame* (sistema balão) e o sistema plataforma. O sistema balão incide em uma estrutura com continuidade dos montantes desde a fundação até a cobertura, de maneira a formar um diafragma de parede nos dois pavimentos. Apresenta pé-direito duplo e os elementos horizontais servem como cinta horizontal, pois são pregados nos montantes. O sistema plataforma apresenta-se como um aprimoramento do sistema balão, os montantes têm a altura de apenas um pavimento, desta forma os barrotes do piso são montados de forma independente, criando uma plataforma de piso. Sobre os montantes estão as soleiras estruturais, nas quais se apoiam vigas secundárias. (MORAES et al., 2008; VAZ, 2008; CAMPOS, 2006 apud PAESE, 2012).

Em relação as etapas construtivas, geralmente utiliza-se a divisão tradicional de etapas, começando pela infraestrutura, escolhe-se a fundação em função das cargas de projeto e do tipo do solo. Já para a superestrutura, destaca-se que uma das principais qualidades deste sistema é a resolução de que a estrutura sobre a fundação é mais leve, com as cargas se distribuem ao longo das paredes, assim, normalmente são utilizados *radier* ou sapata corrida. Para os pisos, utiliza-se a composição de decks, que são apoiados sobre as vigas de madeira com seção retangular ou em I, contando também com a utilização de chapas *OSB*, que funcionam como um contrapiso. Sob estas, normalmente utiliza-se uma manta intermediária para o isolamento acústico. Para áreas úmidas utilizam-se chapas cimentícias, aplicando impermeabilização nas juntas. (CALIL JUNIOR E MOLINA, 2010).

As paredes são dispostas a partir de montantes verticais de madeira ligados com painéis de *OSB* utilizando pregos galvanizados, existe a possibilidade de serem montadas na obra ou serem pré-fabricadas. Nas aberturas de portas e janelas, os montantes são deslocados de forma a não ocupar o espaço aberto, e quando utilizados externamente, servem como elementos de contraventamento. A distribuição de carga ocorre na sequência natural, a carga do piso superior se distribuí nas vigas e paredes, e solicita os montantes na direção paralela às fibras, em sequência há o descarregamento no piso inferior e na fundação. Ainda, para a execução dos sistemas elétrico e hidráulico, colocam-se as tubulações e conduítes entre os vãos dos montantes, conforme apresentado na FIGURA 4. (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010).

FIGURA 4 – EXEMPLO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS



FONTE: TECVERDE (2018).

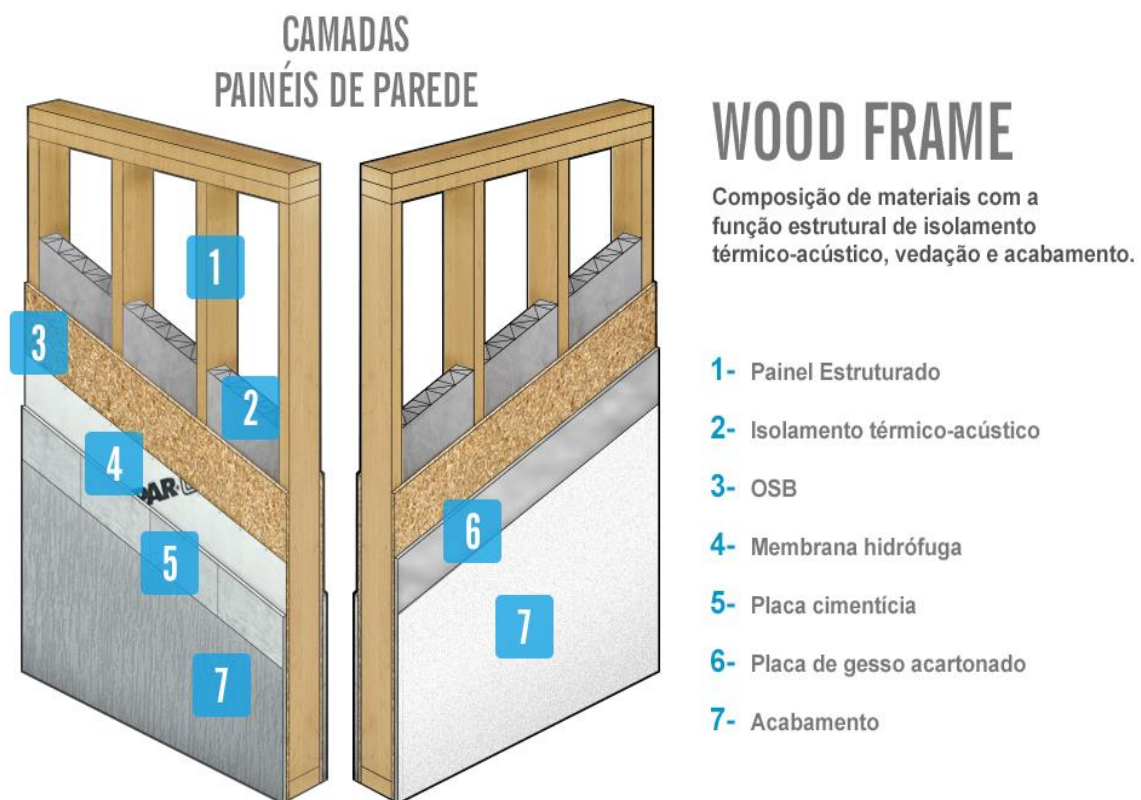
Em relação a alocação destas peças de madeira, é necessário para as que ficarem em contato direto com a fundação a utilização de uma fita impermeável de borracha alveolar. (DA SILVA, 2010). Essa borracha pode ser rígida ou flexível. (PLANALTO, 1992)

Um dos materiais mais comuns para a execução de pisos ou vedações é a chapa de OSB, composta por um painel de partículas orientadas distribuídas em várias camadas de forma predeterminada. (SOUZA, 2012b). De acordo com a *Structural Board Association* (SBA), normalmente os painéis possuem de três a cinco camadas. Para a composição destas camadas, são alocadas e unidas por adesivo, várias tiras de madeira, com comprimento maior que 50 mm e espessura menor que 2 mm. As camadas internas tendem a se alinhar perpendicularmente, já as externas, paralelamente (EN 300, 2006). Para a execução das ligações entre o sistema estrutural, são utilizados pregos galvanizados, devido ao aumento da vida útil, fazendo-se o uso, principalmente, de pregos do tipo anelado ou ardox, pois estes dificultam o arranchamento nas peças (SACCO E STAMATO, 2008). Já em relação as ligações com a fundação, são utilizados *parabolts*, chumbadores por percussão, sua fixação advém por meio da expansão da ponta no substrato a partir de uma energia de impacto. (FIGUEROLA, 2013)

Como etapa executiva, é comum a utilização de envelopamento da edificação, utilizando mantas do tipo Tyvek, sobre as chapas de OSB. Segundo Dupont (2018), a execução do envelopamento ajuda estender a vida útil da edificação, proporcionando resistência a umidade e ao ar, mesmo sendo permeáveis, de modo a diminuir o risco de danos por condensação, apodrecimento da madeira ou surgimento de mofo.

Em relação aos revestimentos internos e externos, não há maiores impedimentos. Para a parte externa da residência são comumente utilizadas placas cimentícias, sendo possível utilizar outros revestimentos, tais como argamassa armada ou tijolos aparentes. Para as áreas internas é normal utilizar placas de gesso acartonado, *Drywall*, com o preenchimento de lã de vidro ou outro isolante térmico e acústico. Para as áreas molháveis deve se garantir a estanqueidade do sistema, utilizando chapas cimentícias ou uma combinação do sistema *Drywall* e azulejo. Para o telhado, geralmente utilizam-se treliças industrializadas, podendo reduzir em cerca de 40% o peso da cobertura, seu espaçamento varia entre 60 e 120 cm, dependendo do tipo da telha utilizada, sendo utilizadas ripas sobre as treliças para apoio das telhas. Um exemplo de disposição de camadas é apresentado na FIGURA 5. (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010).

FIGURA 5 – COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DA PAREDE DE WOOD FRAME



FONTE: TECVERDE (2018).

Existem ainda, outras soluções à serem adotadas para a vedação, como a utilização de chapas de madeira mineralizada, que apresentam qualidade termo acústica, resistência e durabilidade. Ainda, possuem como possibilidade a utilização de diversos tipos de acabamentos e aplicações, como em divisórias, paredes internas e externas. (JOHANSSON, 1994).

Além disso, a utilização de placas de gesso acartonado, ou *Drywall*, é comum para a vedação e divisórias internas. Este sistema é formado por uma placa de gesso, composta basicamente por uma mistura de gesso e gipsita (na parte interna) e revestida com papel *kraft* nas faces, existindo ainda placas para áreas úmidas e resistentes ao fogo. No que diz respeito às divisórias internas, fazem parte deste sistema as estruturas metálicas, como guias e montantes, que são fixados na estrutura principal. Por último existem os acessórios para acabamento, como fitas microperfuradas ou argamassas flexíveis para juntas (LOSSO E VIVEIROS, 2004).

Outra alternativa, tanto para a vedação externa e de áreas molháveis, quanto para as áreas internas, é a utilização de chapas cimentícias. Segundo Cichinell (2007 apud ZATT, 2010) essas placas surgiram na década de 1970, e a sua utilização se desenvolveu juntamente com o aumento do mercado de construção a seco. Sua composição básica utiliza-se de fibras sintéticas e fibras de vidro, apresentando papel semelhante às barras de aço no concreto armado, guardadas as devidas proporções. Existe uma norma brasileira que regulamenta a produção destas, a NBR 15498 (ABNT, 2016) – Placa plana cimentícia sem amianto. Para a impermeabilização deste tipo de chapa, pode ser utilizada uma membrana acrílica impermeável, composta basicamente de emulsões acrílicas puras ou estirenadas, com tela de poliéster ou poliamida e adição de cimentos (PAZINI e SILVA, 2018).

2.4 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA MADEIRA MINERALIZADA

A gama de aplicações deste tipo de material se mostrou grande, a versatilidade de cortes em formatos diferenciados, assim como a composição com outros tipos de materiais utilizados na construção civil, como argamassas, massas corridas, gesso entre outros, demonstra um parecer favorável à sua aplicação como vedação interna ou externa, porém, sua utilização no Brasil ainda é pequena em relação ao potencial de aplicação deste material.

Segundo Johansson (1994), este apresenta excelente qualidade termo acústica, tem grande resistência e durabilidade, além de possibilitar a utilização de diversos tipos de acabamentos, desde os mais tradicionais, como o reboco, até os mais variados acabamentos utilizados atualmente, como grafiatos, texturas e projetados. Possui manuseio facilitado, permitindo o trabalho com ferramentas comuns e ser serrado para tamanhos diversos. Podem

ser aplicados como paredes divisórias, inclusive como proteção ao fogo, em forros, como revestimentos térmicos e acústicos, além da possibilidade principal de aplicação em casas pré-fabricadas, habitações populares e como vedações internas ou externas.

Entre os usos mais comuns para este material estão as placas de isolamento, para lajes ou paredes, normalmente feitas com 3 a 5 mm de largura, quando o objetivo é o isolamento térmico, e com 1,5 a 3 mm para o isolamento acústico. Caso estas placas sejam aparentes, elas podem ser pintadas ou compostas com cimento branco, para apresentar melhor acabamento. Existem também produtos especiais para aumento da capacidade e resistência de telhados e forros, quando utilizados em conjunto com barras de madeira ou aço. (JOHANSSON, 1994).

Já no que diz respeito a utilização mais comum deste tipo de matéria, para a composição de vedações verticais, sejam elas internas ou externas, um dos principais desafios a serem vencidos são as juntas das placas, tanto para o comprimento quanto para a altura. Desta forma, Matos et al (2006), propôs a utilização de uma tela metálica de peneira juntamente com a utilização de argamassa colante. Este método resultou em uma resistência média das placas com junta em aproximadamente 90% da resistência média das placas sem junta. Ainda, em relação à testes efetuados para a estanqueidade, este método resultou em infiltrações máximas de 1,5 ml em um teste de 8 horas, não apresentando manchas no lado oposto da parede. A FIGURA 6 apresenta exemplos de materiais utilizados para o acabamento ou execução de juntas de placas de madeira mineralizada.

FIGURA 6 – MATERIAIS APLICADOS ÀS CHAPAS DE MADEIRA MINERALIZADA PARA ACABAMENTO OU JUNTAS



FONTE: MATOS ET AL (2006).

Um desafio ainda em aberto a respeito da utilização deste material é a aplicação de placas mais espessas, compondo paredes completas. Atualmente, como já descrito, a espessura é atingida com a adição de camadas de outros materiais, como a argamassa de cimento e areia,

por vezes com adições. Uma construção que tenha maior proximidade com este modelo pode ser observada na FIGURA 7: uma casa já com o acabamento, demonstrando que não existem grandes diferenças para um domicílio construído em alvenaria convencional com o acabamento concluído.

FIGURA 7 – CASA CONSTRUÍDA COM MADEIRA MINERALIZADA



FONTE: CLIMATEX (2018).

Conforme Adriazola (2009), as chapas de madeira cimento possuem dois tipos bem distintos de fabricação. As chapas Excelsior, mais comumente encontradas no mercado brasileiro, possuem densidade de 0,24 a 0,42 g/cm³, utilizam-se de partículas de madeira longas e estreitas, com comprimento de 500 mm e largura de 0,5 a 5,0 cm. Já as chapas Flake possuem maior densidade, de 0,95 a 1,30 g/cm³, porém com partículas de menor comprimento e espessura. A TABELA 1 apresenta os tipos de chapas Excelsior produzidas no Brasil.

TABELA 1 – TIPOS DE CHAPAS EXCELSIOR PRODUZIDAS NO BRASIL

Tipo	CP25/250	C35/200	CP35/250	CP50/250	CP75/250
Espessura (mm)	25	35	35	50	75
Largura (mm)	840	484	840	840	840
Comprimento (mm)	2480	1980	2480	2480	2480
Kg/Placa	25	15	32,5	41	50

FONTE: ADAPTADO DE ADRIAZOLA (2008).

2.5 NORMAS E REQUISITOS

Normas são elementos essenciais para a padronização de procedimentos ligados às etapas de um projeto ou produto. De acordo com Bastos (2014), são normas importantes para quaisquer tipos de construção, a NBR 6120 (ABNT, 1980) – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento e a NBR 6122 (ABNT, 2010) – Projeto e execução de fundações.

Para o *wood frame*, sistema que possui utilização relativamente recente no Brasil, como descrito em Souza (2012a), apesar de ser usado em outros países, a atual norma brasileira NBR 7190- Projeto de Estruturas de Madeira (ABNT, 1997), deixa a desejar quanto a critérios para o seu dimensionamento, sendo necessário utilizar normas específicas de outros países, como o Eurocode 5 – Design of Timber Structures – Part 1 (EN 1995-1-1:2008). (NAKAMURA, 2009); a norma americana WFCM 2001; e as europeias DIN 1052 (1998) e EUROCODE 5 Parte 2 (1997), consideram como comportamento de placa ou chapa, com cargas no plano ou perpendicular a este, para pisos e paredes, são mais completas levando em conta também fatores climáticos e sísmicos da região. (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010).

Para as placas de madeira mineralizada, existem normas estrangeiras que referenciam as características necessárias para o material, como a EN 1058 – *wood-based panels – determination characteristic values of mechanical properties and density (European Standard 1058, 2014)* e a ASTM D 1037 – *Standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials (American Society For Testing And Materials 1037, 2012)*.

Além disso, as vedações externas e internas devem atender à alguns requisitos de desempenho e características funcionais, principalmente como proteção ao ambiente contra agentes agressivos externos, ter características como estanqueidade, resistência térmica e acústica. A TABELA 2 apresenta os requisitos às propriedades que as vedações devem atender.

TABELA 2 - PROPRIEDADES REQUERIDAS PARA AS VEDAÇÕES.

Requisitos de Desempenho	Características Funcionais
Segurança Estrutural	Resistência Mecânica
Estética	Deformabilidade
Estabilidade	Estabilidade Dimensional
Isolação Térmica	Propriedades Térmicas
Isolação Acústica	Resistência à Transmissão Sonora
Segurança ao Fogo	Resistência ao Fogo
Estanqueidade	Resistência a Penetração de água
Durabilidade	Resistência a Agentes Agressivos
Economia	Custos Adequados de Produção e Manutenção

ADAPTADO DE FRANCO (1998).

2.6 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade está ligado a conscientização do homem em relação à finitude dos recursos naturais, da utilização sem o esgotamento, ou sem a capacidade de recuperação para gerações futuras. (COLOMBO, 2006). A sustentabilidade está diretamente ligada ao conceito do triângulo da sustentabilidade, englobando os aspectos econômicos, ambientais e sociais. O objetivo final deste triângulo é um equilíbrio entre os seus pilares, para que os aspectos sejam favoráveis (PENSAMENTO VERDE, 2013).

Em uma comparação efetiva, dos materiais utilizados para a composição do concreto e do aço, principais componentes da construção civil, pode-se destacar a quantidade de emissão de CO₂ existente nos seus principais insumos na TABELA 3. Se comparado ao principal insumo do método construtivo em *wood frame* e principal componente das chapas de madeira mineralizada, a madeira apresenta quase nulidade de emissão de CO₂, reconhecida por ser um material sustentável que incorpora baixa energia primária, a qual é resultante do somatório da energia no processo de extração das matérias-primas, transporte e processamento (MATEUS, 2004). Além disso, pode-se destacar o fato da madeira funcionar como ferramenta para fixação do carbono, contribuindo na redução da emissão dos gases para o efeito estufa.

TABELA 3 – EMISSÃO DE CO₂ POR ALGUNS MATERIAIS PRESENTES NO CONCRETO ARMADO

Material	Unidade	Emissão de CO₂ (Kg)
Cimento	50 kg	48,44
Cal	20 kg	15,71
Areia	m ³	22,62
Tijolo	unidade	0,95
Aço	kg	1,45
Madeira	kg	0,00*

ADAPTADO DE STACHERA, JR E CASAGRADE JR (2006)

Ainda, segundo Mateus (2014) destacam-se algumas ações e práticas que devem ser adotadas para a criação dos principais pilares da construção sustentável:

- Economizar energia e água: o primeiro fator está associado desde a redução nas fases construtivas até a utilização, em etapas de aquecimento e resfriamento do ambiente construído e iluminação. Já a economia de água está diretamente ligada a adoção de reutilização do elemento, como em sistemas de descargas diferenciados, além do uso de materiais automatizados, como torneiras e descargas;

- Assegurar salubridade dos edifícios: buscando o conforto no ambiente, através da maximização da iluminação e da ventilação;
- Maximizar a durabilidade dos edifícios: ampliando o ciclo de vida das habitações, utilizando materiais duráveis e construções flexíveis que permitam o ajuste do seu uso;
- Planejar a manutenção do edifício, assim aumentando seu ciclo de;
- Utilizar materiais eco eficientes: possuem baixo impacto ambiental, não contém agentes nocivos a camada de ozônio, são duráveis, exigem pouca manutenção, incorporam baixa energia primária, utilizam materiais reciclados ou são fáceis de reciclar e têm menores distâncias de transporte;
- Ter baixa massa de construção: estruturas mais leves e enxutas demandam menor quantidade de recursos naturais incorporados em seu processo de construção;
- Minimizar a produção de resíduos: utilizando pré-fabricados que reduzem a produção na fase mais crítica a de construção, além de diminuir as perdas durante o armazenamento e o transporte;
- Ser econômica: custo compatível com a construção em concreto armado;
- Garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção e diminuir os riscos de acidente.

2.6.1 Métodos e materiais

Somente a utilização da madeira como principal obra prima para construção, não é suficiente para tornar um projeto sustentável. Existem outras intervenções que podem ser realizadas nas edificações, conforme Marques (2008) a instalação de painéis fotovoltaicos, com vida útil superior a 20 anos e com a necessidade de pouca manutenção, justifica a utilização destes para edificações *eco-friendly*. Esses painéis são compostos por módulos que convertem diretamente a energia solar em eletricidade e possibilitam a produção de energia elétrica sem emitir ruídos.

Segundo Castro e Gusmão (2011), o sistema é composto, além das células fotovoltaicas, por inversores de corrente, fonte de energia emergencial, bateria destinada a armazenar eletricidade, disjuntor e quadro de distribuição. O inversor é necessário para possibilitar a conexão de duas fontes de energia de natureza distintas, tensão contínua nos painéis e tensão alternada na rede. Já o quadro de distribuição é responsável por determinar quando a energia elétrica convencional é utilizada, interrompendo o fornecimento da energia

das células fotovoltaicas quando a geração dos painéis é pequena. Ainda existem sistemas inversores que ligam os painéis de energia diretamente a rede, possibilitando a cogeração de energia para a rede.

A conexão à rede de distribuição de energia elétrica comercial se apresenta de forma vantajosa, com a possibilidade de injetar a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico diretamente na rede pública. Nas situações em que os painéis produzam mais energia do que a necessária para o consumo, a concessionária pode reembolsar o consumidor ou ainda acumular esta energia na forma de créditos de energia para posteriores utilizações. (DEMONTI, 1998).

Ainda a respeito de fontes de energia mais eficientes, segundo Dias, Pinto e Braga (2009) a utilização de lâmpadas do tipo LED (*Light Emitting Diode*) cresceu nos últimos anos em virtude de oferecerem tecnologia mais eficiente que as lâmpadas tradicionais. De acordo com alguns estudos, o consumo de energia pode ser reduzido em até 50% quando há substituição de lâmpadas tradicionais pelas do tipo LED. Sampaio (2005) ainda cita a vida útil elevada, maior resistência a vibrações e choques e grande eficiência luminosa.

Existem também equipamentos que contribuam com a eficiência energética. Os sensores de presença e/ou luminosidade, por exemplo, possibilitam a regulação da luminosidade e, embora sejam pouco utilizados em residências, já são comuns em repartições públicas. (ROCHETA e FARINHA, 2007).

Os sensores de presença mais comuns são do tipo infravermelho, no qual uma substância que se polariza com a radiação infravermelha, implica em uma tensão que pode ser utilizada para efeitos de controle. Assim, o calor do corpo de uma pessoa ocasiona a produção de uma emissão infravermelha detectável por esse tipo de sensor. (WENDLING, 2010).

Em relação a utilização de isolamentos térmicos nas construções, destacam-se os isolamentos naturais, que contribuem com a redução de dióxido de carbono na atmosfera, bem como incorporam pouca energia. (SOUSA, 2010). A utilização de chapas de cimento madeira apresentam boas características perante o isolamento térmico e são produtos que incorporam baixa energia e utilizam materiais geralmente encarados como sobras.

Para as instalações hidrossanitárias, existem implementos como os sistemas de aproveitamento de água da chuva, que são constituídos por elementos essenciais como a área de captação, as calhas, os tubos de queda e a cisterna. Já os dispositivos destinados ao tratamento da água e as bombas de recalque podem ser considerados elementos acessórios. A cisterna é o componente mais importante, o reservatório é responsável pela qualidade da água que é armazenada, além de ser o elemento mais oneroso do sistema, correspondendo a mais da metade do custo total de implantação. (CAMPOS e AMORIM, 2004).

Além disso, o aquecimento da água é outro item da instalação hidrossanitária que pode apresentar características sustentáveis. O sistema de coletores solares, para aquecimento solar residencial, devem ser posicionados da melhor maneira possível sobre os telhados a fim de garantir o aquecimento da água. Para Curitiba, por exemplo, a inclinação recomendada para os coletores é de aproximadamente 35° (KRAUSE e MEDEIROS, 2005).

O sistema de aquecimento da água tem como um dos seus principais componentes o *boiler*, um tanque de água quente com volume determinado de acordo com a necessidade domiciliar, além da utilização de conexões e tubos responsáveis pelas ramificações do sistema de abastecimento que resistam a elevadas temperaturas. (GEORGI, 2015).

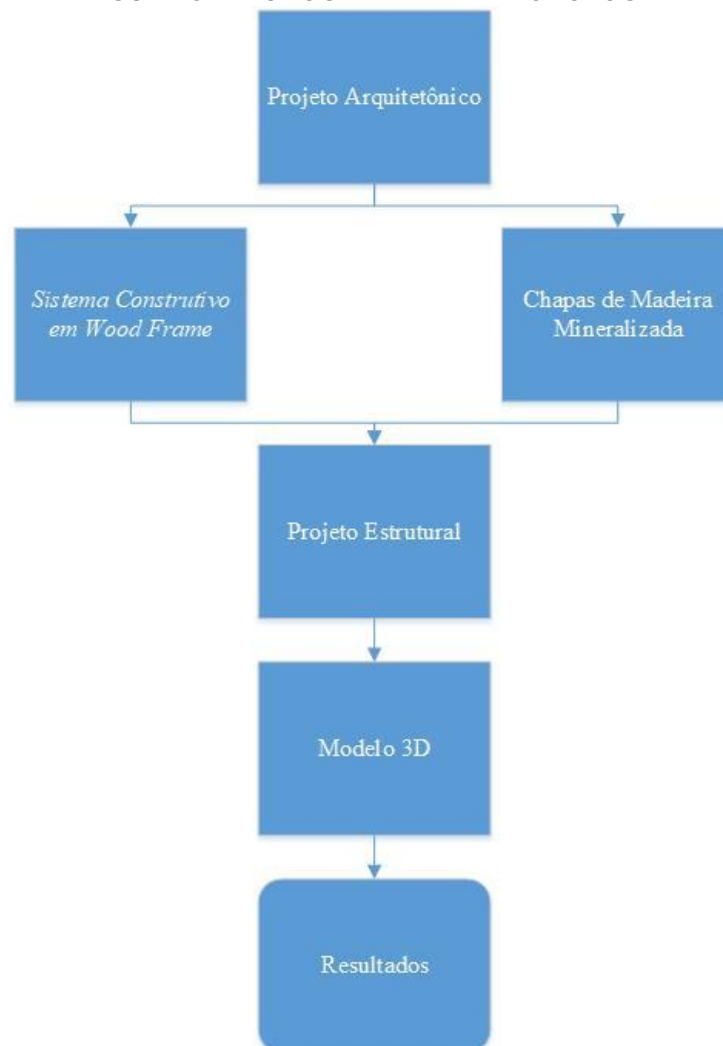
Conforme Demanboro et al. (2015) a instalação de torneiras termostáticas automáticas ou semiautomáticas (com temporizadores ou infravermelhos) possibilitam um consumo de água constante por ciclo e compreendem arejador, pulverizador e redutor de vazão. A vazão mínima necessária para as torneiras automáticas é de 0,04 l/s. As torneiras com temporizadores, de acordo Fasola et al. (2011) conferem economia de água da ordem de 77% quando comparadas com torneiras comuns, sendo que a presença do arejador é responsável por uma redução de 50% na vazão de água.

A utilização de bacia sanitária com caixa acoplada, possibilita um consumo de água independente da vazão no ponto de consumo e um volume de descarga conhecido, demonstra-se como uma opção vantajosa para a economia de água. (HAMZO, 2005).

3 METODOLOGIA

Com a composição do projeto arquitetônico, de um projeto de habitação popular, buscou-se otimizar as áreas para o mínimo estipulado por norma. As áreas foram planejadas para um ambiente humanizado e com espaços suficientes para uma família pequena. A partir disto, foi concebido o projeto estrutural, dimensionando as estruturas do sistema em *wood frame*, além da obtenção da quantidade de chapas de maneiras mineralizadas a serem utilizadas. Ainda, foi idealizado um modelo em 3D, para uma visualização mais fiel do projeto em si, demonstrando as disposições da casa e as suas características em um modelo eletrônico. Por fim, foram feitas abordagens e análises dos levantamentos de materiais básicos para a estrutura da casa e quantitativos de custos para este projeto. A FIGURA 8 apresenta um fluxograma ilustrando as etapas para a obtenção dos resultados.

FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA



FONTE: O AUTOR (2018).

3.1 DEFINIÇÕES DE PROJETO

A composição deste projeto de casa popular baseou-se na otimização de espaços para os ambientes e na otimização de prováveis custos associados à sua construção. Utilizou-se uma composição base da Cohab de Minas Gerais para conceber um projeto inteligente, sem a utilização de corredores de acessos aos ambientes. Neste sentido, procurou-se modificar e implantar alterações que melhorassem este projeto. O dimensionamento dos cômodos da casa foi baseado na NBR 15575, a qual discorre sobre o desempenho de edificações habitacionais, com a utilização de dimensões mínimas estipuladas por essa norma para cada ambiente, procurando também compatibilizar com o formato do domicílio.

A casa popular foi composta por cinco ambientes, dois quartos, sala de estar e jantar em conjunto, cozinha e banheiro, além de um espaço externo para área de serviços.

O dimensionamento foi adotado de forma igualitária para ambos os quartos, possibilitando a utilização de qualquer um desses como quarto de casal ou de solteiro, as distâncias mínimas obedecidas neste cômodo se referem a colocação de uma cama de casal com dimensões de 1,40x1,90 metros, um guarda-roupas de 1,60x0,50 metros e um criado mudo de 0,50x0,50 metros, além de um espaço para circulação de 50 centímetros entre cada objeto. Foram dimensionadas janelas de 1,20x1,20 metros para cada quarto para se obter boa ventilação e iluminação. A área resultante para estes ambientes foi de 7,54 m².

Para a sala de estar e jantar, criou-se um ambiente com dimensões de 2,60x3,00 metros, resultando em uma área de 7,80 m², o que permite a colocação de sofás ou mesas de jantar e obedece a referência da NBR 15575 para uma largura mínima de 2,40 metros. Novamente, dimensionou-se uma janela de 1,20x1,20 metros para a obtenção de boa ventilação e iluminação.

A cozinha foi dimensionada com a expectativa de utilização mínima dos aparelhos descritos na NBR 15575, pia, fogão, geladeira e armário. A largura mínima de 1,50 metros estabelecida por norma, foi obedecida e superada com a utilização neste projeto de uma largura de 1,70 metros, o que possibilitou a compatibilização da largura da porta e da janela implantadas. Foi utilizada uma janela de 0,60x1,20 metros e obedecido as distâncias mínimas de circulação. A área definida para a cozinha foi de 4,42 m² e a conexão entre a sala de estar e jantar com a cozinha foi estabelecida por meio de um vão de 80 cm.

A composição do banheiro foi a mais difícil encontrada para estimativa dos cômodos, e também a menor área destinada a um destes, com 1,80 m² apenas. Isso se deve ao fato que, com a otimização dos ambientes, se teve a necessidade da utilização do espaço destinado a pia

do banheiro servir também como corredor de acesso à um dos quartos. A composição da área do banheiro, com um vaso sanitário e um chuveiro com box, obedeceu aos limites mínimos da NBR 15575. Neste sentido adotou-se uma solução técnica para a porta do banheiro, por falta de espaço não se pode utilizar uma porta pivotante, mas um modelo sanfonado ou camarão, otimizando a utilização do espaço. Deixou-se em aberto a escolha da porta a ser utilizada, pois como se trata de uma casa popular, a porta ideal teoricamente seria a mais barata, no caso a sanfonada. Porém, a porta camarão oferece um acabamento melhor para o ambiente e maior privacidade, chegando mais próximo do ideal para uma porta de banheiro. Além disso, foi utilizada uma janela padrão para banheiros neste projeto, com as medidas de 0,60x0,80 metros.

Por fim, para a área de serviços, foi dimensionada um espaço externo para a colocação de um tanque de lavar roupas, o que é comum em projetos pequenos e/ou populares. Esta disposição foi exclusivamente adotada perante a necessidade da existência de uma área de serviços. Ainda, pode-se estimar um telhado para a implantação de uma área coberta.

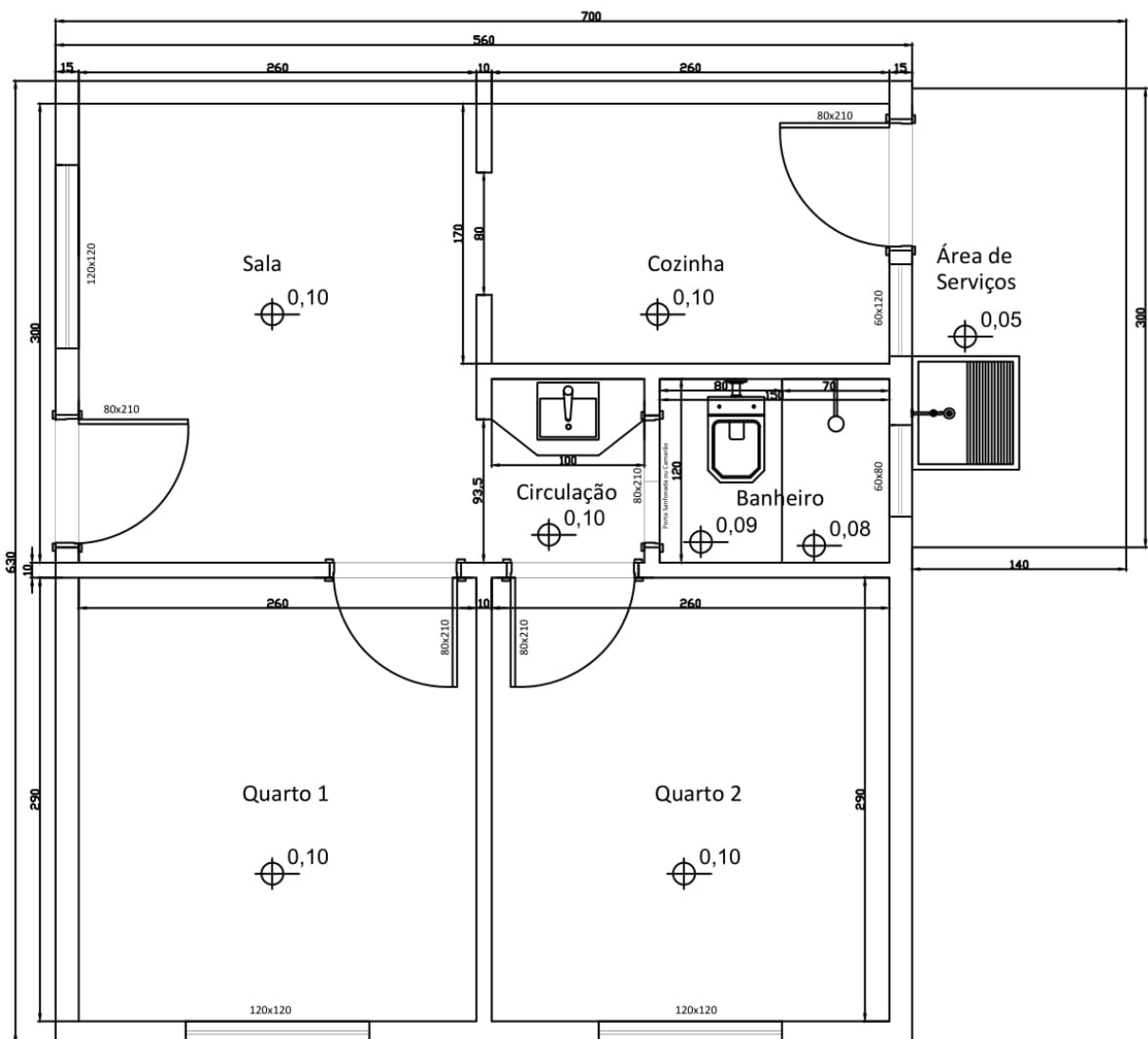
Um dos objetivos propostos para este projeto, foi a implementação da acessibilidade neste modulo residencial popular. Neste sentido, as portas foram dimensionadas com o tamanho padrão de 80 cm, pois esta dimensão é requisito mínimo para circulação de cadeirantes, conforme NBR 9050 (ABNT, 2015) – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Havia a possibilidade de utilização de portas com até 60 cm, o que é possível segundo norma, e auxiliaria no custo, já que portas padronizadas, se compradas em larga escala tendem a um menor custo. Outro fator é a diminuição da utilização de material para vedação com a padronização das portas em 80 cm, porém não existe grande diferencial de custo neste aspecto.

Em relação à aspectos regulamentares, optou-se pela não colocação de janelas ou portas em um dos lados da casa, facilitando assim a implantação, por não ser necessário a colocação de recuo neste lado em específico. Já para aspectos construtivos, optou-se pela implantação de pisos com diferentes níveis, para a área de serviços, por se tratar de uma área externa, optou-se por um piso com 6 centímetro de altura. Já para o banheiro, na área molhável do box do chuveiro, um nível de 8 centímetros, na região do vaso sanitário foi dimensionado com 9 centímetros. Para o restante da edificação foram projetados pisos com altura de 10 centímetros. Desta forma garante-se a diferença de níveis entre áreas molháveis e não molháveis.

3.2 PROJETO ARQUITETÔNICO

A disposição do projeto arquitetônico, com os ambientes descritos, as suas medidas, foram apresentadas na FIGURA 9. A área da edificação, para o pavimento existente é de 35,28 m², adicionalmente com uma área de serviço de 4,20 m², totalizando uma área de 39,48 m². O pé direito projetado no arquitetônico é de 2,60 m para o pavimento existente. Além disso, o projeto é composto por 5 cômodos e uma área para circulação, além da área externa de serviços.

FIGURA 9 – PLANTA BAIXA TÉRREO



PLANTA BAIXA TÉRREO

ÁREA CASA = 35,28 m²

ÁREA DE SERVIÇO = 4,20 m²

FONTE: O AUTOR (2018).

Foi elaborado um panorama para sumarizar os valores encontrados para às áreas dos ambientes, esses dados foram dispostos na TABELA 4.

TABELA 4 - ÁREAS DOS AMBIENTES

Pavimento	Cômodo	Área (m²)
Térreo	Quarto 1	7,54
	Quarto 2	7,54
	Sala de jantar/estar	7,80
	Cozinha	4,42
	Banheiro	1,80
	Corredor	1,20
	Área de Serviço	4,20
	Área Útil Total	34,50
	Área Interna Total	35,28
	Área Total	39,48

FONTE: O AUTOR (2018).

3.2.1 Placas de madeira mineralizada

A escolha do tipo de placa de madeira mineralizada, utilizada em projeto, baseou-se na compatibilização das dimensões estipuladas e na espessura de parede projetada. Assim, a placa escolhida tem como características, a espessura de 2,5 cm, largura de 84 cm, comprimento de 2,48 metros e massa de 25 kg por placa. Desta forma, para a espessura das paredes se faz necessário cerca de 1 cm de argamassa em cada lado das paredes, totalizando 15 cm de parede para as vedações externas, quando compatibilizado com os montantes de 4,5 x 9 cm. Para o acabamento não existem maiores requisitos, já que a argamassa cria uma camada regularizada e que permite qualquer tipo de acabamento comum encontrado no mercado. Para o acabamento externo, projetou-se a utilização de um acabamento do tipo grafiato.

A largura de 84 cm é uma dimensão padrão encontrada nas placas do fabricante pesquisado, porém como já apresentado, a facilidade de corte e utilização das placas de madeira mineralizada, se apresentam como características fundamentais nesta etapa para a composição adequada das paredes. Além disso, a vantagem desta espessura foi a compatibilização com o projeto estrutural, os montantes foram dispostos de acordo com a largura encontrada em uma placa, de modo a facilitar a execução e economizar material.

Uma grande vantagem encontrada neste sistema, foi a leveza de cada placa do compósito cimento madeira, com apenas 25kg, o que permite a colocação e manuseio por um único trabalhador. O peso é equivalente a metade de um saco de cimento (50 kg), por exemplo.

Para este projeto, verificou-se a quantidade necessária de placas à serem colocadas como vedação em todos os ambientes. Este cálculo foi apresentado resumidamente no ANEXO 1, exibindo a quantidade de chapas totais externas e internas, pensando na compatibilização efetuada para o menor desperdício de material possível.

3.3 PROJETO ESTRUTURAL

Como definição primordial, a espécie de madeira utilizada geralmente é do tipo pinus, característica do *wood frame*, ela está diretamente ligada a concepção de uma edificação sustentável. Esta madeira apresenta como características peso específico, a 12% de umidade, de 560 k/m³, $f_{c0,m}$ de 40,4 Mpa e $f_{t0,m}$ de 66,0 Mpa, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997).

O projeto estrutural foi dividido em três fases de execução. Todos os cálculos executados para o dimensionamento das estruturas existentes em cada uma das etapas, assim como o dimensionamento do telhado foram dispostos no ANEXO 1, o qual foi estruturado de modo a apresentar um exemplo da rotina de cálculo executada.

A primeira etapa corresponde à fundação, foi escolhido o *radier* armado, a qual é definida por ACI 360R-10 (2010) como uma laje apoiada no solo, tendo como finalidade o suporte de cargas aplicadas. A estrutura disposta tem como característica principal a leveza e se destaca pela rapidez na execução quando comparada a outros tipos de fundação.

Para evitar o contato com o solo, foi definido um lastro de brita de 7cm e uma camada de 8 cm com f_{ck} de 25 Mpa, totalizando uma altura de 15 cm. A disposição dessa estrutura se deu de forma a cobrir toda a extensão da edificação, com meio metro além da projeção do beiral, garantindo assim espaço suficiente para a estrutura e calçadas no entorno, totalizando uma área de 46,80 m². Dimensionou-se a armadura para a estrutura utilizando o aço CA-50 de bitola 6,3 mm. O cálculo foi realizado a partir da idealização da estrutura como uma laje, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

A segunda etapa se refere aos montantes, principais estruturas de suporte na posição vertical tendo como função o suporte da estrutura do telhado e a distribuição destas cargas até a fundação, se assemelhando a função dos pilares nas estruturas de concreto armado. Estes montantes são distribuídos em menor espaçamento em todo o perímetro da estrutura, possuem seções esbeltas e são compostos de madeira tipo pinus. Por se tratar de uma estrutura leve, um dos problemas a ser vencido é a carga de vento atuante na estrutura. Para isso, a disposição dos montantes em paredes externas pode dispender de menor espaçamento e maiores seções se comparadas a paredes internas, salvo casos específicos de grandes cargas aplicadas a montantes

internos. Os montantes de paredes externas possuem dimensão de 4,5 x 9 cm, com a altura do pé direito do pavimento. Para o espaçamento foi utilizado 40 cm de distância entre montantes e foi prevista a necessidade de contraventamento. Ainda, estes foram analisados perante flexo-compressão, sendo verificados para resistência e estabilidade.

Já para os montantes internos a metodologia de cálculo foi efetuada para verificação à compressão simples e por terem menores solicitações, principalmente por não existir a solicitação de vento, estes podem ser projetados com seções menores. A seção tipo escolhida foi definida em 4,5 x 4,5 cm de madeira pinus, com altura referente ao pé direito do pavimento, além disso o espaçamento utilizado foi de 60 cm.

Deste modo, as paredes de vedações externas foram apresentadas com 15 cm de espessura, já as internas foram dimensionadas com a necessidade de menor espessura de parede, com 10 cm de espessura. Ambas consideram acabamento superficial

As vergas, presentes em cada abertura de esquadria, como nas portas e janelas, resultam do dimensionamento pelo vão encontrado. Para vãos maiores, existe a possibilidade do requisito de seções maiores para a madeira utilizada. Já para vãos menores, geralmente menores ou próximos a um metro, projetam-se vergas com menores dimensões de seção para a madeira utilizada. Neste projeto, como os vãos encontrados foram relativamente pequenos, se projetou vergas com 4,5 x 9 cm. Todas as vergas são de madeira pinus e são verificadas a cisalhamento, flexão e flecha. Um resumo dos tipos de vergas adotados pode ser conferido na TABELA 5.

TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES DAS VERGAS PROJETADAS

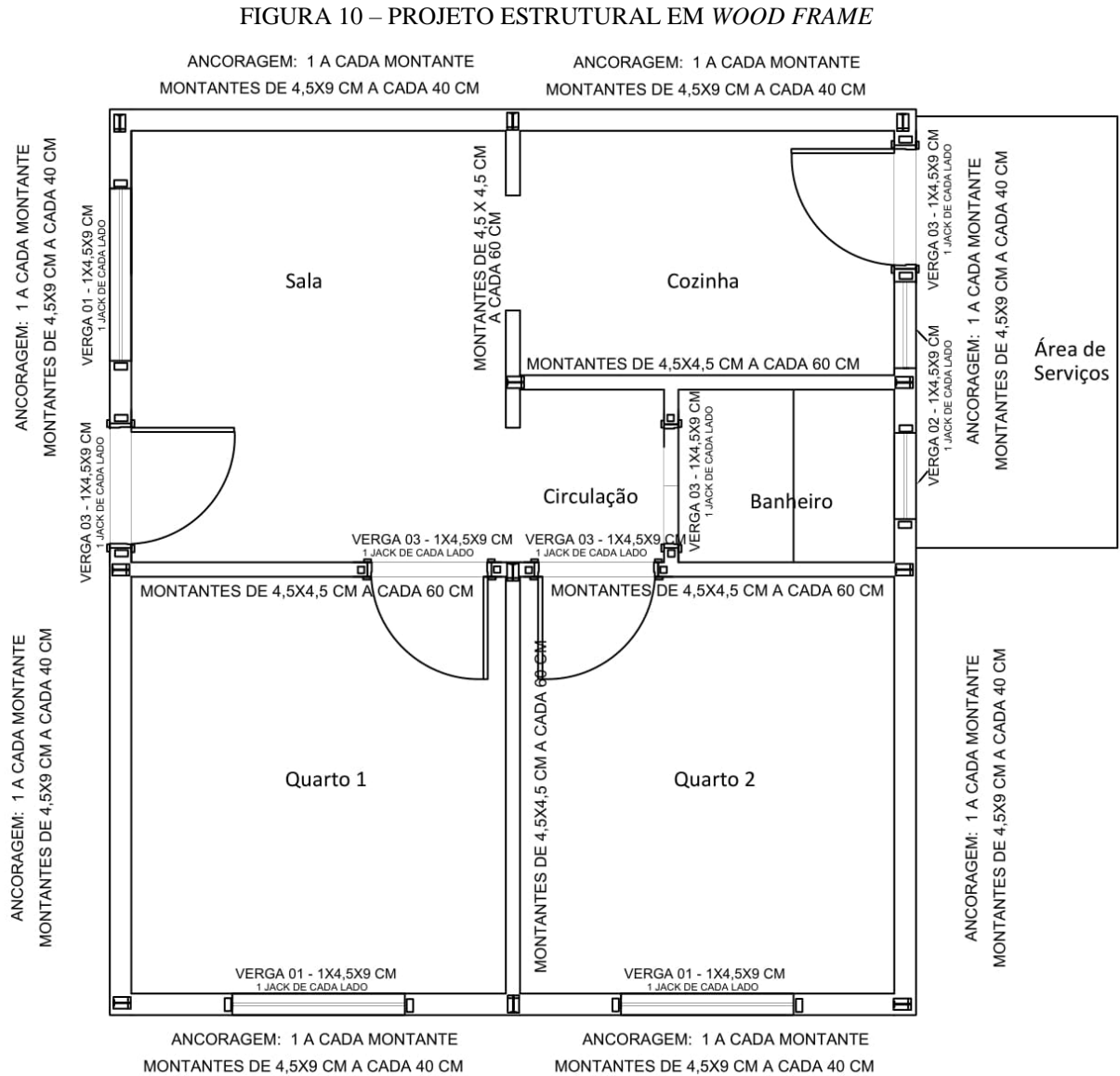
Verga	Largura (cm)	Tipo da verga	Dimensões (cm)
1	120	Madeira	4,5 x 9
2	60	Madeira	4,5 x 9
3	80	Madeira	4,5 x 9

FONTE: O AUTOR (2018)

Ainda, como o projeto elaborado trata-se de uma casa popular, possuindo somente pavimento térreo, não foram projetados os entrepisos para esta concepção, já que o *radier* permite que o acabamento de piso seja feito diretamente sobre este. Também, deve-se tomar o cuidado para a execução caso a tubulação elétrica e hidráulica seja transpassada pelo piso, para planejar a execução prévia à concretagem do *radier*. Outro detalhe a ser considerado para o projeto estrutural foi a colocação de peças adicionais em cada abertura de esquadria, utilizadas como reforço, conhecidas como *jack ou king studs*. Por fim, foi elaborado o projeto estrutural

em planta mostrando os detalhes necessários para a execução da estrutura projetada em *wood frame*. As informações referentes a este projeto foram apresentadas na

FIGURA 10.



MONTANTES - PLANTA BAIXA INFERIOR

FONTE: O AUTOR (2018).

3.3.1 Telhado

A estrutura do telhado adotada, dispõe de madeira pinus, a mesma utilizada para a estrutura *wood frame*, o que se põe como um ponto favorável, já que esta madeira é uma das mais populares encontradas na região e apresenta um baixo custo, porém apresenta menor

resistência se comparada a outros tipos de madeira. O telhado foi dimensionado de forma tradicional, com treliças pequenas e pouco espaçadas, porém que garantissem a carga para os modelos mais tradicionais de telhas existentes no mercado.

O maior vão a ser vencido neste projeto tem 2,90 metros em um dos sentidos e 2,60 metros em seu outro sentido. A maior preocupação de cálculo foi a possível utilização de uma caixa d'água de 500 litros, que possivelmente após a construção seria colocada junto a estrutura do telhado, assim para cálculo se estipulou o peso desta caixa nas rotinas implementadas. Como não houve a necessidade de grandes vãos à serem vencidos, as seções de madeira utilizadas se demonstraram relativamente pequenas, visto a partir de verificações para quanto à tração, compressão, flexão, flecha, cisalhamento, flexocompressão, flambagem e flexão oblíqua, a partir de como disposta na NBR 7190 (ABNT, 1997), para cada parte da treliça e das terças que descarregam nas primeiras. A rotina de cálculo é apresentada no ANEXO 1.

Ainda, a partir do dimensionamento se obteve o espaçamento necessário para cada peça componente da estrutura do telhado, e estipulou-se uma inclinação de 20° para o telhado, valor suficiente para a maioria dos tipos de telhas comuns existentes no mercado. Vale ressaltar que a principal preocupação no dimensionamento foi buscar a otimização para o custo, assim a estrutura projetada, teve o beiral dimensionado com 40 cm. A TABELA 6 apresenta os detalhes da estrutura.

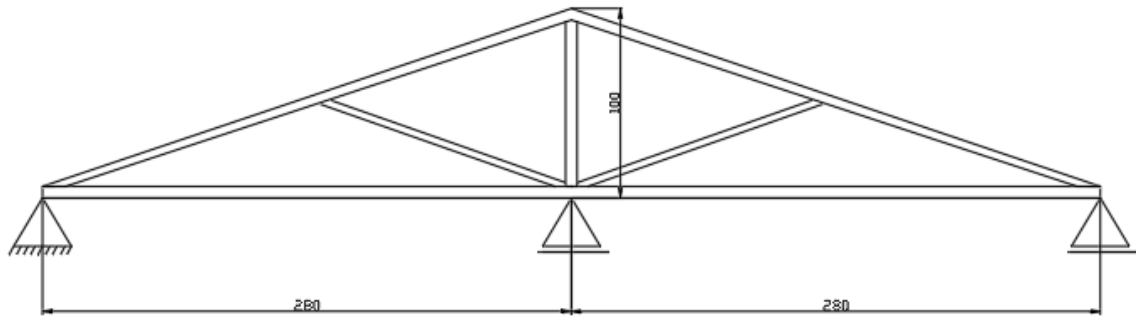
TABELA 6 – DETALHES DAS PEÇAS DO TELHADO

Peça	Seção (cm)	Quantidade	Espaçamento (cm)
Ripas	1x5	19	30
Caibros	4x7	12	50
Terças	6x12	5	150
Treliça (Tesoura) e Oitão	Banzo Inferior	6x12	3
	Banzo Superior	6x12	6
	Diagonais e Montantes	6x12	6
			300

FONTE: O AUTOR (2018).

Em relação ao tipo de treliça adotada, o modelo simplificado foi apresentado na FIGURA 11, e por questão de simplificação de projeto adotou-se a mesma treliça para toda a estrutura do telhado, já que mediante o cálculo da treliça que contém maior esforço aplicado, as demais possuem garantia de funcionalidade.

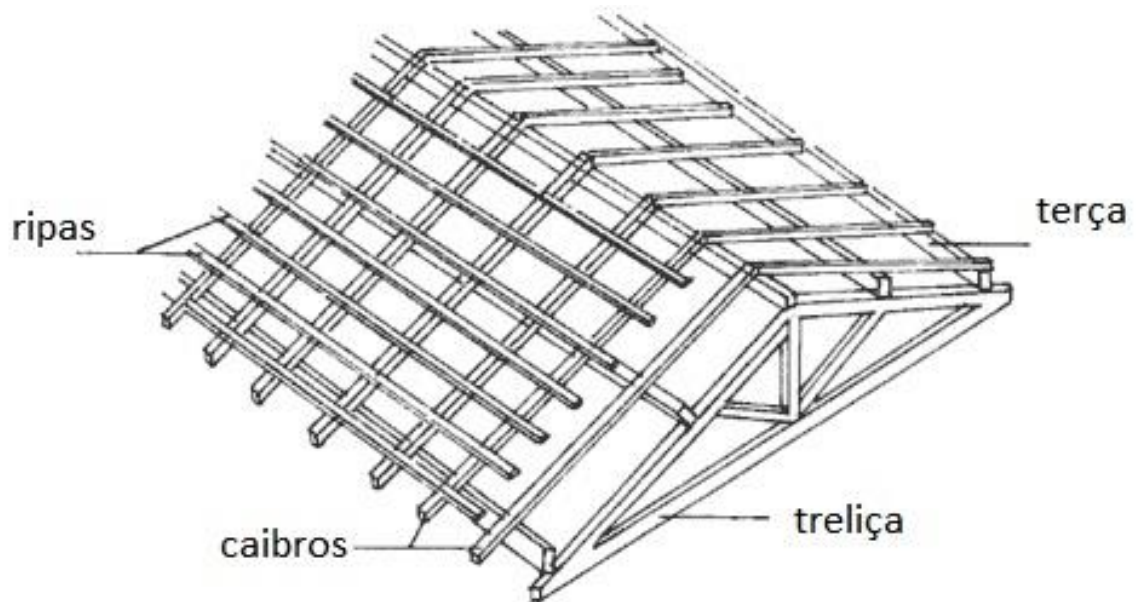
FIGURA 11 – EXEMPLO DA ESTRUTURA DA TRELIÇA



FONTE: O AUTOR (2018).

Por fim, a FIGURA 12, apresenta um exemplo da estrutura adotada para o telhado neste projeto, demonstrando os elementos que foram projetados.

FIGURA 12 – EXEMPLO DA ESTRUTURA DA TRELIÇA



FONTE: ADAPTADO DE MILITO (2018)

3.4 MODELO 3D

A criação de um modelo em 3D visou complementar a apresentação do projeto, já que detalhes e aspectos da edificação ficam mais claros com uma modelagem tridimensional. Esta concepção permite representar o projeto de maneira humanizada, sendo possível adicionar objetos, mobiliário e esquadrias, permitindo também avaliação de diferentes cores para o acabamento. A

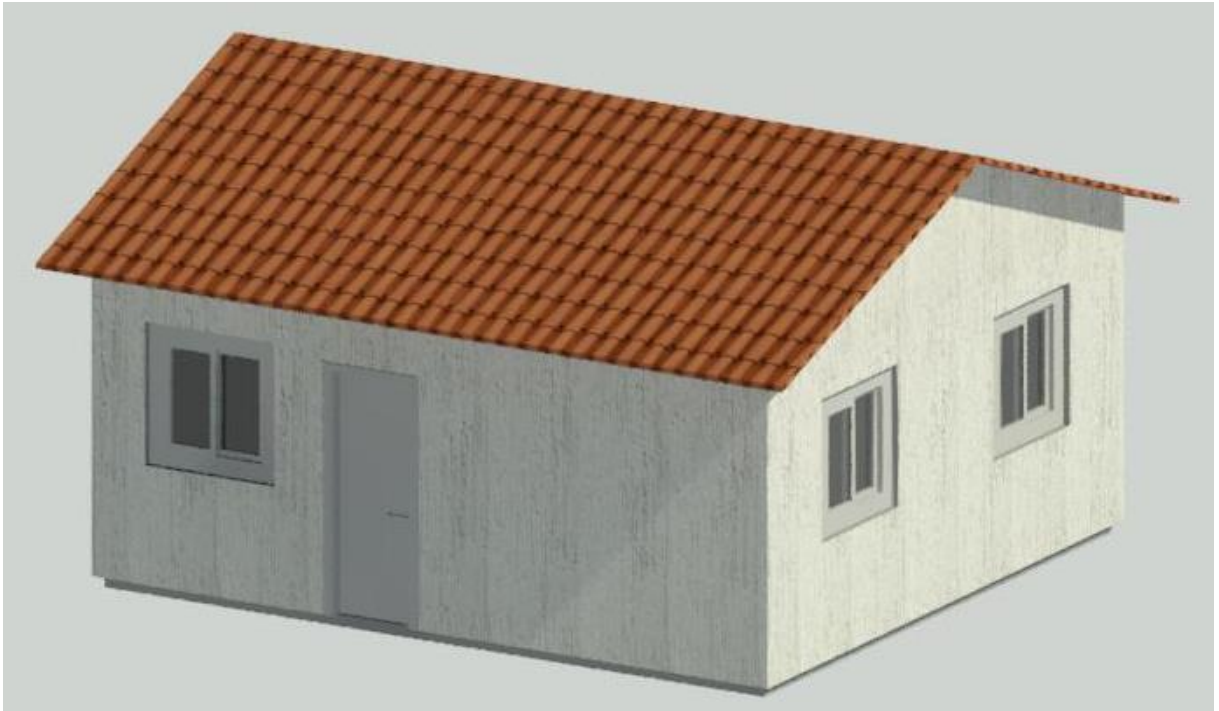
FIGURA 13, FIGURA 14, FIGURA 15, apresentam respectivamente, detalhes de vista externa frontal, vista externa da parte posterior e uma vista de detalhes internos.

FIGURA 13 – PLANTA



FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 14 – VISTAS



FONTE: O AUTOR (2018)

FIGURA 15 – DETALHES INTERNOS



FONTE: O AUTOR (2018)

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O projeto do sistema construtivo *wood frame* com a utilização de chapas de madeira mineralizada representou uma opção alternativa aos sistemas construtivos inseridos em nossa sociedade, sobretudo aos sistemas culturalmente enraizados, como o em concreto armado e o sistema de alvenaria estrutural.

Uma das principais questões associadas a este sistema construtivo, levantada neste trabalho, foi a sustentabilidade associada aos materiais empregados. A possibilidade da utilização de madeiras de reflorestamento para a composição da estrutura em *wood frame* aliado ao grande potencial territorial brasileiro para plantio e comercialização de madeiras deste tipo, apresenta-se como umas das principais vantagens para a popularização deste método construtivo.

Além disso, a aliança estabelecida neste projeto, com a adoção de fechamentos em vedações de chapas de madeira mineralizada, apresenta-se como solução complementar para o sistema. Isto, representa um adicional à popularização do uso da madeira como material de construção definitivo, e não somente como acessório, encontrado na maioria dos sistemas construtivos. A possibilidade da utilização de restos e lascas de madeira, para compor um painel, juntamente com cimento, complementa o ciclo de produção e corte de árvores de reflorestamento. Ainda que, caibam diversos estudos referentes a resistência e estruturas compostas com diferentes tipos de lascas, fibras ou demais compósitos de madeira com cimento.

Ainda, o sistema em *wood frame*, como verificado, possibilita a aplicação em estruturas das mais variadas formas e portes. Possui tradição em países como Estados Unidos e Canadá, em residências de alto padrão e até em edifícios de pequeno porte. Para o projeto proposto, limitou-se a utilizar este sistema da forma mais simples possível, aplicando em um projeto de pequeno porte, limitado por mínimos de norma habitacionais e de cunho social, para habitações de interesse social.

A adição de possíveis elementos complementares, que abordem o aumento da sustentabilidade da edificação, serve como sugestão para projetos em série desta composição de módulo popular. Principalmente se verificado o custo associado a alguns destes materiais, o que inviabilizaria completamente a aplicação em menor escala.

A composição de um projeto estrutural, incluindo-se a estrutura da cobertura, visou apresentar a simplicidade obtida para a construção de tal módulo. O dimensionamento efetuado, apresenta materiais próximos ao mínimo exigido por norma, com baixo custo associado,

buscando-se a otimização para a aplicação em edificações de pequeno porte e de interesse social.

O modelo tridimensional apresentado para a composição do módulo popular, visou humanizar o projeto e demonstrar que pode ser possível obter um modelo residencial que apresente as mesmas características de construções em sistemas construtivos culturalmente aceitos pela sociedade.

Por fim, para que fosse possível mensurar alguns dados referentes a edificação projetada em *wood frame* e madeira mineralizada, propôs-se uma comparação com um dos principais sistemas construtivos encontrado no mercado, o concreto armado, com vedações de tijolos.

4.1 COMPARAÇÃO COM SISTEMA EM CONCRETO ARMADO COM ALVENARIA DE TIJOLOS

Para que fosse possível mensurar alguns aspectos e vantagens ou desvantagens do sistema construtivo em *wood frame*, com placas de madeira mineralizada, buscou-se efetuar uma comparação com outro sistema, realizou-se o levantamento da expectativa de custos dos materiais da estrutura necessária para um mesmo projeto arquitetônico, comparando-se com uma construção no sistema de concreto armado, com alvenaria convencional. O sistema de concreto armado pode ser considerado vantajoso em alguns aspectos, com destaque para o fato de ser culturalmente consolidado no mercado, o que facilita a venda do imóvel após a finalização da construção.

A primeira vantagem levantada para um projeto em *wood frame*, com placas de madeira mineralizada, foi a possibilidade de utilização de uma fundação rasa para o sistema, devido a leveza apresentada pela superestrutura. O impacto direto sobre as cargas da fundação, causado por uma estrutura, composta em suma de madeira de reflorestamento, inflige cargas menores do que aquelas presentes no sistema em concreto armado. Este fator fica evidenciado na composição de estruturas com áreas maiores, como na execução de sobrados ou casas de um padrão mais elevado.

Neste mesmo sentido, a superestrutura da residência para o sistema *wood frame*, foi composta integralmente por madeira tipo pinus. A madeira tem por característica a absorção de dióxido de carbono gerado nos processos de industrialização. Com emissão reduzida, há grande vantagem em relação ao sistema em concreto armado, o qual tem como componentes o cimento e o aço, potenciais emissores de dióxido de carbono.

A utilização da madeira para a estrutura pode representar uma efetiva redução na quantidade de dióxido de carbono emitida, um grande ganho no aspecto da sustentabilidade. Enquanto a madeira é considerada absorvedora de CO₂ em seu ciclo de vida, podendo simplificar seu consumo de CO₂ a zero, os materiais básicos de uma construção convencional possuem valores elevados de CO₂ em sua etapa de produção. A TABELA 7 apresenta valores de consumo de tijolos e concreto, simplificadamente, para a construção da residência em estudo, não entrando ainda o cálculo da quantidade de aço necessária, o que certamente aumentaria a quantidade de CO₂ produzido.

TABELA 7 – QUANTIDADES PARA CONCRETO E TIJOLOS

Parede (m)	Pé Direito (m)	Área (m ²)
5,85	2,6	15,21
5,15	2,6	13,39
0,9	2,6	2,34
5,85	2,6	15,21
5,15	2,6	13,39
2,6	2,6	6,76
1,2	2,6	3,12
Total		69,42
Tijolos/m ²		23
Tijolos	1597	unidades
Concreto	3,51	m ³

FONTE: O AUTOR (2018).

A partir da metodologia de cálculo disposta por Tavares (2006) e do quantitativo de materiais levantados neste trabalho, deixariam de ser emitidas cerca de 1,896 toneladas de dióxido de carbono, calculados a partir da quantidade total de concreto e tijolos estimados para este projeto. A obtenção deste valor está diretamente relacionada a premissa de que para a fabricação de uma tonelada de concreto são gerados 45 kg de dióxido de carbono. Para este projeto, estima-se que seriam necessários 3,51 m³ ou 8,42 toneladas de concreto, além de 3,51 toneladas de tijolos cerâmicos do padrão 9x14x19 cm. A TABELA 8 apresenta os valores de consumo de CO₂ para itens básicos da construção civil.

TABELA 8 – VALORES DE CONSUMO DE CO2

Material	Toneladas de CO2 / Toneladas de Material
Alumínio	1,600
Cal	0,760
Cimento	0,375
Concreto	0,045
Tijolos Cerâmicos	0,432

FONTE: ADAPTADO DE TAVARES (2006).

Outro fator importante e característico da estrutura do sistema *wood frame*, se dá na existência de espaço entre montantes para o fechamento das paredes, também representam uma vantagem do ponto de vista da sustentabilidade. Comparado a construção em concreto armado, tem-se uma gama maior de possibilidades de utilização de isolantes e revestimentos. O isolamento de cortiça, por exemplo, é um excelente isolante térmico, acústico e vibratório, com elevada elasticidade e 100% natural, já citado na revisão bibliográfica.

Embora vantajosa no aspecto de sustentabilidade e leveza da estrutura, a utilização da madeira apresenta menor resistência perante a força de arrasto do vento, podendo haver a necessidade de prever contraventamentos, além de um cuidado maior no dimensionamento das peças, principalmente no que se refere a espaçamentos de montantes.

As composições das paredes apresentam grandes diferenças entre ambos os sistemas. Para a construção no sistema em *wood frame* foi utilizado em projeto o fechamento com placas de madeira mineralizada, material que apresenta uma boa solução para a utilização de restos de madeira, como já apresentado. No que diz respeito ao método construtivo em concreto armado, foi projetado a utilização de tijolos cerâmicos comuns, de dimensões 9x14x19 cm, modelo padrão encontrado no mercado brasileiro e comumente utilizado em residências de baixo custo.

Um dos objetivos deste trabalho foi estudar a viabilidade econômica do uso da combinação entre uma estrutura em *wood frame* e chapas de madeira mineralizada. Para isso decidiu-se efetivar uma comparação entre a estrutura básica do projeto arquitetônico apresentado, já que demais elementos deste projeto podem ser compostos por materiais semelhantes. Assim, A TABELA 9 apresenta uma comparação entre os materiais empregados para estrutura no projeto, composta a partir de uma pesquisa de preços levantadas das seguintes fontes: SANTOSMADEIRAS (2018), LEROY MERLIN (2018), BALAROTI (2018), MADEIRA CUIABA (2018), CLIMATEX (2018), LEEYIN (2018), SISTRUT (2018), BRASIL (2018), LENHARO (2018) e TRESDMAIS (2018). Evidenciando uma diferença de 8,3% de custos entre projetos.

TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTRUTURAS

Tipo	Estrutura Básica	Quantidade	Toneladas	Preço Médio	Preço Total
Wood frame	Madeira Pinus (4,5x9)	59 (unidades)	0,35	9,02 (unidade)	R\$ 532,18
Wood frame	Madeira Pinus (4,5x4,5)	22 (unidades)	0,07	3,85 (unidade)	R\$ 84,70
Concreto Armado	Concreto	3,51 (m ³)	8,42	270,00 (m ³)	R\$ 947,70
Aço (estimativa)	Aço CA-50	100 kg/m ³	0,351	4,43 (kg)	R\$ 1.555,06
Formas (estimativa)	Madeira Pinus	42,12 (m ²) ou 49 unidades	2,359	11,70 (unidade)	R\$ 573,30
Chapas de Madeira Mineralizada		43 (unidades)	1,075	81,90 (unidade)	R\$ 3.521,70
Tijolos Cerâmicos		1597 (unidades)	3,51	450 (milheiro)	R\$ 718,65
Total Concreto Armado					R\$ 3.794,71
Total Wood Frame					R\$ 4.138,58

FONTE: O AUTOR (2018)

Para uma composição completa de custos do módulo residencial apresentado em projeto, no item 3.2, semelhante ao modelo 3D, exposto no item 3.4, seria necessário o cálculo do preço da fundação, dos pisos e revestimentos, das esquadrias e demais materiais complementares, como pregos, malhas de aço, argamassas entre outros. Como tais itens, em suma, não diferem entre os sistemas construtivos apresentados, optou-se por não calcular tais valores. Assim, focou-se na comparação principal entre os dois sistemas, evidenciando-se ainda que para complementá-la, seria necessária a checagem entre o custo da mão de obra entre os dois sistemas.

4.2 APLICAÇÃO DE COMPONENTES SUSTENTÁVEIS A EDIFICAÇÃO

A compatibilização completa entre componentes sustentáveis, para aplicação em um projeto como o deste objeto de estudo, apresenta dificuldades inerentes a projetos de baixo custo. A utilização de painéis fotovoltaicos, boilers, sensores, componentes de reaproveitamento de água e demais, esbarra no custo associado a aquisição e instalação dos mesmos. Alguns materiais possuem menor custo e seriam passíveis, numa composição global de precificação da obra, de uso, tais como lâmpadas de LED, pequenas cisternas para reaproveitamento de água e encanamentos reaproveitando a água utilizada no tanque para a bacia sanitária.

De qualquer forma, a indicação principal, para a utilização de tais componentes, se dá na composição de condomínios populares, com a construção em série de tais módulos populares

de moradia. A partir do tamanho diminuto de cada casa, seria possível a associação destes módulos para a composição de pequenas centrais de painéis fotovoltaicos e de armazenamento e aquecimento de água a partir de coletores solares, ambos principais componentes de custo nas contas mensais de uma casa.

Com o objetivo de verificar a viabilidade econômica da implementação dos dispositivos sustentáveis, pensando na construção em série destas edificações, foi realizada uma pesquisa do custo para aquisição dos coletores solares, *boiler* e sistema de painéis fotovoltaicos e demais itens de interesse. A aplicação destes itens se fez recomenda para o uso em quatro casas padrões do projeto apresentado, estabelecendo isto a partir da área total construída. A metodologia consistiu em comparar o uso em uma casa de padrão médio, com cerca de 150 m² e adaptar estes valores para quatro casas de baixo padrão, conforme apresentados no projeto, com menos de 40m² cada. A TABELA 10 ilustra os dados adquiridos.

TABELA 10 – CUSTO MÉDIO DE DOS PRINCIPAIS DISPOSITIVOS DE SUSTENTABILIDADE

Item	Preço médio (R\$)
Kit para sistema fotovoltaico 3 kWp	22.365,75
<i>Boiler</i> 400 l	1.712,68
Coletor solar	973,30
Lâmpadas LED	9 a 15
Sensores de presença	36,69
Torneira temporizada com misturador	397,03
Bacia sanitária com caixa acoplada	447,73
Cisterna 1000 l	917,00

FONTE: O autor (2018).

4.2.1 Paineis fotovoltaicos e *boiler*

A economia de energia com a utilização dos painéis se traduz na redução do valor da conta de energia elétrica mensal, o que pode significar a redução a zero do gasto de energia ou até a geração e entrega de energia a rede. O investimento estimado em R\$ 22.365,75 para uma composição de quatro casas pode ser validado a longo prazo com a durabilidade do sistema, estimado em ao menos 20 anos.

Outra análise poderia ser efetivada na utilização do sistema fotovoltaico juntamente com o *boiler* e o coletor solar no sistema. Esta opção se demonstra mais próxima para um regime autossuficiente de geração de energia.

4.2.2 Demais itens sustentáveis

Apesar de os principais custos estarem diretamente associados a utilização dos painéis fotovoltaicos e do *boiler*, os demais itens implantados em projeto contribuem com a diminuição da demanda energética ou de água na residência.

A utilização de lâmpadas LED, material que posiciona-se como grande entrante e se consolida a cada ano no mercado brasileiro, mostra-se como alternativa para uma iluminação mais eficiente. Lâmpadas de LED de 12W apresentam, no fator luminosidade, a mesma potência do que lâmpadas de 100 W incandescentes e de 23 W para a lâmpada fluorescente, que possuem luminosidades semelhantes, próximas a 1350 lúmens, valor obtido para lâmpadas LED 12W, de acordo com as tabelas de eficiência da Procel (2016).

A TABELA 11 apresenta o preço médio obtido para lâmpada incandescente de 100 W e lâmpada fluorescente de 23 W. Além disso, são expressos dados referentes a vida útil esperada e a eficiência energética, de acordo com as tabelas de eficiência da Procel (2016).

TABELA 11 – COMPARATIVO DE LÂMPADAS

Item	Preço médio (R\$)	Vida útil (horas)	Eficiência energética (lúmens/W)
Lâmpada LED 12W	12,00	25.000	112
Lâmpada incandescente de 100 W	6,72	1.000	15
Lâmpada fluorescente de 23W	12,59	8.000	65

FONTE: ADAPTADO DE PROCEL (2016).

Além destas, outros itens se mostram como viáveis de aplicação, independente da composição ou não de módulos residenciais em série. Itens como sensores de presença, com custo médio unitário de R\$36,69, torneiras temporizadas, com preço para aquisição de R\$ 397,03, bacia com caixa acoplada no valor de R\$447,73, apresentam-se como outros materiais passíveis de aplicação em um projeto sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de materiais considerados populares, de baixo custo associado, reutilizáveis e que apresentam caráter sustentável são de fundamental influência para construções futuras, devido a finitude dos recursos naturais e deterioração do nosso meio ambiente.

De acordo com a revisão bibliográfica, a utilização da madeira no *wood frame* é uma importante vantagem desse sistema construtivo, haja vista que se trata de um material renovável, leve e durável que contribui com a fixação de carbono, auxiliando na redução da emissão de gases poluentes. Tal fato foi evidenciado a partir de uma análise que mostrou que 1,897 toneladas de dióxido de carbono deixaram de ser emitidas quando se compara o *wood frame* com o sistema em concreto armado, isto em um projeto de uma residência com área total menor do que 40m².

O potencial brasileiro para o plantio e comercialização de madeiras de reflorestamento, entra como fator para impulsionar a utilização do material madeira, principal material utilizado na composição do módulo popular. Outro fator apresentado, foi a união estabelecida neste projeto com a utilização de madeira tanto na estrutura quanto nas vedações. A utilização dos fechamentos de chapas de madeira mineralizada, apresentou-se como solução complementar para o sistema, dando mais força à popularização do uso da madeira como material de construção definitivo, e não somente como acessório, encontrado na maioria dos sistemas construtivos. A possibilidade da utilização de restos e lascas de madeira, para compor um painel, juntamente com cimento, complementa o ciclo de produção e corte de árvores de reflorestamento.

Vale ressaltar, que neste projeto, limitou-se a utilizar o sistema construtivo em *wood frame* da forma mais simples possível, aplicando em um projeto de pequeno porte, restrito por mínimos de norma habitacionais, para habitações de interesse social. Ainda que o sistema, como verificado, possibilite a aplicação em estruturas das mais variadas formas e portes. Possuindo tradição em países como Estados Unidos e Canadá, em residências de alto padrão e até em edifícios de pequeno porte.

Tornou-se como objetivo neste trabalho, a composição de um projeto estrutural, incluindo-se a estrutura da cobertura, o qual, visou apresentar a simplicidade obtida para a construção de tal módulo. O dimensionamento efetuado, apresenta materiais simples de serem encontrados, com baixo custo associado, buscando-se a otimização para a aplicação em edificações de pequeno porte e de interesse social. Também, apresentou-se o modelo

tridimensional para a composição do módulo popular, com a humanização do projeto e demonstração que pode ser possível obter um modelo residencial que apresente as mesmas características de construções em sistemas construtivos culturalmente aceitos pela sociedade.

A utilização de demais materiais e elementos sustentáveis, como painéis fotovoltaicos, *boilers*, sensores de presença, lâmpadas de LED e demais, mostram potencial de viabilidade perante a execução de tal projeto em série, com a execução de condomínios de módulos residenciais populares.

Portanto, a utilização de uma combinação entre o sistema em *wood frame* e chapas de madeira mineralizada, demonstrou-se consideravelmente vantajoso e competitivo em relação à sistemas padrões utilizados comumente para a construção de casas populares, sejam em alvenaria estrutural ou no sistema construtivo em concreto armado, principalmente no aspecto relativo à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ADRIAZOLA, M. K. O. **Avaliação experimental por meio de protótipos e por simulação de painéis de madeira para habitação de interesse social**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal -Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **WFCM 2001: Wood Frame Construction Manual**. Washington, DC, 2001.

_____. **NBR 6120: Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6122: Projetos e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 9050: Rio de Janeiro, Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 2015.

_____. **NBR 15498: Placa de Fibrocimento Sem Amianto – Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037**: standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials. [S.l.], 1982. (Annual Book of ASTM Standard).

BALAROTI. **Viga pinus**. Disponível em: <<https://www.balaroti.com.br/viga-pinus-2x4-5x10cm-25m-2700/p>>. Acesso em: 10 mai de 2018

BASTOS, P. S. dos S. **Estruturas de Concreto 1**. UNESP, Bauru, 2014.

BATISTA, A.M. **A influência do tratamento em compósitos de cimento-madeira**. *Projeções*, v.19/20, p.1-3, 2001/2002.

BRASIL. **Gerador de preços**. Disponível em: <[BERRIEL, A. **Tectônica e poética das casas de tábuas**. Curitiba, PR: Instituto Arquibrasil, 2011.108 p. \(A casa de araucária: arquitetura da madeira em Curitiba; 3\).](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0_0_0_0|EHS010|ehs_altplant%20rectangular:c3_0_2c9_0_1c3_0_11_130_3_0_0_10c3_0|hormigon%20pilar:c6_0_1_2_0_1_0_0_1_1_0_5|ehs_cuan:_119000|acero%20pilar:_0_0_0_0_0_1_0_3|hor_separadores%20soportes:_0_0_0_0_0_0_11_0>. Acesso em: 10 mai de 2018</p>
</div>
<div data-bbox=)

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA J. C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul. /dez. 2010.

CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. de. **Aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multifamiliar no município de São Carlos**. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, 2004.

CAMPOS, R. J. A. **Diretrizes de projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Edificação e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2006.

CASTRO, R. T. S.; GUSMÃO, T. M. M. Projeto de uma Edificação Residencial em Maceió/AL: A Utilização de Recursos Ambientais Renováveis como Evidência de Projeto. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. 21-24 outubro 2013, Curitiba.

CLIMATEX. **Climatex**. Disponível em: <<http://www.climatex.ind.br/>>. Acesso em: 10 nov de 2017

CICHINELL, G. Parede ou vedação. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 15, n. 128, p 52-57, nov. 2007.

COLOMBO, C. R. **Pilares para a construção do futuro: as dimensões éticas e estéticas dos ambientes de vida gerados por uma Construção Civil baseada nos princípios da Sustentabilidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, novembro 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2006, p. 3579-3588.

DA SILVA, F. B. **Wood Frame Construções Com Perfis e Chapas de Madeira** – Revista Técnica Edição 161 (AGO/2010). Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/161/artigo286726-1.aspx>>. Acesso em 29 jan. de 2018.

DEMANBORO, A. C. et al. Avaliação do consumo de água em torneiras em ambiente universitário. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 135-143, jul./set. 2015.

DEMONTE, R. Sistema de Co-Geração de Energia a partir de Painéis Fotovoltaicos. 106 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Eletrônica de Potência, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1052: Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Drckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 1052-1:1998**. Berlim, 1998.

DIAS, M. P.; PINTO, D. P.; BRAGA, H.A.C. **Uma Avaliação da Economia de Energia de Lâmpadas à Base de LEDs de Potência**. Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, CBEE. Belém – PA, 2009.

DUPONT. Materiais de Construções - **Otimize o Envolvimento de Edificações**. Disponível em: <<http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/construction-materials/building-envelope-systems.html>>. Acesso em 05 fev. de 2018.

EUROPEAN STANDARD. **EUROCODE 5 – Design of timber structures- Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.** 1995-1-1:2008.

EUROPEAN STANDARD. **EUROCODE 5 – Design of timber structures- Part 2: General – Common rules and rules for buildings.** 1997.

EUROPEAN STANDARD. **EN 300 – Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications.** 2006.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1058: wood-based panels - determination characteristic values of mechanical properties and density.** Brussels, 2014.

FASOLA, G. B. *et al.* Potencial de Economia de Água em Duas Escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p 65-78, out/dez. 2011.

FIGUEROLA, V. Obras – **Chumbadores** - Revista Equipe de Obra Edição 61 (JUL/2013). Disponível em: <<http://equipedebra.pini.com.br/construcao-reforma/61/chumbadores-para-fixacao-de-maquinarior-a-bases-de-concreto-291312-1.aspx>>. Acesso em 08 fev. de 2018.

GEORGI, A. L. V. **Aquecimento solar de água: desempenho e racionalização de materiais e energia alternativa fundamental para o desenvolvimento sustentável.** Tese de Doutorado. Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Universidade Federal do Paraná, 2015.

HAMZO, S. T. **Avaliação da Economia de Água Obtida Pelo Uso de Dispositivo Seletivo de Descarga em Bacias Sanitárias com Caixa Acoplada.** 79 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Tecnologia em Construção de Edifícios, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

HILGENBERG NETO, M. F. **Estudo de viabilidade técnico/econômica da casa de madeira popular no Estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

JOHN, V. M. **Construção sustentável e Reciclagem.** Trabalho apresentado no Seminário de Construção Sustentável da FGV. São Paulo, 21 de junho de 2005. Disponível em:<http://www.ces.fgv.br/arquivos/Moacyr_John.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2018.

KRAUSE, C. B.; MEDEIROS, D. D. C. de. **Instalação de coletor solar.** Dicas para arquitetura. 15 f. Artigo (Pós-graduação em Arquitetura) – Conforto Ambiental e Eficiência Energética. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br/wp-content/uploads/2013/08/claudia-barroso-krause-ufrrj.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

LACERDA, J. F. S. B. Avaliação da sustentabilidade na construção civil dos sistemas construtivos convencional e industrializado no brasil. 135f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

LATORRACA, J. V. de F. Estudo de viabilidade do uso da espécie *Ecalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento. Curitiba, 1996. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

LEEYIN. **Wood fiber mineralized panel.** Disponível em: <<https://www.alibaba.com/showroom/wood-fiber-mineralized-panel.html>>. Acesso em: 05 abr de 2018

LENHARO. Metais. Torneiras. Torneira para Banheiro LMS-8902 com sensor de proximidade e misturador. Arapongas, 2018. Disponível em: <<http://www.lenharomegastore.com.br/metais/torneiras/torneira-para-banheiro-8902-sensor-proximidade-misturador.html>>. Acesso: 14 jun. 2018

LEROY MERLIN. **Caibros.** Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/caibros-quadrados-e-pontaletes?term=caibro&filter\[characteristics_madeira_do_produto_as_string\]=Pinus&order=menor-preco](https://www.leroymerlin.com.br/caibros-quadrados-e-pontaletes?term=caibro&filter[characteristics_madeira_do_produto_as_string]=Pinus&order=menor-preco)>. Acesso em: 10 mai de 2018

LEROY MERLIN. **Vergalhão.** Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/vergalhao-ca-50-8mm--5-16--gerdau_86736293>. Acesso em: 10 mai de 2018

LEROY MERLIN. Banheiros. Vasos Sanitários. **Vaso Sanitário c\ Caixa Acoplada 3/6 L.** Disponível em: <http://www.leroymerlin.com.br/vaso-sanitario-com-caixa-acoplada-3-6l-izy-cinza-real-deca_353875?origin=56c49f69eede09bf59a80f3a>. Acesso em: 15 jun. de 2018.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. Gesso Acartonado e Isolamento Acústico: Teoria Versus Prática no Brasil. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 18-21 julho 2004, São Paulo.

MADEIRA CUIABA. **Caibro.** Disponível em: <<https://madeireiracuiaba.loja2.com.br/category/220173-CAIBRO-5x5>>. Acesso em: 11 mai de 2018

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção.** Dissertação Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções Civas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Universidade do Porto, 2008.

MATEUS, R. (2004). **Novas Tecnologias Construtivas Com Vista à Sustentabilidade da Construção.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.

MATOS ET AL (2006). **Casa Modelo De Placas Cimentícias De Madeira Mineralizada: Soluções De Projeto E Resultados Experimentais.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. 2006. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3215_3225.pdf>.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná.** 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MORAES, P. D.; ESPÍNDOLA, L. R.; BARICHELLO, C. **Sistema Plataforma em madeira: coordenação modular e conectividade.** Relatório parcial de pesquisa (2007) do projeto “Conectividade de sistemas construtivos para HIS concebidos com diferentes materiais e tecnologias com foco na coordenação modular”. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NAKAMURA, J. **Light Wood Frame.** Revista Técnica, São Paulo, ano 17, ed. 148, p. 48-53, jul. 2009.

PAESE, M. C. B. **Análise de sistemas construtivos em madeira implantados na região de Curitiba - Paraná.** 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica.** Tese de Doutorado. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2012.

PAZINI, E. J; SILVA, J. H. da. **Materiais e Produtos Poliméricos – Apresentação Ibracon**
Capítulo 43. Disponível em:
<<http://passeiucp.com.br/arquivos/21b16856dcc45bcae38f732b04646803.pdf>>. Acesso em 03 fev. de 2018.

PENSAMENTO VERDE. **Conheça o triângulo da sustentabilidade.** Disponível em:
<<http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/equilibrio-sustentavel-conheca-triangulo-sustentabilidade/>>. Acesso em: 12 fev, de 2018

PLANALTO. **Borracha e Suas Obras – Capítulo 40 (1992) - Decreto.** Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/anexo/and435-II-92.pdf>. Acesso em 05 fev. de 2018.

PROCEL. Procel INFO. Lampadas e Reatores. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA%7D>>. Acesso em: 9.jun 2018.

ROCHETA, V.; FARINHA, F. Práticas de Projeto e Construtivas Para a Construção Sustentável. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2007 - 3º CONGRESSO NACIONAL. 17-19 dezembro 2007, Coimbra.

SACCO M. F., STAMATO G. C. Edição 140 (NOV/2008). Disponível em:
<<http://technepini.com.br/engenharia-civil/140/artigo287602-2.aspx>>. Acesso em 22 fev. de 2018.

SAMPAIO, A. V. C. de F. **Arquitetura hospitalar: projetos ambientalmente saudáveis, conforto e qualidade. Proposta de um instrumento de avaliação.** Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 2005.

SANTOSMADEIRAS. **Viga bruta de pinus.** Disponível em: <<https://www.santosmadeiras.com.br/produto/viga-bruta-de-pinus-5-x-10cm/>>. Acesso em: 12 mai de 2018

SISTRUT. **Sistrut.** Disponível em: <http://www.sistrut.com.br/Profissionais/thm_PINI.html#compo>. Acesso em: 05 abr de 2018

SOUSA, F. A. F. de. **Optimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Universidade do Porto, 2010.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas.** 116f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012b.

SOUZA, L. G. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame. **Revista Especialize - IPOG**, Florianópolis, p.10-12, Florianópolis, abr. 2012a.

STACHERA JR, T.; CASAGRANDE JR, E. F. **Avaliação de emissões de CO2 na Construção Civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, CD-ROM. 9. Curitiba, 2007.

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do ciclo de vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TECVERDE. **Como é uma Casa Tecverde– Sistema Construtivo.** Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/sistema-construtivo/>>. Acesso em 12 jan. de 2018.

TRESDMAIS. Elétrica. **Sensor de Presença.** Disponível em: <<http://www.tresdmais.com.br/p-8372122-SENSOR-DE-PRESENCA-QA23-QUALITRONIX>>. Acesso em: 18 jun. de 2018.

WENDLING, M. Universidade Estadual Paulista (UNESP) **Sensores Portal.** Professores. Materiais. Guaratinguetá, 2010. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/saimon/materiais/Sensores.pdf>>. Acesso: 5 fev. 2018.

ZATT, G. **Fechamento de Paredes de Vedação: Sistema Light Steel Frame Utilizando Placas Cimentícias.** 2010. 71 f. Trabalho de graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ZENID, G. Z. **Madeira: uso sustentável na Construção Civil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009

ANEXO 1 – DIMENSIONAMENTO DO *WOOD FRAME* E DO TELHADO

Para os projetos em *wood frame* e para o projeto do telhado, foi necessário adotar uma metodologia de cálculo para o dimensionamento. Assim, com a utilização do programa FTOOL e do EXCEL, com base nas normas NBR 6120 (1980) e NBR 7190 (1997), desenvolveu-se a metodologia apresentada neste anexo.

1) PRIMEIRO FOI DEFINIDO AS CARACTERÍSTICAS DO MADEIRAMENTO DO TELHADO POR LADO									
POR LADO									
	Espaçamento	Quantidade	largura	altura	comprimento	volume	peso por terça	N	KN
TERÇA	1,50	5	0,06	0,12	6,30	0,045	25,40	249,19	0,25
CAIBRO	0,50	12	0,04	0,07	2,80	0,008	17,56	172,28	0,17
RIPA	0,30	19	0,01	0,05	6,30	0,00315	8,82	86,52	0,08
TELHA	AREA	36 m ²	15,08 kg/m ²	9m ² por terça			135,72	1331,41	1,31
Peso específico pinus (kg/m ³)					560				1,81

2) FOI DIMENSIONADO AS TERÇAS QUE DÃO SUPORTE AO MADEIRAMENTO CONFORME A NBR 7190

AS DEMAIS TERÇAS E AS TRELIÇAS SEGUIRAM O MESMO ESQUEMA DE DIMENSIONAMENTO

Folhosas (Valores na condição-padrão de referência u=12%)

Classes	fc0k	fv0k	Ec0k	p apreente
C20	20	4	3500	500
Kmod1	0,6			
Kmod2	1			
Kmod3	1			
b (cm)	6	0,06	m	
h (cm)	12	0,12	m	
L (cm)	630	6,30	m	
A (cm ²)	72			
		Referência		
λx	1,82	140	Passou	
λy	3,64		Passou	
IX	864	cm ⁴	0,00000864	
IY	216	cm ⁴	0,00000216	
Wx	144	cm ³		
Wy	72	cm ³		
TRAÇÃO				
Ywt	1,4			
Kmod	0,6			
Fc0k	3	kN/cm ²	ENTRA COM A CLASSE	
Fc0d	0,857	kN/cm ²	VALOR FTOOL	
Ntd	48	kN	15	Passou

FÓRMULAS

$$\lambda_x = \frac{L}{\sqrt{\frac{h^2}{12}}}, \quad \lambda_y = \frac{L}{\sqrt{\frac{b^2}{12}}}, \quad I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}, \quad W_y = \frac{h \cdot b^2}{6}, \quad f_{c0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_w}$$

$$N_{td} = f_{c0d} \cdot A, \quad E_{c0,ef} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_w}, \quad E_{c0,05} = 0,7 \cdot E_{c0m}$$

$$k_x = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{relx} - 0,3) + (\lambda_{relx})^2], \quad k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rely} - 0,3) + (\lambda_{rely})^2]$$

$$N_{cd} = k_{c(x,y)} \cdot f_{c0d} \cdot A, \quad \lambda_{relx} = \frac{\lambda_x}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{c0,05}}}, \quad k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{relx})^2}}$$

$$E_{c0,ef} = k_{mod} \cdot E_{c0m}, \quad \lambda_{rely} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{c0,05}}}, \quad k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rely})^2}}$$

$$g_x = F_{gk} \cdot \sin \alpha, \quad g_y = F_{gk} \cdot \cos \alpha, \quad q_{xd} = 1,4 \cdot g_x, \quad q_{yd} = 1,4 \cdot g_y + 0,75 \cdot 1,4 \cdot F_{wk}$$

$$q_x = g_x, \quad q_y = g_y + 0,2 \cdot F_{wk}, \quad \sigma_{xd} = \frac{M_{xd}}{W_x}, \quad \sigma_{yd} = \frac{M_{yd}}{W_y}, \quad f_{c0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_w}$$

$$M_{xd} = \frac{q_{xd} \cdot L^2}{8}, \quad \delta_x = 5 \cdot \frac{L^4 + q_x}{384 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_y}, \quad \beta_m = \frac{1}{\frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{h^3}{b}} \cdot 4}$$

$$M_{yd} = \frac{q_{yd} \cdot L^2}{8}, \quad \delta_y = 5 \cdot \frac{L^4 + q_y}{384 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_x}, \quad \frac{h}{\sqrt{b - 0,63}} \cdot 1,4$$

$$V_{xd} = \frac{q_{xd} \cdot L}{2}, \quad V_{yd} = \frac{q_{yd} \cdot L}{2}, \quad \frac{L}{b} \leq \frac{E}{\beta_m} \cdot f_{c0d}, \quad \sigma_{Ncd} = \frac{N_d}{A}, \quad \frac{\sigma_{xd}}{f_{c0d}} + 0,5 \cdot \frac{\sigma_{yd}}{f_{c0d}} < 1$$

$$\frac{3}{2} \cdot \sqrt{V_{xd}^2 + V_{yd}^2} \leq 0,15 \cdot f_{c0d}, \quad \tau_d \leq f_{v0,d}, \quad \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \leq \frac{L}{300}$$

$$E_{min} = \frac{L}{300}, \quad M_d = N_d \cdot E_{min}$$

COMPRESSÃO				
Ywt	1,4			
Kmod	0,6			
Fc0k	2	ENTRA COM A CLASSE		
Fc0d	0,857	kN/cm ²		
E0,05				
Ex0,m	1950	kN/cm ²		
E0,05	1365	kN/cm ²		
λrel,x	0,579	0,05	1,21	
λrel,y	1,158	0,05	1,62	
KX E KY				
Bc	0,2			
Kx	0,47	1,18	2,65	1,33
Ky	0,47	1,26	3,88	1,94
Kcx	1,05	Kc(XY)	0,33	
Kcy	1,05			
NCd	173,46			
FLEXÃO				
Ec0,ef				
kmod	0,6			
Ec0,m	1950	kN/cm ²		
Ec0,ef	1170	kN/cm ²	11700000	kN/m ²

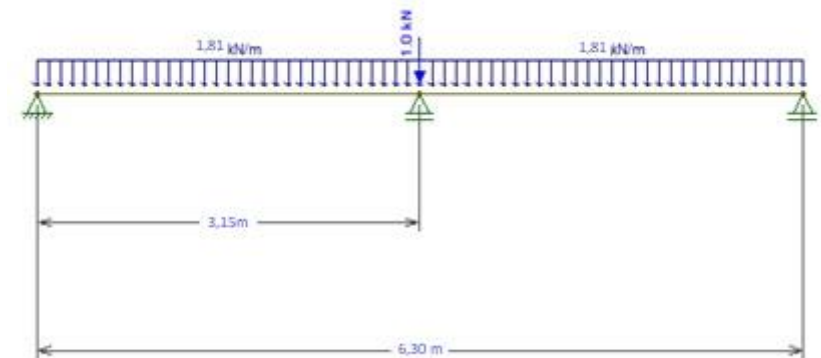
$$\sigma_{xd} = \frac{M_{xd}}{W_x} \quad \sigma_{yd} = \frac{M_{yd}}{W_y} \quad \tau_d = \frac{3}{2} \frac{V_d}{bh} \left(\frac{\sigma_{Ncd}}{f_{cd}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{cd}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Myd}}{f_{cd}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Ncd}}{f_{cd}} \right)^2 + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{cd}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Ncd}}{k_{cc} f_{cd}} + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{cd}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Myd}}{f_{cd}} \leq 1 \quad \text{coníferas: } f_{v0,d} = 0,12 f_{cd}$$

$$\frac{\sigma_{Ncd}}{k_{cc} f_{cd}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{cd}} \leq 1 \quad \text{dicotiledôneas: } f_{v0,d} = 0,10 f_{cd}$$

EXEMPLO CARREGAMENTO E DIAGRAMAS DE UMA TERÇA



Flexão Oblíqua					Flecha Limite						
					δ_x	0,0003	cm				
1,76x10-5	1	Passou			δ_y	0,0002	cm				
Tensões Cisalhantes					Quadrados		0,0004	cm			
0,002	0,129	Passou			0,0004	0,021	Passou				
FLEXOCOMPRESSÃO					CISALHAMENTO						
Nc,d	5,4	kn							VD	bh	
Emin	0,021	ϑ_{mxd}		0,01				td	0,07	5	72
Md	0,113	ϑ_{myd}		0,04				fv0,d	0,17	Passou	
ϑ_{ncd}	0,075										
Verif1	0,082	4,06x10-6	2,85x10-5	0,08	1	Passou					
Verif2	0,082	4,28x10-6	2,70x10-5	0,08	1	Passou					

3) FOI DIMENSIONADO OS MONTANTES INTERNOS CONFORME A NBR 7190						
COMPRESSÃO SIMPLES			Verificação - Peça medialmente esbelta			
Nd(KN)	2,00			e1(cm)		1,02
L0 (cm)	260,00	2,6		ed(cm)		1,14
b (cm)	4,50			Md(kN.cm)		2,28
h (cm)	4,50			∅Nd (kN/cm ²)		0,098
kmod1	0,60			∅Md(kN/cm ²)		0,15
kmod2	1,00	KmodT		Verificação:		0,25
kmod3	0,80	0,48				
Eco,m (kN/cm ²)	8500,00			Verificação - Peça esbelta		
Ec0,ef(kN/cm)	4080,00			NgK(kN)		2
Fcd (kN/cm ²)	1,00			Nqk(kN)		2
A(cm ²)	20,25			Ψ1		0,30
Wx(cm ³)	15,19			Ψ2		0,20
Wy(cm ³)	15,19			c		0,158
Ix(cm ⁴)	34,17			ec (cm)		0,174
Iy(cm ⁴)	34,17			e1ef(cm)		1,19
ix(cm ²)	1,30	imin		Md (kN.cm)		2,38
iy(cm ²)	1,30	1,30		∅Nd (kN/cm ²)		0,10
λx	200,15	200,15		∅Md(kN/cm ²)		0,16
λy	200,15	200,15		Verificação		0,256
Contraventada em x?		sim				
λmáx	200,15		RESULTADO			
ei(cm)	0,15		Montante	Tipo	Dimensões	Espaçamento
ea(cm)	0,87		Interno	madeira	4,5x4,5	60
Fe(cm)	18,19					
Peça Esbelta						

4) FOI DIMENSIONADO OS MONTANTES EXTERNOS CONFORME A NBR 7190							
FLEXO-COMPRESSÃO							
Nd(kN)	5			Verificação da Resistência			
Espaçamento entre montantes (cm)	40			9Nd (kN/cm ²)		0,12	
Vento à 0°	0,56			9Mxd(kN/cm) ²		0,097	
Vento à 90°	0,56			9Myd(kN/cm) ²		0,097	
qw(kN/cm)	0,01			1ª verificação		0,22	Verifica
wdx(cm ³)							
wdy(cm ³)							
Mxd(kn/cm)	5			Verificação a estabilidade			
Myd(kN/cm)	5			ei(cm)		0,47	
l0(cm)	270,00			ea(cm)		0,90	
b(cm)	4,50			Fe(cm)		568,36	
h(cm)	9,00			Situação			
a(cm ²)	40,50			Verificação		medianamente esbelta	
Wx(cm ³)	60,75			e1 (cm)		1,37	
Wy(cm ³)	30,38			ed(cm)		1,42	
Ix(cm ⁴)	273,38			Md(kN.cm)		0,12	
IY(cm ⁴)	68,34			9Nd (kN/cm ²)		0,097	
ix(cm ²)	2,60			9Md(kN/cm) ²		0,097	
iy(cm ²)	1,30			Verificação		0,91	verifica
λx	100,07						
λy	200,15		RESULTADOS				
Contraventada em x?	Sim		Montante	Tipo do montante	Dimensões	Espaçamento	
λmáx	100,07		Externo	madeira	4,5X9	40	
kmod	0,60		Apoio	madeira	4,5X9	40	
Eco,m (kN/cm ²)	8500,00						
Ec0,ef(kN/cm)	4080,00						
Fcd (kN/cm ²)	1,00						

Tipo	Estrutura Básica	Comprimento total de paredes	Espaçamento (m)	Quantidade	Volume (m³)	Toneladas
Wood frame	Madeira Pinus (4,5x9)	23,5	0,4	59 (unidades)	0,62	0,35
Wood frame	Madeira Pinus (4,5x4,5)	12,8	0,6	11 (unidades)	0,12	0,07
				Peso Especifico Pinus	560	kg/m³

*Valor do peso específico retirado da apostila da disciplina de Estruturas de Madeiras do Professor Miguel (UFPR)

**Quantidade de montantes calculada conforme projeto estrutural de wood frame apresentado