



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
AUTORIA DO TRABALHO

**CONSTRUÇÃO MODULAR EM LIGHT STEEL FRAME:
COMPARATIVO COM CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA CONVENCIONAL**

Tubarão SC
2017

JONATHAN ALBERT DEGANI

**CONSTRUÇÃO MODULAR EM LIGHT STEEL FRAME:
COMPARATIVO COM CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Norma Beatriz Camisão Schwinden, Esp.

Tubarão2017

JONATHAN ALBERT DEGANI

**CONSTRUÇÃO MODULAR EM LIGHT STEEL FRAME:
COMPARATIVO COM CONTRUÇÃO EM ALVENARIA CONVENCIONAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 30 de novembro de 2017.



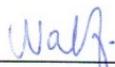
Professora Orientadora Norma Beatriz Camisão Schwinden, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Walter Olivier Alves, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Engenheiro Ricardo Nunes Mateus, Esp.
Brasil ao Cubo



Arquitea Waleska Burlacenko
WB Arquitetura

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu pai Eng. Luiz Degani, que serviu de inspiração e de professor durante toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui. Desde os amigos e colegas com os quais compartilhei dúvidas e conhecimentos, passando pelos excelentes professores da UNISUL e da University of Melbourne que me inspiraram e passaram um pouco do seu conhecimento e experiência, até a família, que fez com que fosse possível seguir esta trajetória.

Pela realização deste trabalho e por toda a ajuda e experiência trocada, agradeço imensamente à Professora Norma Beatriz Camisão Schwinden.

Por toda a confiança, amizade e oportunidade dada, agradeço ao Engenheiro Ricardo Mateus.

Em especial, agradeço à minha companheira Suyan, ao meu pai e Engenheiro Civil Luiz Degani e à minha mãe e Professora Zuleica Degani.

Por todas estas estimadas pessoas, procuro e procurarei me superar e fortalecer o que há de melhor em mim.

“I like the impossible because there’s less competition” (WALT DISNEY).

RESUMO

Este trabalho baseia-se na apresentação do estudo de caso no qual uma construção modular em *Light Steel Frame* (LSF) é comparada a uma convencional de alvenaria. O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica de casas modulares em LSF e apresentar as suas vantagens e possíveis melhorias.

Atualmente há uma grande preocupação da população em relação ao impacto gerado pelo ser humano em suas atividades. Dentre as atividades de maior impacto ambiental, social e econômico está a construção civil. Por este motivo, este trabalho avalia o potencial do uso de construção modular em LSF para redução dos impactos da construção civil de residências de pequeno e médio portes.

Com o propósito de se definir melhor este potencial, foram usados os critérios avaliativos do sistema de certificação LEED *for homes*, do *Green Building Council* (GBC), aceito mundialmente como certificação para edificações sustentáveis. Como o objetivo é avaliar o método construtivo, os critérios da certificação referentes à infraestrutura disponível e à localização da edificação não foram levados em conta. Muitos dos critérios LEED referentes à construção já são atendidos pela construção modular em LSF, como inovação, redução de resíduos e baixo impacto da obra na vizinhança. Além destes, foram discutidas as possibilidades de atender às outras exigências da certificação.

Esta análise possibilita que empresas de construção modular possam aproveitar o potencial que este método construtivo traz e oferecer ao público soluções efetivamente melhores e mais sustentáveis.

As vantagens referentes à construção modular percebidas através dos estudos feitos estão mais relacionadas à entrega de uma edificação com mais qualidade, dentro do prazo e do orçamento, do que necessariamente a um custo direto menor. No entanto, tendo em vista o envolvimento que o processo de construção exige por parte do proprietário, o método construtivo modular demanda menos envolvimento. Além disso, o prazo de construção é bem reduzido em relação à construção convencional em alvenaria e pode ser atendido independente do clima, por ser construído dentro de galpões.

Palavras-chave: Construção Modular. LEED *for homes*. Construção Sustentável.

ABSTRACT

This work is based on the presentation of a case study in which a modular construction in Light Steel Frame (LSF) is compared to a conventional building in masonry. The general objective of this work is to analyze the technical and economic viability of Light Steel Frame modular construction and present its advantages and possible improvements.

Nowadays the population is having a great concern related to the impact created by humans and their activities. Among the activities that cause the greatest environmental, social and economic impact, is the civil construction. Therefore, this work assesses the potential use of LSF modular construction to reduce the impact of civil construction in buildings of small and medium size.

Aiming to better define this potential, it was used the LEED for homes criteria, from the Green Building Council (GBC), accepted worldwide as a certificate for sustainable buildings. As the objective is to evaluate the building methods, the criteria that refer to available infrastructure and the localization of the building were not considered. Several LEED criteria that refer to the construction itself are already met by LSF modular construction such as innovation, waste reduction and low impact of the building in the vicinity. Furthermore, it discusses the possibility of meeting the other requirements of the certification as well.

This analysis allows LSF modular construction companies to take advantage of the potential that this way of building brings and offer to the public better and more sustainable solutions.

The advantages of modular construction perceived through the undertaken studies are more related to the delivery of a construction with superior quality, on time and within budget, rather than necessarily a lower cost. However, knowing the involvement that a building process requires from the owner, the modular building method helps to reduce it expressively. Moreover, the time required to build is significantly reduced comparing with conventional masonry building and does not depend on the climate because it is built in factories.

Keywords: Modular Construction. LEED for homes. Sustainable Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Casa com Certificação LEED de Sustentabilidade em Campinas SP.....	16
Figura 2– Certificação LEED.....	18
Figura 3–Construção Convencional em Alvenaria.....	19
Figura 4–Construção em LSF.....	20
Figura 5– Construção Modular em LSF.....	22
Figura 6–Casa modular em LSF em Garopaba SC.....	25
Figura 7–Modelagem Eletrônica da Estrutura de Concreto.....	27
Figura 8–Fundação (1,5 kgf/cm ² de Resistência do Solo).....	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Gantt da Edificação Modular em LSF.....	31
Gráfico 2 Gantt da Edificação em Alvenaria Convencional	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Custos Referentes à Casa de Alvenaria Convencional	28
Tabela 2 Custos Referentes à Casa Modular em LSF	29
Tabela 3 Adequação com Critérios LEED	36
Tabela 4 Resumo Comparativo	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos.....	13
1.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	SUSTENTABILIDADE	15
2.2	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	15
2.3	CERTIFICAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE NO BRASIL.....	17
2.4	SELO LEED FOR HOMES.....	17
2.5	SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL	18
2.6	SISTEMA STEEL FRAME.....	19
2.6.1	Steel Frame	19
2.6.2	Light Steel Frame (LSF).....	19
2.6.3	Modular em LST	20
2.7	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO.....	22
3	ESTUDO DE CASO	24
3.1	ESCOLHA DA EDIFICAÇÃO	25
3.2	COLETA DOS DADOS	26
4	ANÁLISE.....	28
4.1	COMPARATIVO DO ESTUDO DE CASO.....	28
4.1.1	Custos	28
4.1.2	Prazos	30
4.1.3	Qualidade.....	33
4.2	POSSIBILIDADE DE CERTIFICAÇÃO LEED	33
5	CONCLUSÃO.....	39
5.1	PROPOSTA DE CONTINUAÇÃO	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXOS	44

ANEXO A – RESUMO DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA CONVENCIONAL.....	45
EBERICK V9 LICENÇA 344242-1	45
RESUMO DE MATERIAIS (MOLDADOS IN LOCO)	45
RESUMO DE MATERIAIS (PRÉ-MOLDADOS)	46

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como tema principal a construção modular com o foco na análise da sustentabilidade e da viabilidade técnico-econômica deste tipo de construção.

Dentro desta análise, foram feitos comparativos entre o sistema convencional de construção (alvenaria) e o sistema modular de *light steel frame* (LSF). Foram avaliadas as diferenças nos cronogramas, no orçamento, na segurança dos trabalhadores e na qualidade final da construção.

Com isso, buscou-se a resposta para o seguinte problema: Qual a viabilidade técnica e econômica da utilização da construção modular em *light steel frame* (LSF) para residências de médio porte?

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o avanço das tecnologias e a demanda por maior rapidez, qualidade e competitividade de preço, a indústria da construção civil vem desenvolvendo diversos métodos construtivos. Dentre eles, o método da construção modular se destaca por poder atender a estas demandas. Desta forma, este estudo se propõe a analisar e avaliar o método construtivo modular *light steel frame* (LSF) para esclarecer as suas vantagens e desafios, como também a sua sustentabilidade.

O método construtivo modular transfere a maior parte da produção para um ambiente fabril, evitando perda de produtividade por motivos climáticos. Além disso, os trabalhadores contam com um ambiente com menos riscos de acidentes de trabalho. Todos estes fatores contribuem para um aumento na produtividade. Este aumento na produtividade pode se transformar em menores prazos para construção, atendendo assim a uma importante demanda do mercado.

Com este método, o processo construtivo é dividido em etapas que, em conjunto, formam uma linha de produção. Esta linha de produção costuma ser formada por profissionais que se especializam em determinada função e passam a exercê-la com mais eficiência técnica, aumentando assim a qualidade do produto final.

A especialização da mão de obra, em conjunto com a montagem em série, diminui consideravelmente o desperdício de matéria prima. Com isso, um dos grandes impactos ambientais causados pela construção civil é reduzido. Deste modo, a construção modular apresenta eficiência de matérias, uma das características da sustentabilidade.

Estes fatores juntos contribuem para o aumento na competitividade comercial do método construtivo modular. No entanto, ainda faltam estudos que avaliem o potencial deste tipo de construção no mercado nacional. Por isso, este trabalho se propõe a fazer um comparativo entre o método de construção convencional e o modular em LSF, a fim de avaliar o potencial do segundo método quando aplicado para unidades residenciais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a atratividade da construção modular em LSF em relação ao método construtivo convencional de construção em alvenaria, considerando a melhoria da qualidade, diminuição do prazo de construção e custo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- A partir de uma construção modular de *Light Steel Frame* (LSF), compará-la a uma construção de alvenaria com área construída e layout iguais;
- Definir o prazo e o custo total da estrutura e vedação da construção de cada uma das residências a partir de um estudo de caso;
- Avaliar a certificação ambiental LEED;
- Identificar as vantagens e desvantagens que a construção modular em LSF tem sobre a de alvenaria.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é do tipo exploratória, a qual tem o objetivo de proporcionar maior entendimento a cerca de um tema ainda pouco estudado. Ela também é aplicada, pois, de acordo com , “Objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos.”.

Para isto, será feita uma análise de um estudo de caso que, segundo Fonseca (2002), “Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe

ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico.”.

Neste estudo serão utilizados esses métodos para comparar e analisar o método construtivo modular em LSF com o método construtivo convencional em alvenaria.

As referências para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica foram livros, artigos de periódicos e materiais das bases de dados da Unisul e do Google Scholar.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será apresentado em capítulos, a fim de facilitar o seu entendimento. Os capítulos serão dispostos da seguinte forma:

O capítulo um refere-se à introdução, que abrange a apresentação do tema da pesquisa, a justificativa, os objetivos de trabalho, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho;

O capítulo dois apresentará a revisão da literatura sobre Sustentabilidade, construções sustentáveis, histórico LSF, certificação ambiental, o selo LEED e o sistema modular de construção;

No capítulo três é apresentado o estudo de caso do comparativo da construção modular em LSF e uma construção convencional equivalente;

O capítulo quatro irá expor os resultados e discussões do estudo de caso;

O capítulo cinco trata a respeito da conclusão obtida com o desenvolvimento do presente trabalho, seguido pelas referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo contextualiza-se a sustentabilidade na construção civil, apresentando as certificações ambientais aplicáveis às residências brasileiras, em especial as construídas em sistemas modulares, objeto deste trabalho.

Será feita uma revisão bibliográfica sobre sustentabilidade, construção sustentável, certificação de sustentabilidade, o selo LEED *for homes*, o sistema construtivo convencional em alvenaria e o sistema construtivo modular em LSF.

2.1 SUSTENTABILIDADE

Apesar de o conceito de sustentabilidade não ser recente e já estar em ampla discussão desde a ECO RIO 92, tornou-se algo muito tratado na atualidade. Um dos mais aceitos conceitos de sustentabilidade foi trazido pela ONU no Relatório Brundland UN (1987). Este diz “Desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades e aspirações”. A partir desta definição, fica evidente a relação que o conceito de sustentabilidade tem com a preocupação com o futuro.

Além do conceito amplo, existem pilares para a sustentabilidade. Dentre estes pilares, destacam-se os seguintes: Sustentabilidade Econômica, que visa dentre outras coisas a eficiência, o desenvolvimento e uma maior igualdade econômica; Sustentabilidade Ambiental, que tem, dentre outros objetivos, a preservação do meio ambiente e da biodiversidade, estabilidade climática; e a Sustentabilidade Social, que ocorre através da justiça, igualdade e participação social, educação e diminuição da pobreza. (ARORA, 2015) Portanto, para algo ser considerado sustentável deve estar de acordo com estes pilares.

2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A construção civil é uma das indústrias que mais consomem recursos e energia no Brasil e no mundo. Muitos dos materiais utilizados têm alto valor energético embutido no seu processo produtivo. Por este motivo, é de suma importância buscar maneiras mais sustentáveis de se construir, a fim de reduzir o impacto ambiental desta indústria, ora em evolução.

Dentro do conceito de sustentabilidade na construção existem diversos parâmetros que podem ser usados para avaliá-la. Dentre estes parâmetros, pode-se destacar o conforto ao

usuário, o baixo consumo energético no seu ciclo de vida-útil, o reaproveitamento de água, o uso de materiais reciclados e reaproveitáveis, a alta durabilidade e o baixo custo de manutenção, entre outros.

Entretanto, o ciclo energético durante a vida-útil das construções se refere a toda a energia utilizada, desde a extração da matéria prima, passando pelo transporte, beneficiamento, uso, demolição ou desmonte, até o descarte do material utilizado. A análise deste ciclo possibilita avaliar-se não só o consumo de energia durante o uso da construção, mas toda a energia envolvida no processo da construção. (CRAWFORD, 2015) Isto se faz necessário para avaliar-se a verdadeira sustentabilidade de um projeto.

Desta forma, a construção modular apresenta vantagens, pois facilita algumas das etapas de construção, realocação, adaptação e desconstrução. Por ser concebida em módulos (espaços pré-fabricados), ela possibilita a realocação de maneira simples, mantendo a construção intacta. Esta simplicidade não ocorre em uma construção de LSF não modular, tampouco em uma de alvenaria convencional. Adicionalmente, as construções modulares podem ser alteradas de maneira menos destrutiva do que a de alvenaria, já que as peças que as compõem são usualmente fixadas com parafusos ou encaixes. Pelo mesmo motivo, torna-se fácil desmontar e separar os diferentes materiais utilizados. Isto facilita o reaproveitamento destes materiais, como, por exemplo, os perfis de aço, que podem ser reutilizados em outras construções ou reciclado na indústria metalúrgica. Por fim, o isolamento térmico aplicado nas construções modulares favorece a economia de energia para aquecimento e resfriamento. Todos estes fatores contribuem para a sustentabilidade da construção modular.

Devido à complexidade do conceito e à grande quantidade de fatores que interferem na sustentabilidade da construção, foram criadas certificações para medi-la. Dentre estas certificações, podemos citar a LEED, reconhecida mundialmente, e o Selo Azul da Caixa, usado no Brasil.

Figura 1– Casa com Certificação LEED de Sustentabilidade em Campinas SP



Fonte: Casa Eudoxia LEED Brasil (GBC, 2016)

2.3 CERTIFICAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE NO BRASIL

Em um contexto global, viu-se a necessidade da criação de certificações de sustentabilidade para a construção civil. Uma das organizações pioneiras foi a Green Building Council (GBC) dos Estados Unidos. Esta organização desenvolveu em 1991 o selo LEED. (GARCIA, 2017)

Além do selo LEED, existem hoje no Brasil o Selo AQUA e o Selo Casa Azul da CAIXA. Todos estes têm como objetivo reduzir o impacto ambiental causado pelas construções e promover práticas que resultem em prédios com melhor qualidade para o uso, menor manutenção e alta durabilidade.

O Selo Casa Azul da CAIXA foi criado para avaliar a sustentabilidade dos projetos financiados pelo banco. Por isso ele é voltado para prédios habitacionais multifamiliares construídos em alvenaria. O manual do selo traz diretrizes práticas como, por exemplo, o tamanho e a orientação de aberturas, paisagismo e o uso de aquecimento solar para a água. (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010).

Já o Selo AQUA é mais flexível, podendo abranger qualquer tipo de construção. Ele provém da certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*). A Fundação Vanzolini, de acordo com o site, é a representante da certificação no Brasil. Este selo tem seus critérios desenvolvidos “[...]considerando a cultura, o clima, as normas técnicas e a regulamentação presentes no Brasil[...]”, segundo o próprio site da Aqua-HQE Vanzolini (2017).

2.4 SELO LEED FOR HOMES

O selo LEED tem aceitação internacional por conta do seu pioneirismo e também por possibilitar a certificação de uma vasta gama de construções, localizadas em diversos climas e, ao contrário do Selo Casa Azul, não se limita a métodos construtivos. Por estes motivos que este autor optou por usá-lo como referência para avaliar a sustentabilidade das casas modulares em LSF.

Para alcançar a certificação LEED *for homes* a construção deve atender itens dentro dos seguintes critérios: Inovação e Projeto; Localização e Transporte; Implantação Sustentável; Uso Racional da Água; Eficiência Energética; Materiais e Recursos; Qualidade Ambiental Interna; e Práticas Sociais. Dos itens elencados dentro de cada um destes critérios, 18 são obrigatórios para se conseguir a certificação, e outros 45 pontos provenientes de outros itens

são necessários. Para atingir os graus mais elevados da certificação (prata, ouro e platina) é necessário o atendimento a mais itens da lista. (GARCIA, 2017)

Figura 2– Certificação LEED



Fonte: (HUBSPOT, 2017)

2.5 SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL

O sistema de concreto armado e alvenaria de blocos cerâmicos é o mais utilizado no país, segundo Prudêncio (2013, p. 10). Por este motivo, é conhecido como método convencional ou “construção em alvenaria”. É composto pelos seguintes elementos básicos: “pilares, vigas e lajes de concreto armado, sendo que os vãos são preenchidos com tijolos cerâmicos para vedação.” (VASQUES, 2014, p. 3)

Segundo Azeredo (1997, p. 78) “Denomina-se *concreto armado* à associação de aço ao concreto, com a finalidade de melhorar a resistência desse a determinados tipos de esforços.”. Para a execução de estruturas (pilares, vigas e lajes) em concreto armado, utilizam-se fôrmas de madeira, reaproveitáveis por até três concretagens. Após a concretagem e cura da estrutura, as paredes são levantadas usando-se alvenaria. Uma parede de alvenaria é normalmente composta por blocos cerâmicos postos em carreiros consecutivos, com argamassa colante entre estes. Após levantar-se as paredes “A etapa de revestimento, [é] caracterizada pela aplicação do chapisco, massa grossa (emboço), massa fina (reboco) e pintura”. (VASQUES, 2014, p. 3)

Este processo, segundo Prudêncio (2013, p. 10), “[...]além da natureza artesanal, gera grandes quantidades de resíduos e desperdício de materiais, causando vários problemas e danos ao meio ambiente.”.

Figura 3–Construção Convencional em Alvenaria



Fonte: Autor (2010)

2.6 SISTEMA STEEL FRAME

Tipos de sistemas de *steel frame*:

2.6.1 Steel Frame

As estruturas em *Steel Frame* são uma alternativa às estruturas em concreto armado. Uma das suas principais vantagens em relação a estrutura de concreto armado é sua massa reduzida. Esta redução resulta em fundações mais leves, sendo usada para prédios “arranha céu” por conta da sua leveza e resistência.

2.6.2 Light Steel Frame (LSF)

Conforme Bortolotto (2015, p. 26), “O termo LSF foi registrado pelo Swedish Institute of Steel Construction – SBI para designar o sistema construtivo baseado em estrutura

de aço leve.”. A sigla LSF vem do Inglês e se refere aos termos Leve (light), Aço (Steel), Moldura/Estrutura (Frame). Portanto, significa uma estrutura em aço leve.

De acordo com Prudêncio (2013 apud FREITAS e CASTRO, 2013) o sistema LSF possui a característica de ser principalmente feito com estruturas de aço galvanizado moldado a frio. São ressaltadas positivamente, pelos autores, a limpeza e agilidade na construção, resultantes de uma alta industrialização do processo construtivo.

As paredes e a estrutura de uma construção em LSF são geralmente compostas por painéis que cumprem a função de vedação e estrutura, auxiliando na distribuição das cargas ao longo da fundação. Estes painéis possuem estruturas verticais a cada 40cm ou 60cm. Além da estrutura, os painéis recebem revestimentos (OMS, placas cimentícias, MDF, gesso acartonado), toda a instalação hidráulica e elétrica e, opcionalmente, um isolamento termo-acústico.

Figura 4—Construção em LSF



Fonte: (PARS-TIRAZIS, 2017)

2.6.3 Modular em LST

O sistema de construção predial modular consiste no tipo máximo de pré-fabricação predial. Segundo Varela (2015), neste conceito de pré-fabricação, uma construção é levada em

blocos ou “caixas” correspondentes a ambientes já acabados da construção. Cada um destes blocos é produzido em ambiente fabril (galpão, por exemplo) e sai de fábrica com o máximo de acabamentos possível, minimizando muito o trabalho e tempo gasto na instalação/construção do prédio. Uma construção pode ser composta por um ou mais destes blocos.

A definição do tamanho máximo de cada um destes blocos está em função da capacidade e o custo/benefício do transporte necessário para levá-los até onde estes serão instalados. (ROGAN, LAWSON e BATES-BRKLJAC, 2000) Em geral, no Brasil, o modal mais comum é o rodoviário, tendo o limite de 3,2m de largura para transporte sem batedores. (DEINFRA, 2017)

Em relação ao meio-ambiente e à sustentabilidade, a construção modular em LSF tem diversas vantagens. Dentre estas vantagens, pode se destacar a redução de resíduos e do desperdício de materiais, pois, de acordo com Varela (2015), o processo de montagem em série possibilita um maior reaproveitamento e eficiência no uso de materiais. Por exemplo, o aço que sobra de cortes é usado para outras partes do processo de fabricação e, quando isso não é possível, é diretamente direcionado à reciclagem. Pedacos de outros materiais, como canos ou fios, são reaproveitados em outros módulos na linha de montagem, sendo descartada apenas uma quantidade mínima.

Outra vantagem da construção modular é a facilidade de relocação, proporcionada por ser uma construção concebida para ser transportada. Esta característica diminui resíduos provenientes de demolições e possibilita o reaproveitamento da construção em um novo local, em casos onde é necessário desocupar o primeiro local. Além disso, ela facilita a ampliação ou reforma, reduzindo também os resíduos, já que não necessita de métodos destrutivos para alteração de layout. (SILVA, 2014) Ao invés, ela pode simplesmente ter suas peças alteradas ou retiradas com o uso de ferramentas não-destrutivas que preservam o material em seu estado original, não interrompendo a sua vida útil.

Por se tratar de um método construtivo com estruturas mais leves, a construção modular em LSF possibilita uma considerável redução no dimensionamento da fundação e, conseqüentemente, no seu custo. (SILVA, 2014)

Por fim, mas não menos importante, a construção modular em LSF possibilita atingir um desempenho térmico superior ao da construção em alvenaria na maior parte do ano para a região sul, segundo Madruga (2016), se for usado *External Insulation Finishing System* (EIFS). Com um melhor desempenho térmico, é possível economizar energia em aquecimento e resfriamento do ambiente. Além disso, o sistema LSF proporciona um desempenho acústico

igual ao ou maior que o da alvenaria, podendo oferecer maior conforto aos usuários, com a redução de ruídos externos. (DINIZ, 2015)

Figura 5– Construção Modular em LSF



Fonte: Autor (2017)

2.7 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

As principais variáveis na execução de um projeto são tempo, custo e qualidade. (DUFFIELD, 2015) Para se atender às expectativas, dentro destas variáveis, de maneira satisfatória na execução de um projeto de uma edificação, é essencial um planejamento físico-financeiro. (MARTINS e MIRANDA, 2015)

De acordo com Folgiarini (2003), “O planejamento tem a finalidade de reduzir o custo e a duração dos projetos e as incertezas relacionadas aos objetivos do projeto.” Para tanto, uma das ferramentas utilizadas é o cronograma físico-financeiro.

A elaboração do cronograma físico-financeiro possibilita uma estimativa mais precisa de gastos durante a obra e o encadeamento de atividades, de forma a otimizar o tempo; facilita a distribuição da mão-de-obra, evitando picos de contratação e gastos com demissões durante a obra, dentre outras vantagens. Segundo Folgiarini (2003, apud CURITIBA CASA, 2003) a disponibilidade dos materiais, conforme prevista no planejamento, permite uma maior produtividade do pedreiro e evita escusas dos trabalhadores para ficarem parados durante o expediente.

O cronograma físico-financeiro pode ser elaborado pelo responsável técnico da obra antes do início da mesma e atualizado durante o processo de execução. Para facilitar a elaboração de cronogramas físico-financeiros, podem ser usados softwares como *Primavera Construction*, *MS Project*, dentre outros.

Segundo Martins et al (2015), “Para a elaboração de um cronograma físico-financeiro deve-se seguir as seguintes etapas: definição dos serviços; definição dos recursos; quantitativos; orçamentação e discussão de sua viabilidade.”. Também de acordo com os autores, a cada serviço é necessário atribuir as ferramentas, materiais/recursos e a mão-de-obra envolvidos. Somente com estas informações é possível definir o quantitativo e, logo, o cálculo dos preços. Com todas estas informações é possível analisar-se a viabilidade financeira e executiva da edificação.

A principal diferença entre o cronograma de uma edificação convencional e o de uma edificação modular é o fator climático. Por conta da execução em ambiente fabril fechado (galpões), a construção modular não depende de condições climáticas para seguir o cronograma de construção. A condição climática só é importante no período de entrega e instalação, que leva de um a dois dias. Também por este motivo, ela se torna estatisticamente mais rápida e com prazo de entrega mais preciso. Já a construção convencional depende do clima para a execução da maior parte de suas etapas. Por isto, é mais propícia a atrasos no cronograma.

3 ESTUDO DE CASO

Esta é uma pesquisa do tipo exploratória que, conforme Heerdt e Leonel (2007) definem, tem o intuito de possibilitar um maior entendimento sobre o tema abordado.

O método usado é o exploratório, em estudo de caso comparativo dos dois métodos construtivos estudados: modular em LSF e alvenaria convencional.

Ordenou-se o processo de pesquisa em seis etapas, como seguem:

1ª Etapa – Com a intenção de entender as vantagens e limitações da construção modular em LSF comparada à construção em alvenaria, buscou-se uma maneira prática e objetiva de se fazer esta comparação, focada somente na estrutura e na vedação (paredes e cobertura), considerando o mesmo acabamento (janelas, tomadas, piso, louça, etc.) para os dois métodos construtivos. Para isso, foi escolhida uma obra já concluída de forma modular em LSF. Entrou-se em contato com a empresa Brasil ao Cubo, fabricante da casa, para solicitar informações técnicas, tais como projeto arquitetônico e quantitativo de materiais.

2ª Etapa – Buscou-se no sistema SINAPI os dados dos valores referentes a cada item da estrutura e da vedação (paredes e cobertura) para o método construtivo de alvenaria convencional. Com estes dados, foi elaborada uma tabela Excel contendo o preço unitário, a quantidade e o valor total para cada material. É importante destacar que o sistema SINAPI dispõe os valores dos itens já incluído o material, a mão-de-obra e o uso de equipamentos. Paralelamente, para o levantamento de custos da construção modular foi necessário fazer orçamentos com fornecedores, pois o sistema SINAPI não dispõe em sua lista os principais materiais usados neste tipo de construção. Além disso, foi adicionado o custo com mão de obra e equipamentos, provido pela empresa Brasil ao Cubo.

3ª Etapa – Iniciou-se a geração e busca das informações referentes à casa em alvenaria a ser comparada. O início deste processo se deu pela elaboração do projeto estrutural em concreto armado seguindo o mesmo projeto arquitetônico da casa modular. Para a elaboração de tal projeto foi utilizado o software Eberick V9. Obteve-se deste projeto o quantitativo de materiais (laje pré-moldada, aço, concreto e fôrmas) necessários para a execução da estrutura.

4ª Etapa – Da mesma forma que a busca feita para a casa modular em LSF, buscou-se no sistema SINAPI as informações referentes aos materiais utilizados na estrutura e nas vedações. Posteriormente, estes dados também foram listados em planilha Excel com seus respectivos consumos e valores parciais e totais.

5ª Etapa – Foram comparados os dados das tabelas de materiais da casa de alvenaria e da casa modular em LSF e, posteriormente, foram feitas observações referentes às diferenças de custo.

6ª Etapa – Verificou-se o custo e adaptação da casa modular em LSF para atender aos requisitos da certificação LEED.

3.1 ESCOLHA DA EDIFICAÇÃO

A escolha da edificação foi feita seguindo o critério de uma casa de área e padrão médio dentro do portfólio de construções feitas na cidade de Garopaba-SC utilizando o método modular em LSF.

Para modelo de comparação, foi escolhida uma casa modular de dois pisos, com 92,16m², localizada no centro da cidade de Garopaba-SC. A casa possui uma sala-cozinha e um banheiro no piso térreo. No piso superior, existem dois banheiros e três quartos.

A vedação da casa modular foi feita com duas camadas de placas pré-moldadas de MDF na parte interior e placas com revestimento de PVC imitando madeira. Os pisos foram executados sobre uma estrutura metálica, sobre a qual se apoiam os *masterboards*.

Figura 6–Casa modular em LSF em Garopaba SC



Fonte: (BRASIL AO CUBO, 2016)

3.2 COLETA DOS DADOS

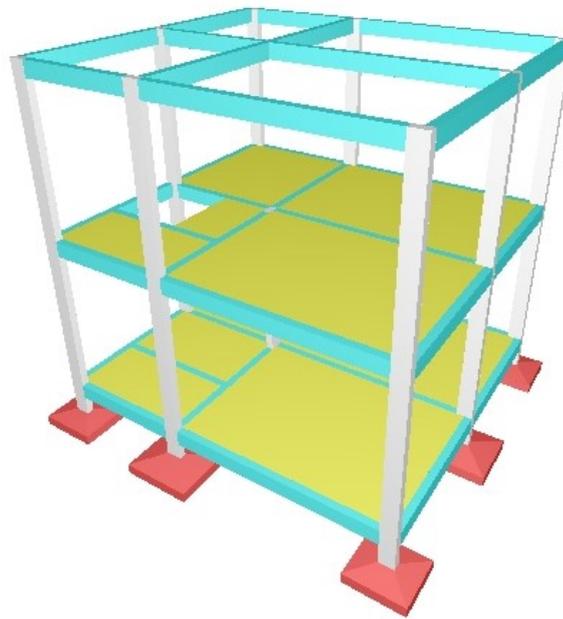
Para a obtenção das informações necessárias para a comparação dos métodos construtivos foram usadas as seguintes fontes: a empresa Brasil ao Cubo disponibilizou as informações sobre a edificação instalada em Garopaba; usou-se o *software* Eberick para se dimensionar a estrutura para a construção em alvenaria; e, para a obtenção dos custos dos materiais de ambas as opções construtivas, usou-se o banco de dados do SINAPI.

Dentre as informações disponibilizadas pela empresa Brasil ao Cubo constam os projetos em arquivo “.dwg” e o quantitativo resumido de materiais, além dos prazos de execução e instalação.

As informações de projeto fornecidas pela fabricante da casa modular foram usadas como parâmetro para a elaboração do projeto estrutural. Para isto, os arquivos “.dwg” foram importados no *software* Eberick e a estrutura foi desenvolvida respeitando exatamente as dimensões (largura, comprimento, pé-direito e divisões) do projeto original, com adaptações mínimas e necessárias para o atendimento da norma ABNT NBR 6118 (Projeto de Estruturas de Concreto) sobre estruturas em concreto armado, e para se manter o mais próximo possível da prática comum em casas deste porte em alvenaria. Estas adaptações mínimas são: o uso de pilares e vigas de dimensões 15x30cm e o alinhamento de duas vigas que se desconstravam por poucos centímetros na cobertura. Usaram-se lajes pré-moldadas no piso térreo e no superior, com carga acidental de 200kgf/m² e carga de revestimento de 100kgf/m². Na cobertura foi considerado o uso de platibanda e telhas de fibrocimento apoiadas sobre uma das vigas de cobertura. Sobre as vigas, considerou-se um peso de 580kgf/m referente ao peso de uma parede de alvenaria para o referido pé-direito.

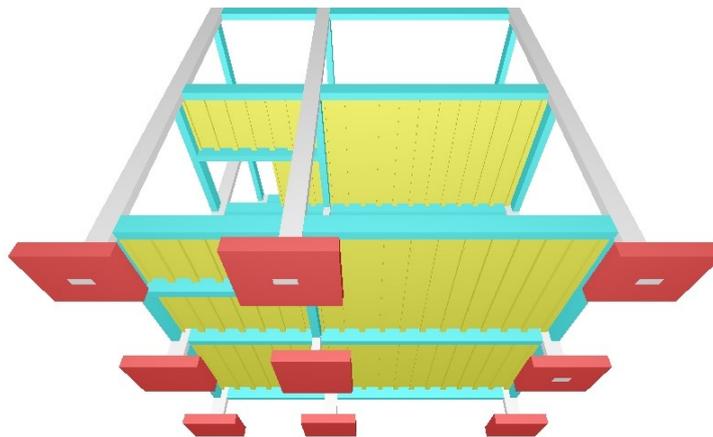
Após o lançamento da estrutura, usou-se o método de cálculo em Pórtico Espacial e calculou-se a estrutura da edificação. Em seguida, gerou-se o Relatório de Materiais com o quantitativo de concreto, aço, fôrmas e laje pré-moldada necessários para a execução daquela estrutura.

Figura 7–Modelagem Eletrônica da Estrutura de Concreto



Fonte: Autor (Eberick V9)

Figura 8–Fundação (1,5 kgf/cm² de Resistência do Solo)



Fonte: Autor (Eberick V9)

Com todas as informações dos quantitativos de materiais necessários para a execução da estrutura e das vedações para ambas as edificações, foram buscados na tabela de preços do SINAPI os valores unitários para cada material.

4 ANÁLISE

Neste capítulo será feita uma comparação entre os casos apresentados no capítulo anterior e se tratará da possibilidade de certificação LEED em construções modulares como a apresentada anteriormente.

4.1 COMPARATIVO DO ESTUDO DE CASO

4.1.1 Custos

Neste item serão analisados os custos referentes a cada um dos métodos construtivos. Para auxiliar na exposição dos custos, foram criadas tabelas contendo os custos envolvidos para cada um dos métodos construtivos. Foram desconsiderados os impostos envolvidos nos custos através do uso dos valores apresentados na tabela SINAPI Desonerada. Esta tabela não considera os impostos referentes aos encargos trabalhistas.

Na Tabela 2, dos custos da construção modular em LSF, os valores foram fornecidos pela empresa Brasil ao Cubo de acordo com os seus custos.

Tabela 1 Custos Referentes à Casa de Alvenaria Convencional

Descrição do Item	Cod. Composição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Concreto 25MPa	92735	m3	5,7	318,74	1.816,82
Concreto 25MPa	92718	m3	2,7	421,54	1.138,16
Aço CA50 6,3	92792	kg	9,00	7,62	68,58
Aço CA50 8,0	92793	kg	180,00	7,74	1.393,20
Aço CA50 10,0	92794	kg	402,90	6,34	2.554,39
Aço CA50 12,5	92795	kg	116,10	5,30	615,33
Aço CA50 16,0	92796	kg	58,40	4,12	240,61
Aço CA60 5,0	92791	kg	1145,80	7,84	8.983,07
Caixaria	92269	m2	171,30	40,46	6.930,80
Laje pré-moldada	74141/1	m2	92,16	64,28	5.924,04
Alvenaria	87473	m2	211,31	12,75	2.694,24
Chapisco	87893	m3	422,63	5,09	2.151,16
Emboço	87527	m3	422,63	26,64	11.258,75
Reboco	5998	m2	422,63	0,79	333,87
Contrapiso	87620	m2	92,16	23,5	2.165,76
Total					48.268,78

Fonte: (SINAPI, 2017)

Tabela 2 Custos Referentes à Casa Modular em LSF

Descrição do Item	Ref.	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Methalon 01	120x120x4,75	m	37	430,00	15.910,00
Methalon 02	40x40x1,55	m	75	35,00	2.625,00
Methalon 03	40x80x1,55	m	6	70,00	420,00
MDF 01	Branco NX	m2	5	110,00	550,00
MDF 02	COR	m2	50	190,00	9.500,00
Pintura Aço	Epóxi+PU	L	5	200,00	1.000,00
Insumos			1	850,00	850,00
Master board		UNI	28	200,00	5.600,00
Galvanização		UNI	1	7.000,00	7.000,00
Painel Térmico Isolante 50mm		UNI	155	75,00	11.625,00
Smat side		UNI	75	70,00	5.250,00
Fundação		UNI	1	5.000,00	5.000,00
Mão de obra		UNI	1	14.880,00	14.880,00
Total					80.210,00

Fonte: Autor

Conforme apresentado nas tabelas acima, o custo para construção da fundação, estrutura e paredes de vedação é 39,8% menor na construção em alvenaria convencional. Isto se deve a baixo custo dos materiais envolvidos nestas etapas da construção em alvenaria convencional. Já a construção modular em LSF emprega materiais de maior custo. Não foi definido o custo da mão de obra na construção de alvenaria, pois ele está embutido no custo de cada etapa listada. No entanto, no item seguinte será tratado em relação aos prazos, que interferem no custo da mão de obra.

No custo da construção de alvenaria também não foram considerados os custos com canteiro de obra (barraco de obras, banheiro provisório, tapumes, etc.), necessários para a construção de uma casa de alvenaria. Além disso, na construção de alvenaria será necessária uma fundação com sapatas de área de 63,28% a 153,12% maiores. Isto se deve ao maior peso da edificação em alvenaria convencional, que gira em torno de 4 vezes o peso da mesma construção na forma modular em LSF.

Em relação ao desperdício de material que, de acordo com Alves (2017) gira em torno de 30% a 35%, a construção em alvenaria gera resíduo proveniente de toda a caixaria e escoramento. A caixaria pode ser reaproveitada de 3 a 5 vezes, dependendo da maneira que é desformada, e o escoramento pode ser reaproveitado diversas vezes. No entanto, após o término da construção, nem todos os empreiteiros ou proprietários destinam este material para reuso em

outra obra. Muitas vezes o escoramento é recolhido para lenha e a caixaria é queimada no local, gerando fumaça e gases que contribuem para o efeito estufa.

No caso das construções modulares feitas em fábricas, a sobra de material de um módulo será reaproveitada em um próximo módulo, restando uma quantia muito menor de resíduo.

Dentre os custos que incidem somente sobre a construção modular, destaca-se o custo de transporte dos módulos. Por serem construídos em fábricas, os módulos devem ser transportados até o local onde serão instalados. Para isso é necessário o uso de caminhões muque ou prancha com auxílio de guindaste. Dependendo da distância entre a fábrica e o local de instalação, o custo pode variar de 2% a 20% do valor do módulo. (BRASIL AO CUBO, 2016)

4.1.2 Prazos

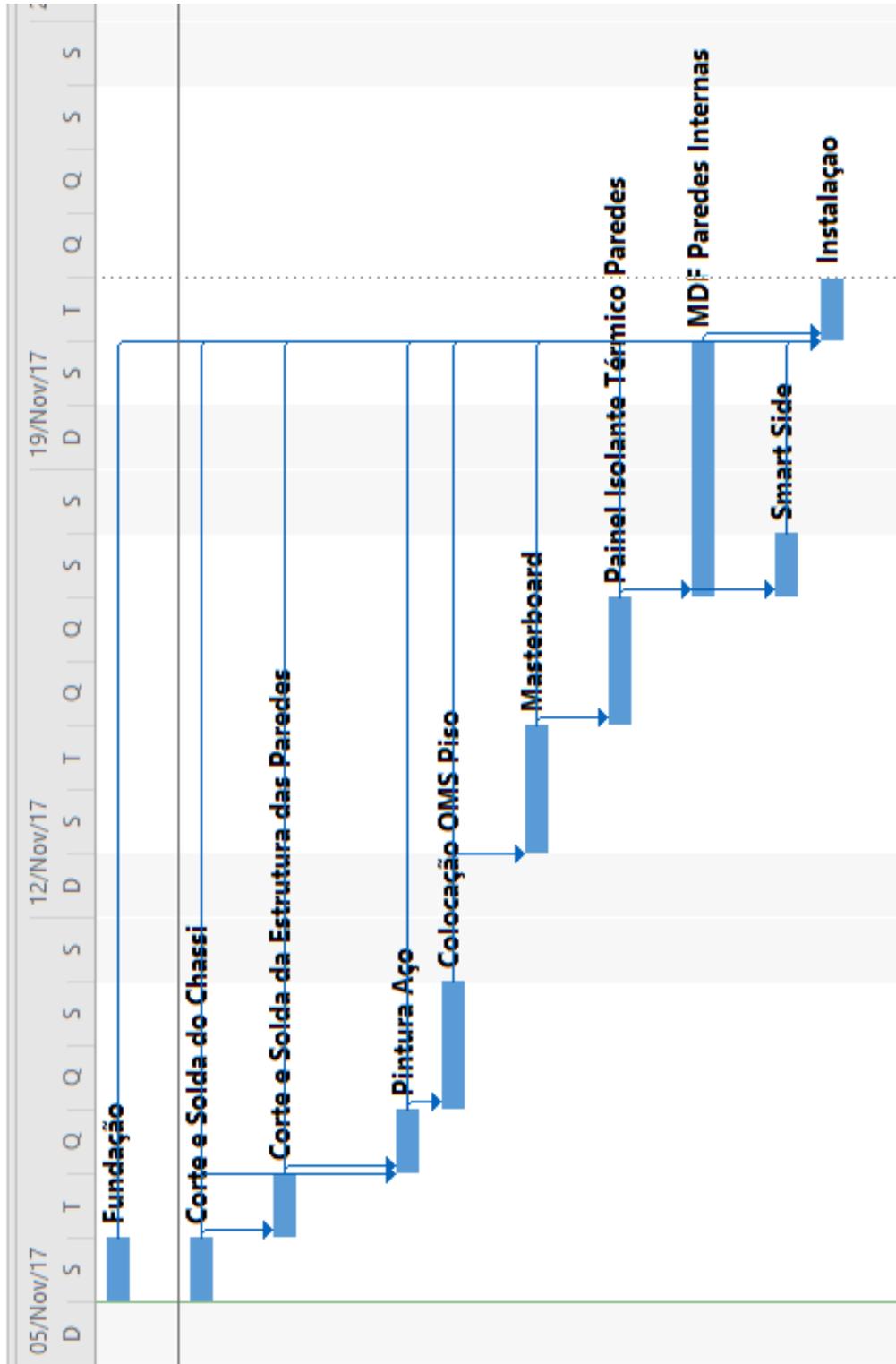
De acordo com o que foi constatado durante o estudo de caso, a construção modular possibilita uma redução do prazo de entrega da edificação. Isso se deve a diversos fatores, tais como:

- a) Independência do clima para produção;
- b) Utilização de materiais industrializados que não necessitam de caixaria ou cura;
- c) Utilização de placas pré-fabricadas com acabamento final;
- d) Ambiente fabril, que facilita a logística de estoque e uso de materiais e aumenta a segurança dos trabalhadores, por estarem sempre trabalhando a no máximo um módulo de altura do chão.

Por outro lado, na construção em alvenaria os trabalhadores estão expostos às variações climáticas, trabalham em alturas maiores, estão sujeitos a um canteiro de obras restrito. Além disso, o método de alvenaria convencional requer muito tempo para a montagem das caixarias e, posteriormente, com a espera para a cura do concreto, para então haver a desforma. Por fim, o acabamento (reboco) da construção em alvenaria é feito de maneira artesanal e, por isso, demanda maior tempo para ser executado e tem maiores variações.

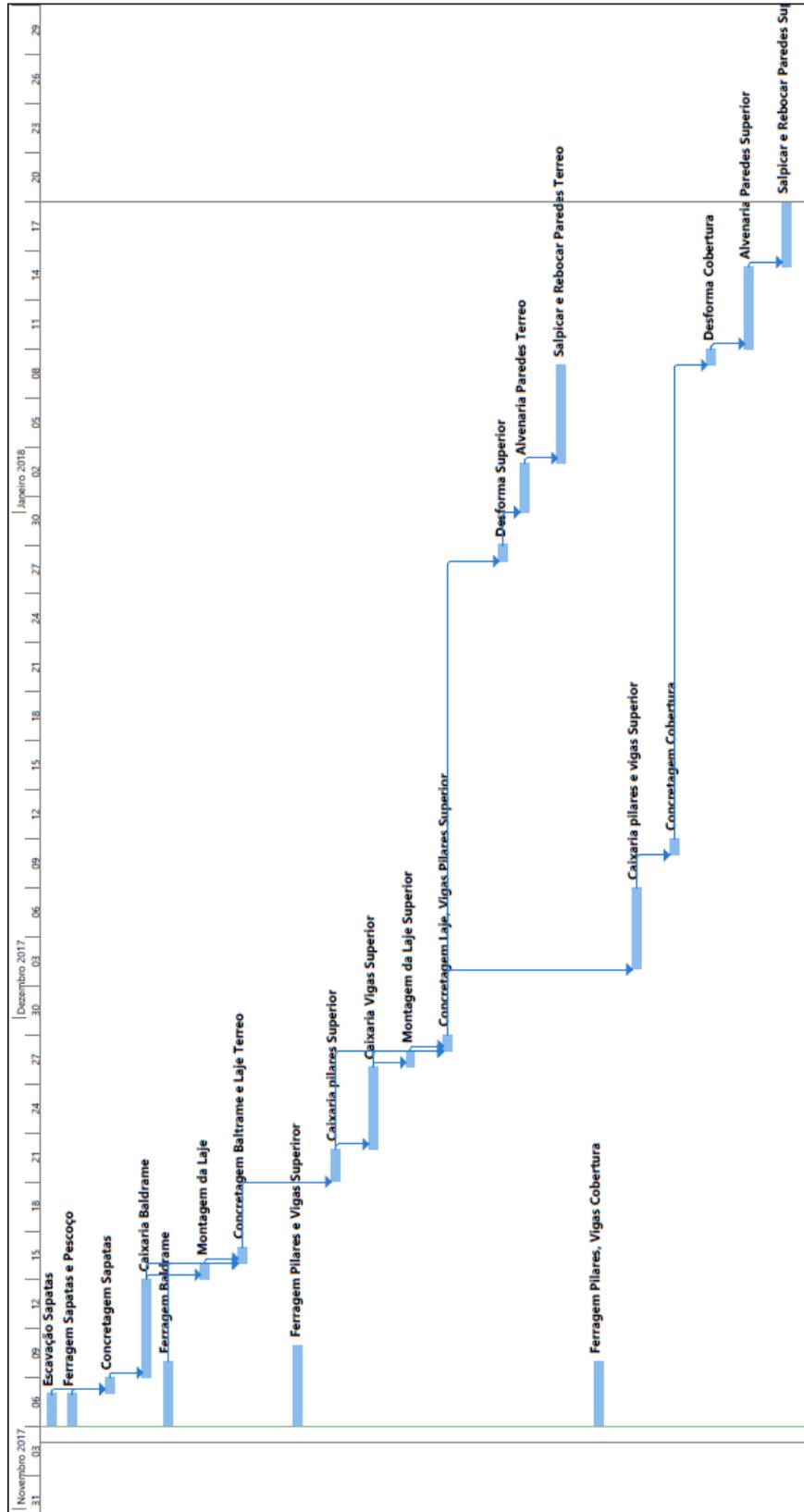
Abaixo estão os gráficos Gantt elaborados usando o *software MS Project*, disponibilizado pela universidade.

Gráfico 1 Gantt da Edificação Modular em LSF



Fonte: Autor (MS Project)

Gráfico 2 Gantt da Edificação em Alvenaria Convencional



Fonte: Autor (MS Project)

4.1.3 Qualidade

Uma das três principais variáveis de um projeto mencionadas por Duffield (2015) é a qualidade. Dentre as variáveis, é a única que fica evidenciada durante a vida útil de uma edificação. Por conta de adversidades ou falta de planejamento durante a execução, a qualidade pode ser sacrificada, comprometendo o bom aproveitamento da edificação e a qualidade de vida dos que a usam.

Por este motivo, é importante fazer um planejamento que possibilite que a qualidade desejada seja atingida sem comprometer o custo e o prazo. Neste sentido, a construção modular pode oferecer uma padronização maior nos acabamentos, pois são utilizados acabamentos industrializados como, por exemplo, placas de MDF, OMS ou Masterboard para vedação das paredes e piso laminado. No entanto, há limitações quanto a revestimentos como pedra, tijolo ou outros materiais rígidos e pesados, pois estes podem sofrer danos com o transporte e aumentar muito o peso dos módulos, dificultando o seu transporte e instalação.

4.2 POSSIBILIDADE DE CERTIFICAÇÃO LEED

Com o intuito de avaliar a sustentabilidade do sistema modular em LSF, foi feito um estudo da certificação LEED *for homes* onde se buscou identificar os critérios que as casas modulares podem atender já na sua concepção e fabricação.

Para se avaliar a possível conformidade das casas com os critérios da certificação, usou-se a tabela LEED *for homes* simplificada elaborada por Garcia (2017). Esta tabela dispõe uma lista de critérios obrigatórios e opcionais referentes à construção, bem como ao empreendimento onde esta será situada, possibilitando uma avaliação holística da sustentabilidade. Dentre os itens obrigatórios, por exemplo, é exigida filtragem do ar. Dentre os itens opcionais é sugerido o reaproveitamento de água da chuva.

Como um dos objetivos deste TCC é analisar a sustentabilidade da construção modular em LSF e a possibilidade da sua certificação de uma forma geral, não serão levados em conta os critérios referentes à localização e orientação. Desta forma, será possível focar na avaliação do sistema produtivo e não na implantação de determinada construção. Para a certificação final, o proprietário deverá buscar atender aos outros critérios referentes à implantação, tais como a inexistência de plantas exóticas (obrigatório) e o fácil acesso a transporte público (opcional).

Para se obter a certificação LEED *for homes* é necessário atender a 18 critérios obrigatórios e fazer no mínimo 45 pontos nos critérios opcionais. (GARCIA, 2017) A seguir são apresentados os critérios e a possibilidade de serem atendidos no método modular em LSF de uma casa com as mesmas dimensões da casa usada no estudo de caso (dois pisos e 92,16m²).

Os critérios do LEED *for homes* são subdivididos em oito categorias. A primeira categoria é Inovação e Projeto, e dentro desta categoria existem os seguintes itens obrigatórios: Projeto Integrado; Análise Preliminar; Gerenciamento da Qualidade, Planejamento e Durabilidade. O primeiro destes itens não apresenta dificuldade em ser atingido, já que o processo de construção modular requer extrema integração entre os projetos e disciplinas para garantir o seu bom funcionamento ao ser instalado. Quanto a critério de gerenciamento da qualidade, planejamento e durabilidade, há algumas alternativas. Uma delas é que a empresa fabricante dos módulos busque estar de acordo com o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, o PBQP-H, passando pelo processo de adequação dos processos e políticas internas. Neste programa, como o próprio nome indica, “A sua meta é organizar o setor da construção civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva.” de acordo com o próprio site do Ministério das Cidades, Brasil (2017).

Além destes itens obrigatórios, o método construtivo modular já atende ao critério de inovação e projeto e tem possibilidade de atender aos critérios: Profissional Credenciado LEED *for homes*, pois pode trabalhar com um profissional credenciado ou credenciar um de seus profissionais; este profissional poderá usar estratégias sustentáveis, atendendo a outro critério; e pode-se buscar a melhor orientação solar.

A seguinte categoria diz respeito à Localização e Transporte. Nesta categoria não há critérios obrigatórios. Por este motivo, e por fugirem do escopo deste trabalho, que é avaliar a possibilidade de adequação do sistema construtivo e não de sua implantação em determinado terreno, os critérios desta categoria não serão levados em conta. Caberá à empresa fabricante somente orientar o proprietário sobre estes critérios, para que ele possa atendê-los da melhor forma, escolhendo um bom terreno, com boa infraestrutura e serviços públicos disponíveis.

A terceira categoria se refere à Implantação Sustentável. Como o subtítulo apresenta, esta categoria trata principalmente de aspectos de implantação e também foge do escopo deste trabalho. Os seus itens obrigatórios são: controle da erosão, sedimentação e poeira na atividade da construção, o qual a construção modular já atende em parte, pois não gera poeira na instalação; e não utilizar plantas invasoras, que o proprietário pode cumprir contratando a consultoria de um paisagista, por exemplo. Dentre os itens opcionais, é possível atender ao

critério de Minimizar a Intervenção no terreno, pois, além de orientar o proprietário a conceber um projeto com pouca movimentação de terra, a construção modular exige fundações mais simples, o que também contribui para diminuir o impacto no terreno. Além deste, o critério do gerenciamento de águas pluviais é possível ser atendido através de um planejamento de drenagem no terreno; o critério de controle de pragas e doenças sem produtos tóxicos poderá ser cumprido, pois não há materiais que propiciem a proliferação de pragas como cupins.

Relacionada ao Uso Racional da Água, a quarta categoria traz itens que se aplicam à construção em si e um item que não se aplica, referente ao sistema de irrigação. Os itens aplicáveis são: Aproveitamento de águas Pluviais e Cinzas; Materiais Sanitários Eficientes. Para o aproveitamento de águas pluviais, basta a instalação de um sistema de cisterna, para armazenar a água, e um de distribuição. A água pluvial pode ser usada nos vasos sanitários, na lavagem de roupas e para regar o jardim. Já para reaproveitar as águas cinzas é necessário um outro sistema de tanque e bombeamento para outros pontos, tais como vasos sanitários e irrigação. Na concepção do projeto, pode optar-se por materiais sanitários (vasos, torneiras e chuveiro) eficientes. Atualmente esta opção já é bastante usual.

No que tange à Eficiência Energética, há dois critérios obrigatórios. O primeiro consiste em uma certificação do Desempenho energético mínimo de acordo com etiquetagem "Energy Star for Homes". O site do Energy Star disponibiliza materiais gratuitos que instruem profissionais da construção civil em como tornar os seus projetos mais eficientes energeticamente. (ENERGY STAR, 2017) O objetivo dos critérios de eficiência energética do Energy Star é melhorar o isolamento térmico a fim de reduzir gastos de energia com climatização, e assegurar que os sistemas de iluminação, aparelhos domésticos, aparelhos de aquecimento de água e de Ar-Condicionado tenham certificação de alta eficiência energética. Portanto, é possível projetar as casas modulares de forma a reduzir o consumo de energia, proporcionar mais conforto e saúde aos moradores e usar somente aparelhos e equipamentos eficientes.

O outro item obrigatório do critério energético é o Testes para gerenciamento do gás refrigerante residencial e o não uso de CFC's. Para atendê-lo, basta efetuar os testes conforme a exigência da certificação. Além destes itens, existem itens opcionais referentes à distribuição de água quente e o gerenciamento do gás. Em relação à distribuição de água quente, a combinação de um projeto adequado e a utilização de material isolante térmico envelopando a tubulação trarão o resultado esperado.

A seguinte categoria estipula critérios sobre Materiais e Recursos. Dentre os itens obrigatórios, o primeiro é Sistema construtivo Inovador & Tecnológico. Quanto a este critério,

o método construtivo modular atende plenamente por sua completa inovação e utilização de tecnologia. O seguinte item obrigatório é o uso de Madeira Certificada. A maior parte das casas modulares não emprega madeira, e sua construção não utiliza caixaria. Portanto, este item não se aplica. O último item obrigatório é o Gerenciamento de Resíduos, que pode ser feito facilmente dentro do ambiente fabril, possibilitando maior reaproveitamento de materiais em construções consecutivas produzidas na mesma fábrica. Os itens opcionais são o gerenciamento de resíduos durante a construção, que já é realizado na fábrica de módulos da Brasil ao Cubo, e o uso de Materiais Ambientalmente Preferíveis, que é possível através de uma análise nas opções existentes de materiais.

A penúltima categoria trata da Qualidade Ambiental Interna e tem como objetivo garantir a saúde dos usuários da casa através de ar mais puro. Esta categoria possui o maior número de itens obrigatórios e mostra a grande preocupação da certificação com a poluição do ar inspirado pelas pessoas. Ela exige um controle de emissão de gases de combustão, renovação do ar interno, exaustão localizada, sistema de distribuição de ar interno, proteção ao radônio e ausência de ar-condicionado na garagem. Para isso, é necessário projetar um sistema de ventilação com filtros específicos para garantir a qualidade exigida do ar. Além disso, é opcional o controle de umidade do ar e de partículas contaminantes, que também requerem filtros especiais.

A última categoria é de Práticas Sociais, que exige instruções de conscientização ao proprietário e sugere que os gestores de edifícios multifamiliares também sejam capacitados, a fim de que estes possam fazer o melhor uso dos sistemas de sua casa e possibilitem uma efetiva eficiência energética e de água.

A tabela 3, que segue, demonstra o apresentado.

Tabela 3 Adequação com Critérios LEED

Critério	Pontuação	Status
INOVAÇÃO E PROJETO		
Projeto Integrado Análise Preliminar	Obrigatório	Possível
Projeto Integrado, Integração c/ todas as disciplinas	1	Já está aplicado
Profissional Credenciado LEED for homes	1	Possível
Projeto Integrado, Integração estratégias sustentáveis	1	Possível
Orientação de Projeto - Carta Solar	1	Possível
Gerenciamento da Qualidade, Planejamento	Obrigatório	Possível
Gerenciamento da Qualidade, Durabilidade	Obrigatório	Possível
Comissionamento Gerenciamento da Qualidade	3	Possível

Inovação e Projeto	4	Já está aplicado
LOCALIZAÇÃO E TRANSPORTE		
Seleção do Terreno	2	Não avaliado
Localização Preferencialmente desenvolvida	3	Não avaliado
Infraestrutura de águas e saneamento básico	1	Não avaliado
Proximidade a recursos comunitários e transporte público	3	Não avaliado
Acesso a espaço aberto	1	Não avaliado
IMPLANTAÇÃO SUSTENTÁVEL		
Controle da erosão, sedimentação e poeira na atividade da construção	Obrigatório	Não avaliado
Minimizar a Intervenção no terreno	1	Possível
Não utilizar plantas invasoras	Obrigatório	Não avaliado
Paisagismo Básico	7	Não avaliado
Limitar a área de plantio de gramado		Não avaliado
Implantar espécies que apresentem baixo consumo de água		Não avaliado
Reduzir a demanda de água potável na irrigação em pelo menos 20%		Não avaliado
Redução de ilha de calor - área de pisos e coberturas	1	Não avaliado
Gerenciamento de águas Pluviais	7	Possível
Controle de pragas e doenças sem produtos tóxicos	2	Possível
Implantação compacta - densidade	4	Não avaliado
USO RACIONAL DA ÁGUA		
Água de reuso - Aproveitamento de águas pluviais	4	Possível
Água de reuso - Água cinzas	1	Possível
Sistema de Irrigação Eficiente	4	Não avaliado
Metais sanitários eficientes	4	Já está aplicado
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Desempenho energético mínimo de acordo com etiquetagem "Energy star for Homes"	Obrigatório	Possível
Desempenho energético aprimorado	34	Possível
Distribuição eficiente de água quente	2	Possível
Tubulação eficiente com isolamento apropriado	1	Possível
Testes para gerenciamento do gás refrigerante residencial, não uso de CFC's	Obrigatório	Já está aplicado
Gerenciamento do gás refrigerante residencial, não uso de CFC's	1	Já está aplicado
MATERIAIS E RECURSOS		
Sistema construtivo inovador & Tecnológico	Obrigatório + 5	Já está aplicado
FSC madeira certificada	Obrigatório	Não é usada madeira

Materiais ambientalmente preferíveis	8	Possível
Gerenciamento de resíduos - planejados	Obrigatório	Já está aplicado
Gerenciamento de resíduos durante construção	3	Já está aplicado
QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA		
Controle de emissão de gases de combustão - Básicas	Obrigatório	Possível
Controle de emissão de gases de combustão - Moderada	2	Possível
Controle de umidade local	1	Possível
Renovação do ar interno	Obrigatório + 3	Possível
Exaustão Localizada	Obrigatório + 2	Possível
Sistema de distribuição de ar interno	Obrigatório + 3	Possível
Filtragem do ar exterior	Obrigatório + 2	Possível
Controle de partículas contaminantes	4	Possível
Proteção ao Radônio	Obrigatório + 1	Possível
Ausência de sistema de ar condicionado na garagem	Obrigatório + 3	Já está aplicado
PRÁTICAS SOCIAIS		
Promover conscientização do proprietário	Obrigatório + 2	Possível
Capacitação do Gestor do edifício multifamiliar	1	Possível

Fonte: (GARCIA, 2017) Adaptada

A tabela, que segue, traz o resumo do comparativo entre a construção em alvenaria convencional e a modular em LSF referente às três variáveis: custo, prazo e qualidade.

Tabela 4 Resumo Comparativo

	Alvenaria Convencional	Modular em LSF
Custo	R\$ 48 mil, porém, a etapa de acabamento demanda mais tempo e é mais cara	R\$ 80 mil, no entanto, a etapa do acabamento é muito mais rápida e econômica
Prazo	2 a 3 meses	2 a 3 semanas
Qualidade	Artesanal	Mais padronizada

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Buscando-se estudar soluções mais sustentáveis e tecnológicas, foi identificado grande potencial no método construtivo modular em LSF. Através do estudo de caso, constatou-se que este método oferece uma significativa redução no desperdício de materiais, redução no prazo para término da estrutura e vedação da edificação, e uma facilidade para padronização do acabamento e de manutenção.

Entretanto o custo da construção modular se equipara ao da construção em alvenaria convencional, apesar de haver um custo maior com os materiais do que com mão de obra no caso da construção modular. Isto se deve ao uso de materiais mais caros na construção modular por serem mais elaborados e beneficiados. Ao mesmo tempo destaca-se que o prazo de construção é reduzido, diminuindo, portanto, o custo com a mão de obra.

A redução do prazo se dá pelo uso de materiais pré-moldados como placas e perfis, aliado a uma configuração fabril que possibilita maior organização, sistematização e consequentemente maior produtividade. Sem a necessidade de preparação de caixaria e espera de tempo de cura, o processo construtivo modular em LSF alia a velocidade da pré-moldagem ao processo de fabricação em série. Este processo possibilita a redução dos desperdícios de materiais devido à produção em série, resultando em desperdício mínimo.

A qualidade da construção modular em LSF pode ser mantida com mais facilidade pois os materiais utilizados (perfis de aço, placas MDF, telhas sanduíche, etc) são padronizados e já passam por um controle de qualidade nas empresas que os fabricam.

Dentre as possibilidades de adequação com a certificação LEED *for homes*, a construção modular em LSF possui possibilidade de captação e reaproveitamento das águas, maior eficiência energética devido a possibilidade de uso de isolantes térmicos no interior das paredes e implementação de sistemas de purificação e renovação do ar. O método já atende aos quesitos de inovação e de integração entre os projetos das diferentes disciplinas e gerencia e redução dos resíduos e do impacto da construção na vizinhança. Além disso, a construção modular em LSF possibilita a relocação e elimina a necessidade de demolição para liberar o terreno, contribuindo para uma maior vida útil da edificação e diminuindo resíduos provenientes de demolições, fatores que contribuem para a sua sustentabilidade.

Entre os desafios atuais da construção modular estão: a escassez de mão-de-obra qualificada e a materiais com custo elevado. No entanto, à medida que o LSF for se difundindo no país como um método construtivo inovador, a tendência é que existam mais fabricantes e

mais pessoas qualificadas para trabalhar com eles, reduzindo assim o custo dos materiais e da mão de obra.

Entre as vantagens pode se destacar: a rapidez, a limpeza e a redução de ruído no local onde será instalada a edificação, maior leveza, o que reduz o dimensionamento das fundações, a possibilidade de realocação, o que torna a demolição desnecessária, a limpa e fácil manutenção sem quebra de paredes ou pisos e o custo final bem definido.

Em relação às futuras possibilidades pode se destacar o desenvolvimento de construções ou módulos com características e soluções adequadas aos critérios de certificação ambiental LEED que possam ser difundidos através da replicação que a construção modular em LSF possibilita. Da mesma forma, soluções com melhor design podem ser replicadas com facilidade. Além disso, pelo fato de ser um tipo de construção que não gera ruído e sujeira e tem uma rápida instalação, ela pode ser usada para se construir em áreas onde não se possa fazer ruído ou sujeira, como próximo de escolas, universidades e hospitais. Por conta da sua rapidez, incorporadoras podem usar este tipo de construção para, além de vender um terreno ou lote, vender também uma casa personalizada a ser entregue em 60 dias sem causar transtornos ou imprevistos. Por fim, a construção modular elimina a necessidade de demolição e com isso garante uma maior vida útil ao material empregado na sua construção, contribuindo para o meio ambiente com a redução da demanda de matéria prima.

5.1 PROPOSTA DE CONTINUAÇÃO

Para complementar e aprofundar este estudo, sugere-se que seja comparado todo processo construtivo de uma construção convencional em alvenaria e uma modular em LSF, pois este trabalho não comparou a parte de acabamento como colocação de piso, louças, instalações elétricas e hidrossanitárias e coberturas. Além disso, ainda pode ser feita uma comparação focando a manutenção dos dois tipos de edificações. E, finalmente, pode ser feito um estudo relativo ao fim da vida útil da edificação e os possíveis reaproveitamentos e descartes.

Aos estudantes de engenharia e arquitetura há muitas possibilidades de estudo em relação ao uso deste método construtivo em diversos tipos de projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. J. **Desperdícios na construção civil**. Techoje: uma revista de opinião, [20--?]. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/99>. Acesso em: 2 nov. 2017.
- ARORA, D. M. **Lecture 1: introduction**. Melbourne: The University of Melbourne, 2015, 34 slides.
- AZEREDO, H. A. D. **O edifício até a sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.
- BOFF, L. **Sustentabilidade: tentativa de definição**. [S.l. : s.n.], 2015.
- BORTOLOTTO, A. L. K. **Análise de viabilidade econômica do método light steel framing para construção de habitações no município de Santa Maria-RS**. Santa Maria. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - UFSM, Santa Maria, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_ANA%20LARISSA%20KOREN%20BORTOLOTTO.pdf> . Acesso em: 26 out. 2017.
- BRASIL AO CUBO. Casa 2 pavimentos. **Brasil ao Cubo**, 2016. Disponível em: <<http://brasilaoocubo.com/index.php?id=servicos2&cod=86>>. Acesso em: 2017.
- BRASIL. Ministério das cidades. **PBQP-H Cidades**, 2017. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_apresentacao.php>. Acesso em: 14 outubro 2017.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo casa azul**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- CRAWFORD, D. R. **Life cycle energy analysis**. Melbourne: The University of Melbourne, 2015, 40 slides.
- DEINFRA. **AET: autorização especial de trânsito**, 2017. Disponível em: <<http://www.deinfra.sc.gov.br/aet.do?method=inicializaDados&tipo=indivisiveis>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- DUFFIELD, P. C. **Engineering project implementation**. Melbourne: University of Melbourne, 2015, 13 slides.
- ENERGY STAR. Resources for Contractors. **Energy star**, 2017. Disponível em: <https://www.energystar.gov/index.cfm?c=home_contractors.hm_improvement_contractors_resources>. Acesso em: 14 outubro 2017.
- FOLGIARINI, J. J. **Planejamento e controle de obras: implementação nas obras de ampliação e reforma do hospital de caridade de Ijuí**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), 2003. Disponível em: <<http://www.engwhere.com.br/empreiteiros/tccjoanirfolgiarini.pdf>> Acesso em: 20 set. 2017.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Construções de light steel**. *Revista Técnica*, São Paulo, n. 112, 2013 <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/112/artigo31819-1.asp>>, Acesso em: 20 ago. 2017.

GARCIA, J. R. P. ; W. R. **Sustentabilidade Na Construção Civil**: estudo comparativo entre leed for homes e o selo casa azul. Palhoça: UNISUL, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), 2017.

HUBSPOT, 2017. Disponível em: <http://cdn2.hubspot.net/hub/371743/file-602771942-jpg/LEED_Picture.jpg>. Acesso em: 11 ago. 2017.

MADRUGA, Emerson Limberger. Desempenho térmico: comparativo de edificações em light steel framing com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional. 2016.

MARTINS, B. C. F.; MIRANDA, V. A. M. D. **Cronograma físico-financeiro em obras de edificação**. Itajubá: Centro Universitário de Itajubá - FEPI, 2015. Disponível em: <<http://www.fepi.br/revista/index.php/revista/article/download/360/222>>. Acesso em: 16 set. 2017.

PARS-TIRAZIS. 2017. Disponível em: <<http://www.pars-tirazis.com/images/pars/l5f5.jpg>>. Acesso em: 2017.

PLANEJANDO Sua Obra. Disponível em: <<http://www.curitibacasa.com.br/manual/index.htm>>.

PRUDÊNCIO, M. V. M. V. **Projeto e análise comparativa de custo de uma residência unifamiliar utilizando os sistemas construtivos convencional e Light Steel Framing**. Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal Federal do Paraná, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), 2013. Disponível em: <http://www.academia.edu/32055211/UNIVERSIDADE_TECNOL%C3%93GICA_FEDERAL_DO_PARAN%C3%81_COORDENA%C3%87%C3%83O_DE_ENGENHARIA_CIVIL_CURSO_DE_ENGENHARIA_CIVIL_PROJETO_E_ANALISE_COMPARATIVA_DE_CUSTO_DE_UMA_RESID%C3%8ANCIA_UNIFAMILIAR_UTILIZANDO_OS_SISTEMAS_CONSTRUTIVOS_CONVENCIONAL_E_LIGHT_STEEL_FRAMING>. Acesso em: 27 set. 2017.

Referencial GBC Brasil Casa: casa eudoxia. GBC Brasil. Direção Alexandre Rocha. Palhoça, 2016. YouTube (10 min). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=q80fBKccKqk>>. Acesso em: outubro 2017.

ROGAN, A. L.; LAWSON, R. M.; BATES-BRKLJAC, N. Value and benefits assessment of modular construction, Ascot, UK, 2000.

SILVA, CÁSSIA Fernanda Borges da et al. **Custo-benefício do sistema construtivo Steel Framing**. Uberaba: UNIUBE, 2014. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/custo-beneficio-do-sistema-construtivo-steel-framing-18783>>. Acesso em: 12 set. 2017.

UNITED NATIONS. **UN General Assembly**. 1987. Disponível em:
<<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 28 setembro 2017.

VANZOLINI. Certificação AQUA-HQE. **Vanzolini**, 2017. Disponível em:
<<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: 1 out. 2017.

VARELA, Mafalda Xavier. **A casa modular vista na perspectiva do engenheiro mecânico**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.

VASQUES, C. C. P. C. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. [S.l. : s.n.], 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. [S.l.]: Bookman, 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Resumo de Materiais para Construção em Alvenaria Convencional

EBERICK V9 LICENÇA 344242-1

RESUMO DE MATERIAIS (MOLDADOS IN LOCO)

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Cobertura	Vigas	99.1	1.8	30.6	54.0	
	Pilares	133.8	1.2	23.3	114.7	
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	232.9	3.0	53.9	77.6	0.0
Superior	Vigas	181.3	2.0	32.7	92.5	
	Pilares	250.2	1.3	26.2	190.7	
	Lajes	1.6	1.5	0.0	1.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	433.1	4.8	58.9	90.6	0.0
Terreo	Vigas	174.4	1.8	30.4	95.6	
	Pilares	85.6	0.3	5.3	325.0	
	Lajes	0.0	1.6	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	219.8	4.8	9.0	46.2	
	Total	479.8	8.5	44.6	56.7	0.0

Aço	Diâmetro (mm)	Quantidade + 10 % (Barras)					
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
CA50	6.3	1				5	6
CA50	8.0	44		1		4	49
CA50	10.0	14	33			7	54
CA50	12.5	6	11			13	30
CA50	16.0		3				3
CA60	5.0						

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)					
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
CA50	6.3	0.6				12.0	12.6
CA50	8.0	199.2		1.6		14.9	215.7
CA50	10.0	90.1	231.7			46.0	367.8
CA50	12.5	59.7	117.1			146.9	323.7
CA50	16.0		50.2				50.2
CA60	5.0	105.2	70.6				175.8

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	349.6	399.0	1.6		219.8	970.0
	CA60	105.2	70.6				175.8

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
	Total	454.8	469.5	1.6		219.8	1145.8
Volume concreto (m³)	C-25	5.6	2.7	3.1		4.8	16.2
Área de forma (m²)		93.7	54.8			9.0	157.5
Consumo de aço (kgf/m³)		80.9	171.2	0.5		46.2	70.6

RESUMO DE MATERIAIS (PRÉ-MOLDADOS)

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Cobertura	Lajes PM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Superior	Lajes PM	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Terreo	Lajes PM	70.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	70.6	0.0	0.0	0.0	0.0

Aço	Diâmetro (mm)	Quantidade + 10 % (Barras)	
		Lajes PM	Total
CA50	6.3	3	3
CA50	8.0	3	3
CA50	10.0	13	13
CA50	12.5	4	4

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)	
		Lajes PM	Total
CA50	6.3	8.1	8.1
CA50	8.0	10.1	10.1
CA50	10.0	89.3	89.3
CA50	12.5	40.4	40.4

		Lajes PM	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	147.9	147.9
	Total	147.9	147.9
Volume concreto (m³)	C-25		0.0
Área de forma (m²)			
Consumo de aço (kgf/m³)			

*Os quantitativos dos materiais de capa e armaduras adicionais das lajes pré-moldadas estão considerados no Resumo de materiais - Moldado in loco

Blocos de enchimento						
Pavimento	Tipo	Nome	Dimensões(cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
Terreo	EPS Unidirecional	B8/30/125	8	30	125	115
Superior	EPS Unidirecional	B8/30/125	8	30	125	110