

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA MENDES

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMPARATIVA DE CONSTRUÇÃO EM LIGHT
STEEL FRAME E ALVENARIA ESTRUTURAL PARA PROJETO DE HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL**

CURITIBA

2019

ANA PAULA MENDES

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMPARATIVA DE CONSTRUÇÃO EM LIGHT
STEEL FRAME E ALVENARIA ESTRUTURAL PARA PROJETO DE HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de especialização em engenharia de produção, Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno.

CURITIBA

2019

Avaliação do ciclo de vida comparativa de construção em Light Steel Frame e alvenaria estrutural para projeto de habitação de interesse social

Ana Paula Mendes

RESUMO

A construção civil é uma indústria que gera impactos ambientais significativos. Diante disso, há a necessidade de avaliar o ciclo de vida de todos os seus processos, para que novas alternativas sejam desenvolvidas. A análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia de avaliação de impactos ambientais potenciais, desde a aquisição de matéria-prima até a disposição final. Neste trabalho é realizada a comparação dos impactos ambientais potenciais entre alvenaria estrutural e light steel framing, ambos considerados mais eficientes se comparados à alvenaria convencional. Primeiramente, são apresentadas as características, materiais empregados, vantagens e desvantagens de cada método. A partir disso, é feito um projeto estrutural em steel frame das paredes internas, tendo como base um projeto em alvenaria estrutural existente. Com os projetos, é possível fazer o inventário dos materiais de cada sistema. A partir do inventário, pode-se inserir os dados para análise no software SimaPro, que com a base de dados Ecoinvent e a metodologia de análise Impact 2002+, levanta os impactos ambientais potenciais. Foi possível identificar, a partir das pesquisas e de dados do software, que a parede interna em light steel frame apresenta impactos mais significativos, sendo os efeitos respiratórios de compostos inorgânicos os mais expressivos, causado principalmente no processo de galvanização. Na alvenaria estrutural, o maior impacto é devido à contribuição para o aquecimento global. Apesar do resultado, não se pode dizer que o LSF como um todo gera mais impactos, pois não foram consideradas etapas importantes como a fundação, paredes externas e cobertura.

Palavras-chave: Análise do ciclo de vida. Light steel frame. Alvenaria estrutural. Impactos ambientais. Construções sustentáveis.

1 INTRODUÇÃO

A atividade da construção civil gera impactos ambientais consideráveis, principalmente relacionados à extração de recursos naturais, à emissão de CO₂, que agrava o efeito estufa e ao consumo energético. Apesar disso é um ramo que

movimenta a economia e gera empregos, além de ser essencial para a infraestrutura das cidades.

Sendo assim, é importante que se desenvolvam novas metodologias construtivas, com a finalidade de otimizar os processos e diminuir os impactos ambientais, em todo o ciclo de vida de uma edificação.

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma boa ferramenta para comparar impactos ambientais potenciais de métodos construtivos, auxiliando na tomada de decisões.

Neste estudo, será feita a avaliação do ciclo de vida de construção em alvenaria estrutural e light steel frame (LSF). Para isto, será feito o inventário dos componentes de cada sistema, em massa. Posteriormente, os dados do inventário serão inseridos no programa SimaPro, utilizando a base de dados Ecoinvent e a metodologia IMPACT 2002+ para a avaliação dos impactos.

Com isso, busca-se estabelecer uma comparação entre os impactos ambientais potenciais gerados pelo método construtivo em alvenaria estrutural e em light steel frame, considerando como fronteira do sistema as paredes internas de uma edificação, cujo projeto foi desenvolvido pela Caixa Econômica Federal.

A partir dos resultados gerados pelo programa, objetiva-se avaliar qual método construtivo apresenta menores impactos ambientais. Além disso, para cada sistema, busca-se avaliar quais são os impactos ambientais mais significativos e o que gera cada impacto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma indústria que exerce impactos expressivos, tanto econômicos quanto sociais e ambientais. Grande parte desses impactos acontecem devido à utilização de matérias-primas não renováveis, ao alto consumo energético, à produção de gases do efeito estufa, principalmente o CO₂, e a grande quantidade de resíduos gerados devido à ineficiência de alguns de seus processos (MASS, 2017). Portanto, mesmo pequenas alterações podem causar impactos significativos na redução de custos de obras e na eficiência ambiental, podendo gerar maiores investimentos e crescimento do setor (SOARES et al., 2006).

Diante deste quadro, de acordo com Silva (2007) *apud* Mass (2017), para reverter a situação da construção civil, é necessária uma grande reformulação dos métodos, desde a extração da matéria-prima para produção dos insumos, até os processos de uso no canteiro de obras, incluindo a reutilização e descarte dos resíduos. Também novas tecnologias de construção devem ser buscadas.

Neste âmbito, a escolha de materiais de construção e processos produtivos é uma fase importante em um projeto, pois estes podem exercer a mesma função, mas ao longo do ciclo de vida apresentarem impactos ambientais diferentes. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), nesse caso, é uma ferramenta que pode ser utilizada para auxiliar na análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva ambiental (SOARES et al., 2006).

Tanto o sistema construtivo em alvenaria estrutural quanto o light steel frame são formas modulares de construção, que são alternativas mais eficientes, se comparadas ao modo convencional. Ambos têm como características a maior industrialização e produtividade (MASO, 2017).

2.2 SISTEMA DE CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos de concreto utiliza elementos estruturais industrializados, ligados por argamassa de assentamento (CAMPOS, 2012). Além de ser um elemento portante que resiste aos esforços oriundos de seu peso próprio, das cargas provenientes do uso e do vento, também tem a finalidade de fazer a vedação e isolamento da edificação (MASO, 2017).

De acordo com Maso (2017), é um sistema construtivo mais rápido e barato em relação à construção convencional e, embora seja mais utilizado em projetos de baixo padrão, também pode ser empregado em padrões mais altos.

A NBR 15961, classifica a alvenaria estrutural em três tipos:

- Alvenaria estrutural não armada:

De acordo com Campos (2012), a alvenaria estrutural não armada de blocos vasados de concreto são aqueles assentados com argamassa em que as armaduras têm apenas finalidade construtiva ou de amarração, não sendo consideradas para a absorção dos esforços. Para escolha do bloco estrutural, este deve apresentar uma resistência mínima de 4,5Mpa, desde que haja revestimento diferente de pintura.

É um tipo de alvenaria promissor, segundo Klein e Maronezi (2013), devido a economia gerada, sendo bom para uso em residências de padrão médio e baixo.

- Alvenaria estrutural armada:

Neste tipo, além da função construtiva e de amarração, as armaduras servem para conter os esforços, e são colocadas em cavidades preenchidas por graute (KLEIN e MARONEZI, 2013). De acordo com Campos (2012), as paredes devem ter espessura igual ou superior a 1/20 de sua altura efetiva. Para ambos os casos, as paredes não podem ter espessura inferior a 14cm.

- Alvenaria estrutural parcialmente armada:

Dependendo da parede, elas podem ser armadas ou não armadas.

O sistema construtivo em alvenaria estrutural pode ser dividido em seus elementos e componentes. Os componentes são os materiais que formam os elementos, sendo eles: blocos, argamassa, graute e armadura. Os elementos são o conjunto de um ou mais componentes construtivos, sendo as vergas, pilares, cintas e paredes.

- Blocos vazados de concreto:

Os blocos de concreto são produzidos a partir de uma mistura de cimento Portland, agregados e água, com a utilização ou não de aditivos, moldados com prensa vibratória. Para serem considerados vazados, a área líquida deve ser igual ou menor a 75% da área bruta (KLEIN e MARONEZI, 2013).

De acordo com Maso (2017), são os componentes mais importantes da alvenaria estrutural, pois são determinantes na resistência das paredes, ou seja, quanto maior a resistência do bloco, maior será da parede.

As principais vantagens do bloco de concreto em comparação ao cerâmico, segundo Maso (2017), são a sua maior resistência mecânica, maior uniformidade e aderência da argamassa, melhor desempenho acústico devido à sua maior dimensão e a menor taxa de quebra. Já as desvantagens são o maior peso, maior impacto ambiental e maior preço.

- Argamassa de assentamento:

A argamassa de assentamento é geralmente composta por areia, cal, cimento e água e sua função é fazer a união dos blocos de concreto, transmitindo e uniformizando as tensões, absorvendo pequenas deformações e impedindo a entrada de água e vento (KLEIN e MARONEZI, 2013).

De acordo com Maso (2017), quanto maior a espessura da argamassa, menor é a resistência da parede. A resistência a compressão da argamassa deve ser entre 70 e 100% da resistência do bloco.

- Armadura:

Na alvenaria estrutural, as armaduras podem ter função estrutural, como no reforço, distribuição de tensões e aumento da ductibilidade, ou somente para a simples amarração dos blocos (MASO, 2017).

A alvenaria estrutural tem como característica ser um método modular de construção, ou seja, utilizam-se múltiplos de uma unidade básica (blocos), sendo assim um método mais racionalizado. O conjunto desses módulos constitui a parede, que por sua vez é o elemento principal de uma alvenaria estrutural. Para construção das paredes, é necessário seguir as diretrizes da NBR 15961-2:2011, que estabelece limites para prumo, nível e alinhamento. É necessário também que haja um desalinhamento das juntas, evitando a formação de fissuras (MASO, 2017).

De acordo com Maso (2017), as paredes podem ser amarradas de duas formas: direta, com o intertravamento dos blocos, e indireta, na qual utiliza-se armadura ou telas metálicas. Na parte superior dos vãos de abertura, como janelas e portas, é necessário a execução das vergas, para resistir aos esforços verticais e às concentrações de tensões. Essas vergas geralmente são feitas com blocos canaleta preenchidos com concreto e armados.

Com relação às instalações, não podem ser feitos rasgos nas paredes, então elas devem passar pelos vãos dos blocos ou por shafts.

Uma das vantagens do sistema, de acordo com Campos (2012), é ter um elemento que faz tanto a função estrutural quanto a de vedação. Outras vantagens citadas por Maso (2017) estão relacionadas à redução de desperdícios por terem medidas padronizadas, maior controle de qualidade, redução no número de formas, redução do tempo de execução e dos custos. As desvantagens são as seguintes: limitação e dificuldade de mudanças no projeto arquitetônico, necessidade de mão de obra mais qualificada e a impossibilidade de improvisos, sendo necessário seguir um projeto.

2.3 SISTEMA DE CONSTRUÇÃO EM LIGHT STEEL FRAME

O sistema construtivo Steel Framing é formado por elementos estruturais ligados entre si, formando um “esqueleto”, que resistem às cargas oriundas e aplicadas nas edificações. Por serem mais leves e flexíveis, estas estruturas possibilitam maior flexibilidade no projeto (HASS e MARTINS, 2011).

É composto por perfis de aço galvanizado conformados a frio, formados por meio de bobinas de aço ZAR 230, ou seja, Zincados de Alta Resistência, com resistência mínima de 230MPa. A galvanização do aço é feita pelo processo de revestimento de zinco por imersão a quente, conferindo resistência à corrosão. A espessura das bobinas varia entre 0,80 e 3mm e os perfis mais comuns são do tipo U, que são as guias, e Ue (U enrijecido), que são os montantes, devendo seguir a NBR 15253:2014 (MASO, 2017).

Segundo Maso (2017), existem duas maneiras de realizar a montagem de edificações em light steel frame: método stick e método por painéis. No método stick, os painéis não são pré-fabricados e sim montados no canteiro de obras, necessitando de uma mão de obra mais qualificada. Já no método por painéis é necessária somente a conexão dos painéis in loco, pois estes já vem montados de fábrica, aumentando a produtividade e precisão. Um terceiro método é apresentado pela Brasilit (2014) *apud* Mass (2017), que é o da construção modular, em que a edificação é completamente feita em fábrica, podendo ser entregues inclusive com os acabamentos internos.

Abordando o método stick, os principais elementos construtivos são os seguintes:

- Fundações:

O sistema tem como característica a leveza de sua estrutura, portanto, as fundações podem ser menos robustas. Apesar disso, segundo Mass (2017), fatores como a topografia, tipo de solo, lençol freático e a profundidade de solo firme são determinantes na escolha da fundação.

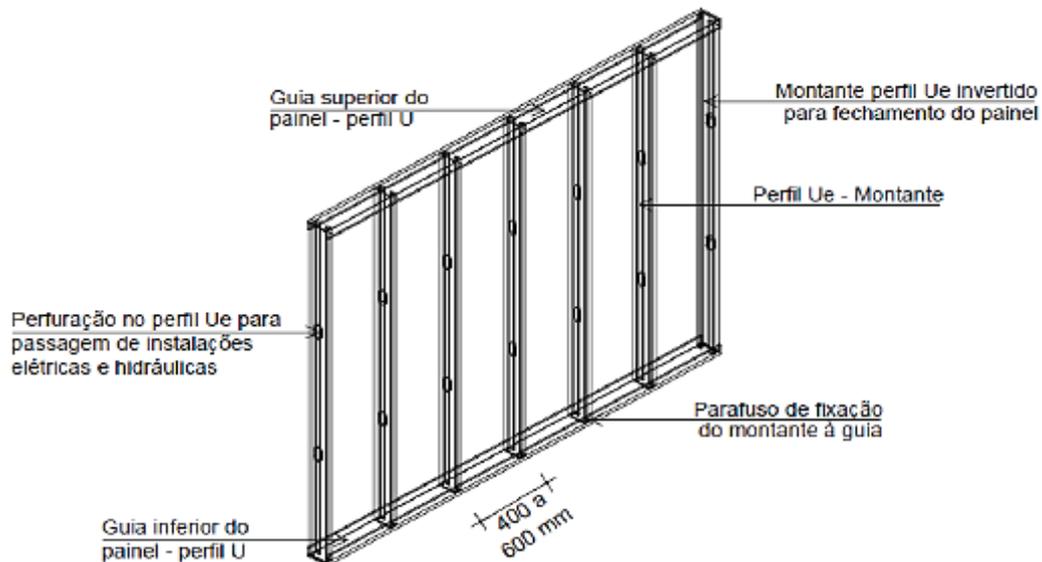
De acordo com Cassar (2018), pela limitação no número de pavimentos, o radier é o tipo de fundação que se adequa bem às necessidades, suportando a carga dos painéis na sua extensão, de forma uniforme. Como a estrutura não é ligada à fundação, a ancoragem deve ser feita por meio de chumbadores, ou parabolts, por exemplo. Antes da concretagem da fundação, devem ser feitas as instalações elétricas e hidrossanitárias, sob manta de impermeabilização.

- Painéis:

Os painéis têm a função principal de transmitir as cargas recebidas, que são distribuídas entre os elementos, para a fundação. Também exercem a função de vedação ou delimitação de áreas. No caso de dois ou mais pavimentos, os montantes devem ser alinhados nos painéis, evitando excentricidade de cargas (MASO, 2017).

Como mostrado na FIGURA 1, os painéis são constituídos basicamente por montantes, dispostos na vertical e guias, dispostas na base e no topo dos montantes, horizontalmente. A distância entre os montantes é definida em projeto, mas usualmente varia entre 400 e 600mm (MASO, 2017).

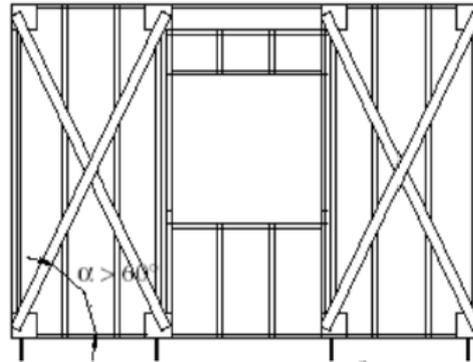
FIGURA 1 – PAINÉIS DO SISTEMA LSF.



FONTE: MASO (2017).

De acordo com Carminatti (2012), para estabilidade da estrutura à esforços horizontais ocasionados pelo vento, devem ser colocadas peças metálicas formando um "X", ilustrado na FIGURA 2, também chamadas de fitas de contraventamento. Deve-se também prever reforços no caso de encontro de painéis e aberturas, como janelas e portas.

FIGURA 2 - FITAS DE CONTRAVENTAMENTO NOS PAINÉIS



FONTE: PENNA (2009).

Segundo Mass (2017), a vedação desses painéis também segue o princípio de construção leve, e podem ser de placas de gesso acartonado *standard*, placas de gesso acartonado resistentes à umidade, ao fogo ou à incidência direta de água, placas de OSB ou placas cimentícias. As placas de gesso acartonado devem ser usadas em ambientes internos e tem dois tipos mais usuais: *Standard* (ST) e resistentes à umidade (RU). Fechamentos em OSB podem ser usados interna e externamente, mas nesse último caso, devem receber proteção contra umidade. Já as placas cimentícias são mais comumente usadas no revestimento externo, sendo próprias para ambientes com incidência direta de água.

De acordo com Cassar (2018), o desempenho dos painéis também depende de um correto tratamento de juntas, a ser feito nas placas de gesso acartonado com o uso de massa de rejunte e fita de acabamento e nas placas cimentícias, que varia conforme fabricante, mas geralmente envolve massas especiais de rejunte, fitas, telas e membranas.

- Ligações:

Para unir os perfis que formam as estruturas, segundo Crasto (2012) *apud* Maso (2017), os parafusos auto atarraxantes e auto perfurantes são os mais utilizados. Estes são de aço carbono e recebem um tratamento de cementação e têmpera e são recobertos com zinco, para evitar a corrosão.

De acordo com Cassar (2018), podem ser utilizados dois tipos de parafusos: ponta agulha e ponta broca. O primeiro é utilizado em chapas mais finas, geralmente não estruturais, e o segundo quando pretende-se unir peças estruturais ou várias camadas de materiais.

- Cobertura:

Para a estrutura de cobertura, de acordo com Mass (2017), são utilizados os mesmos perfis dos painéis, devendo-se atentar em manter o alinhamento da estrutura, com a alma dos perfis alinhados com os montantes dos painéis. Assemelha-se arquitetonicamente à estrutura de cobertura da construção convencional, pois utiliza tesouras e caibros. Os modelos de telhas utilizados também podem ser os mesmos da estrutura convencional.

- Instalações:

Na construção a seco, as instalações são feitas antes do fechamento das placas, com as tubulações passando pelas aberturas existentes nos montantes. Isto facilita tanto durante a execução dos serviços, com a eliminação da quebra de paredes, quanto na manutenção ao longo da vida útil, já que pode ser feita pontualmente retirando-se apenas algumas placas (MASO, 2017).

As demais etapas de uma construção, como acabamentos e revestimentos, pintura, louças e metais, não apresentam diferença significativa entre os métodos construtivos.

O desempenho termoacústico é uma das principais vantagens do light steel frame, relacionado à possibilidade de uso de materiais isolantes na estrutura, como a lã de vidro (MASO, 2017).

Outras vantagens, citadas por Hass e Martins (2011) são: maior área útil, já que as estruturas são mais esbeltas, maior flexibilidade para reformas, facilidade na execução, com a redução do tempo, diminuição do desperdício durante a execução e do peso da edificação em até 25%, canteiros de obras mais limpos e organizados por se tratar de um processo mais industrializado e a reciclabilidade da estrutura, que pode ser reaproveitada.

Mass (2017), também cita as vantagens oriundas da alta industrialização, que traz maior precisão e qualidade no produto. Uma desvantagem citada pelo mesmo é a necessidade de mão de obra especializada, escassa no mercado brasileiro, o que acaba gerando alto índice de improvisações, por isso, o sistema em light steel frame demanda projetos bastante detalhados, como um manual de montagem.

De acordo com Penna (2009), este sistema é amplamente empregado em países como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Austrália e Japão. No Brasil, a construção a seco teve início na década de 1990 pelo drywall, que é um sistema de vedação (não estrutural), que utiliza perfis com menores espessuras de aço. A

construção em steel frame teve seu início focado em projetos de alto padrão, porém busca-se quebrar este paradigma e apesar da resistência cultural que considera o sistema convencional mais “robusto”, segundo Hass e Martins (2011), tem-se conseguido avanços com a publicação de manuais do Centro Brasileiro da Construção em aço (CBCA) e das NBR 6355:2012 e 15217:2018.

2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ABNT NBR 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida, define a ACV como uma das técnicas para avaliar os aspectos e impactos ambientais potenciais relacionados a produtos, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final, ou seja, do berço ao túmulo, a fim de identificar oportunidades de melhorias no processo, servir como base para tomada de decisões, auxiliar na seleção de indicadores ambientais relevantes e também atuar como marketing ambiental (ABNT, 2009).

Segundo a ABNT (2009), a ACV é composta por quatro fases:

a) Definição de objetivo e escopo: na definição do objetivo, devem-se deixar claras as razões para o estudo, como este será conduzido e para quem se destina. No escopo, é definido o sistema e como este será avaliado, suas delimitações, fronteiras de estudo, unidade funcional, dentre outros aspectos.

b) Análise do inventário: nesta etapa, são quantificados os recursos utilizados nas entradas de um sistema e suas saídas, envolvendo a coleta de dados, levando-se em conta as fronteiras definidas e as categorias de impacto.

c) Avaliação de impacto: nesta fase, são avaliados os aspectos ambientais levantados, associando-se os dados do inventário com categorias de impacto. Uma avaliação quantitativa é feita, resultando em um valor total de contribuição do processo para as categorias de impacto, que podem ser em termos de consumo dos recursos naturais, emissões atmosféricas, resíduos, entre outros.

d) Interpretação do ciclo de vida: na etapa de interpretação, os dados levantados nas fases anteriores resultam em conclusões e recomendações para ações futuras, de acordo com o objetivo e escopo (CARMINATTI, 2012). Pode resultar em um processo iterativo, em que é necessário rever o objetivo e escopo.

Um dos métodos de avaliação dos impactos ambientais é através do método IMPACT 2002+, na qual são levantados os impactos em treze categorias, de acordo

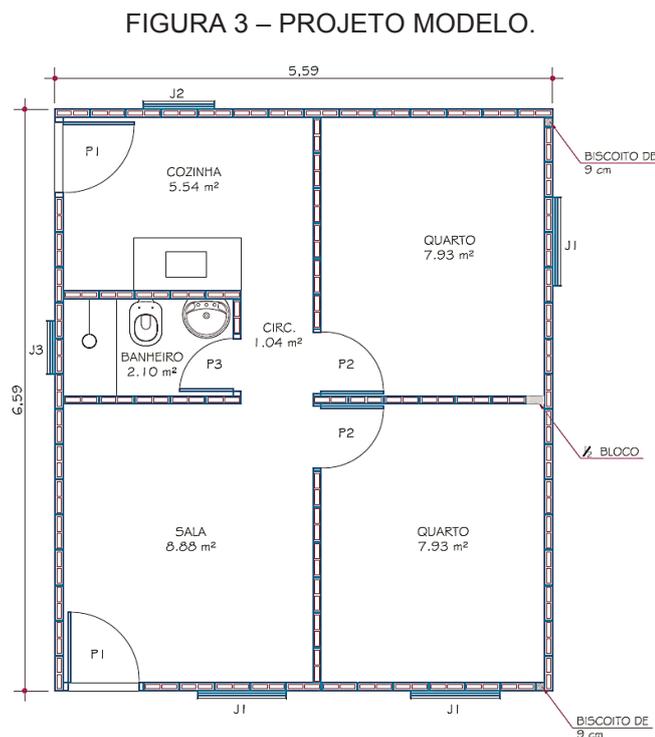
com os danos ao meio ambiente, sendo elas: materiais carcinogênicos, não carcinogênicos, respiração de inorgânicos, emissão de radiação ionizante, deterioração da camada de ozônio, respiração de inorgânicos, ecotoxicidade da água, ecotoxicidade terrestre, acidificação terrestre, ocupação do solo, aumento do efeito estufa, energia não renovável e extração mineral.

3 METODOLOGIA

A metodologia de estudo foi feita de acordo com os parâmetros da norma brasileira ABNT NBR ISO 14040:2009, que estabelece as fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

O objetivo do estudo foi comparar os impactos ambientais gerados por dois sistemas construtivos: Light Steel Frame e alvenaria estrutural, utilizando a ferramenta da avaliação do ciclo de vida com base em projeto de habitação de interesse social.

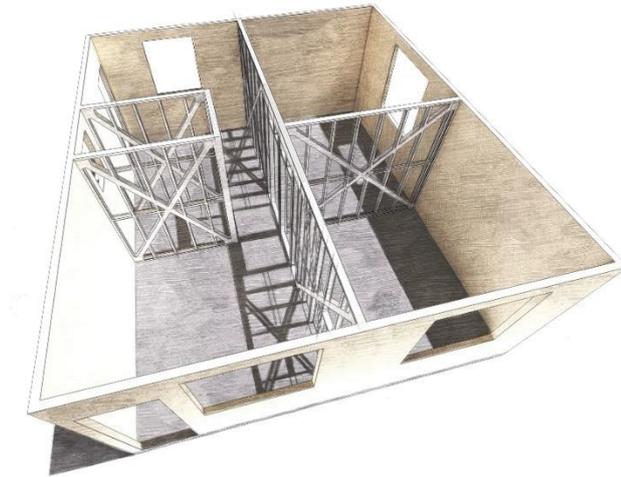
O estudo baseou-se em um projeto de habitação de interesse social disponibilizado pela Caixa Econômica Federal. A moradia em questão foi projetada para ser construída em alvenaria estrutural, com 36,84m² de área construída, conforme FIGURA 3.



FONTE: CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2006).

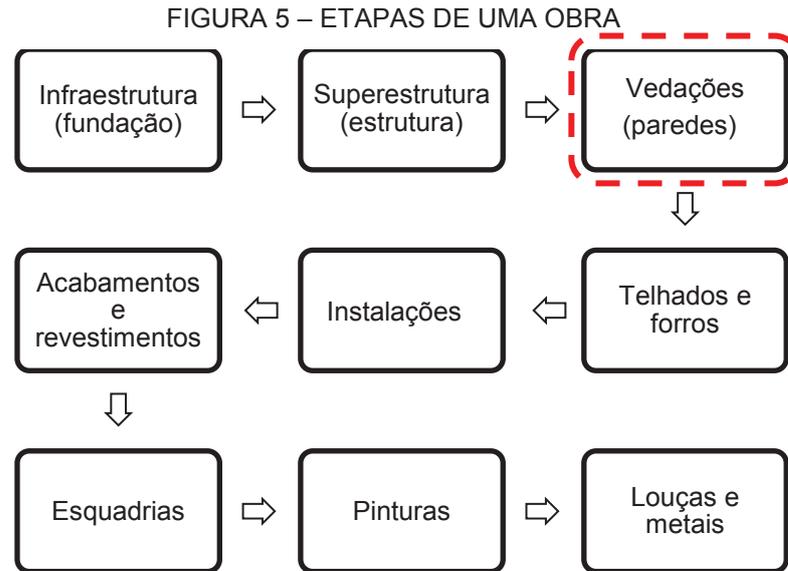
A fim de estabelecer uma comparação entre os dois sistemas, foi feito um projeto estrutural considerando-se a edificação concebida em light steel frame, conforme ilustra a FIGURA 4.

FIGURA 4 – PROJETO ESTRUTURAL EM LIGHT STEEL FRAME.



FONTE: A autora (2019).

As etapas de acabamentos, instalações, telhados, forros, esquadrias, pinturas, louças e metais são similares nos dois sistemas construtivos. A maior diferença encontra-se na fundação, estrutura e vedações. Considerando isto e por tratar-se de um projeto preliminar, o escopo do estudo limitou-se na análise das paredes internas do projeto, comparando-se os componentes dos dois sistemas, sendo que em estudos futuros pretende-se estender para a análise do sistema como um todo. As etapas da obra estão ilustradas na FIGURA 5.



FONTE: A autora (2019).

As paredes internas de edificações habitacionais têm por função separar os ambientes, proporcionando uma correta vedação entre estes, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma de desempenho de edificações (NBR 15575).

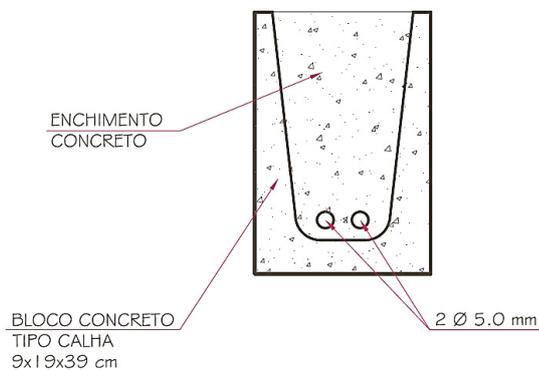
Para ambos os sistemas a unidade funcional foi a metragem quadrada total das paredes internas do projeto, 37,24m². O fluxo de referência adotado foi a comparação da quantidade total de materiais, padronizados em quilogramas, para os dois sistemas.

Para realizar a avaliação do ciclo de vida, foi utilizado o SIMAPro[®] 8.5.5, que é um software de modelagem que analisa ciclos de vida complexos a partir de recomendações da ISO 14040, tendo mais de 20 métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida e mais de 9 bibliotecas de inventários, sendo assim o mais utilizado para este tipo de análise (ACV Brasil, *apud* KAMIYA, 2018). No SIMAPro[®], como método de caracterização de impactos, utilizou-se o IMPACT 2002+, que é um método para avaliação do impacto ambiental em multi-indicadores para produtos, o mais utilizado na atualidade. Como base de dados prioritária, foi utilizado o Ecoinvent 3.5, pois ela compreende um dos maiores inventários de materiais e processos existente, atuando também de forma abrangente, buscando representar interações de processos a níveis mundiais.

3.1 INVENTÁRIO DE MATERIAIS

As paredes do projeto-padrão foram projetadas com blocos de concreto de dimensões: 9x19x39cm, assentados com argamassa de cimento, cal e areia com a proporção de 1:0,5:8 (cimento:cal:areia). Acima das portas e janelas foram consideradas vergas com blocos de concreto tipo calha com as mesmas dimensões, cheios de concreto estrutural de resistência 20Mpa, armados com duas barras de aço de 5mm, conforme ilustrado na FIGURA 6.

FIGURA 6 – DETALHE DAS VERGAS.



FONTE: Caixa Econômica Federal (2006).

O estudo abrangeu somente as paredes internas da casa, cuja metragem foi obtida a partir do projeto, totalizando 37,24m² de parede, com altura de 2,60m. Não foram descontados os vãos das três portas existentes. A metragem das vergas projetadas acima das portas é de 1,20m para cada porta, totalizando 3,60m.

Para o levantamento quantitativo de materiais para alvenaria estrutural, foi utilizada a base de dados da TCPO (tabela de composições de preços para orçamentos).

O quantitativo estrutural das paredes em Steel Frame foi feito conforme projeto estrutural, considerando aço galvanizado G275, ou seja, com 275g/m² de zinco na superfície. Para o fechamento das paredes foram consideradas placas de gesso acartonado, instaladas na estrutura por meio de parafusos 3,5x25mm, com tratamento em fita papel e massa de acabamento. Para determinar o quantitativo desses materiais, foram consideradas as recomendações do manual da Placo, que determina: 2,10 placas, 2,80 metros de fita, 0,70 Kg de massa e 30 parafusos por metro quadrado de parede (PLACO, 2014). As placas resistentes à umidade foram consideradas nas

paredes do banheiro e da cozinha, as quais terão incidência de umidade. Nos demais ambientes foi considerada a placa Standard.

Para a inserção dos dados no software SIMAPro®, foi necessária a padronização das medidas em quilograma.

O inventário de materiais é apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 – INVENTÁRIO DE MATERIAIS.

Alvenaria estrutural:					
	Item	Quantidade	Unidade	Quant.	Unid.
1.	Bloco de concreto 9x19x39	490,0	un	4067,0	kg
2.	Argamassa	0,3	m ³	608,0	kg
2.1	Cimento	57,6	kg	57,6	kg
2.2	Cal	28,8	kg	28,8	kg
2.3	Areia	460,8	kg	460,8	kg
2.4	Água	109,4	kg	109,4	kg
3.	Concreto 20Mpa	0,1	m ³	125,0	kg
3.1	Areia	39,8	kg	39,8	kg
3.2	Brita	53,5	kg	53,5	kg
3.3	Cimento	16,1	kg	16,1	kg
3.4	Água	9,5	kg	9,5	kg
4.	Barra de ferro 5mm	7,2	m	1,1	kg
Total=				5576,6	kg
Light steel frame:					
1.	Guia 90 #0,95mm (perfil U) ZAR 230: G275	35,2	m	42,9	kg
2.	Montante 90 #0,95mm (perfil Ue) ZAR 230: G275	130,6	m	186,7	kg
3.	Chumbador 5x16" com prisioneiro e prolongador	48,0	un	1,9	kg
4.	Chapa Gousset 180 # 0,95 mm ZAR 230: G275	40	un	9,8	kg
5.	Chapa L192 # 0,95 mm ZAR 230: G275	7,4	m	11,6	kg
6.	Fita 40 #0,95 mm ZAR 230: G275	25,7	m	7,5	kg
7.	Fita 90 # 0,95 mm ZAR 230: G275	67	m	43,6	kg
8.	Placas drywall Standard	27	un	478,2	kg
9.	Placas drywall resistentes à umidade	10	un	185,8	kg
10.	Fita acabamento 50mm	105	m	1,0	kg
11.	Massa drywall	38	kg	38,0	kg
12.	Parafuso 3,5x25mm para drywall	1192	un	1,9	kg
13.	Banda acústica auto-adesiva 90mm	83,4	m	0,8	Kg
Total=				1009,8	kg

FONTE: A autora (2019).

Com os dados inventário apresentado, cada processo foi inserido no programa SIMAPro® separadamente para cada sistema construtivo. Os processos são compostos pelos materiais, recursos tecnológicos, energia e emissões. Após isto,

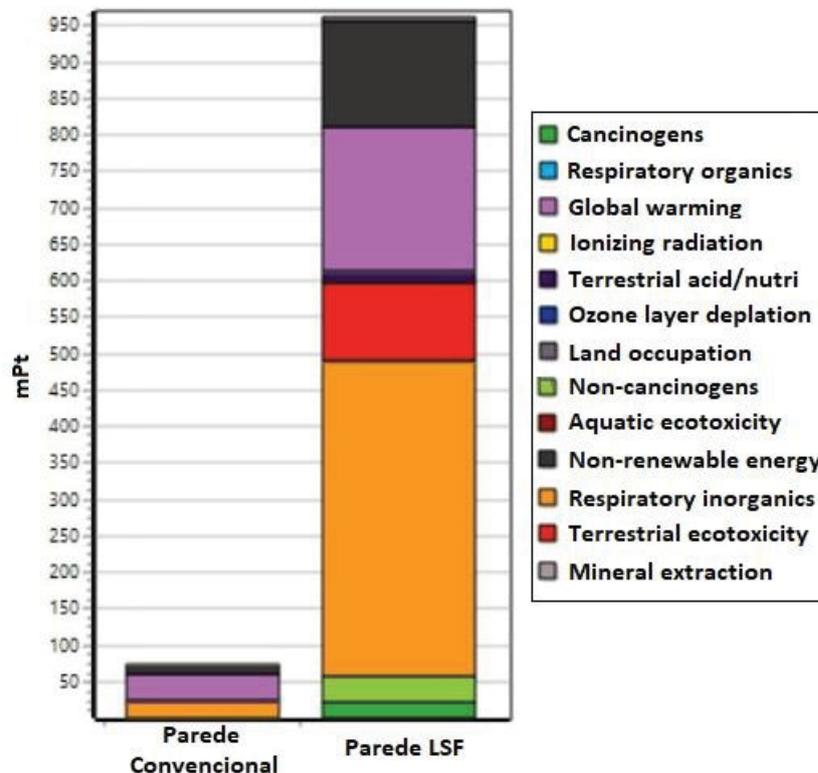
foram gerados gráficos e tabelas de impactos ambientais potenciais para cada método construtivo e uma comparação entre eles, cujos resultados serão apresentados na sessão seguinte.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados de inventário inseridos no programa SIMAPro[®], foi possível estabelecer uma comparação entre os dois sistemas estudados, bem como analisar os impactos ambientais potenciais separadamente.

Na FIGURA 7, é apresentada a comparação de impactos ambientais potenciais entre as paredes internas dos dois sistemas construtivos, na forma de pontuação única. Dessa maneira, é possível fazer uma análise visual do sistema com maiores impactos ambientais e quais deles são os mais significativos.

FIGURA 7 – IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS DOS DOIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.



FONTE: A autora (2019).

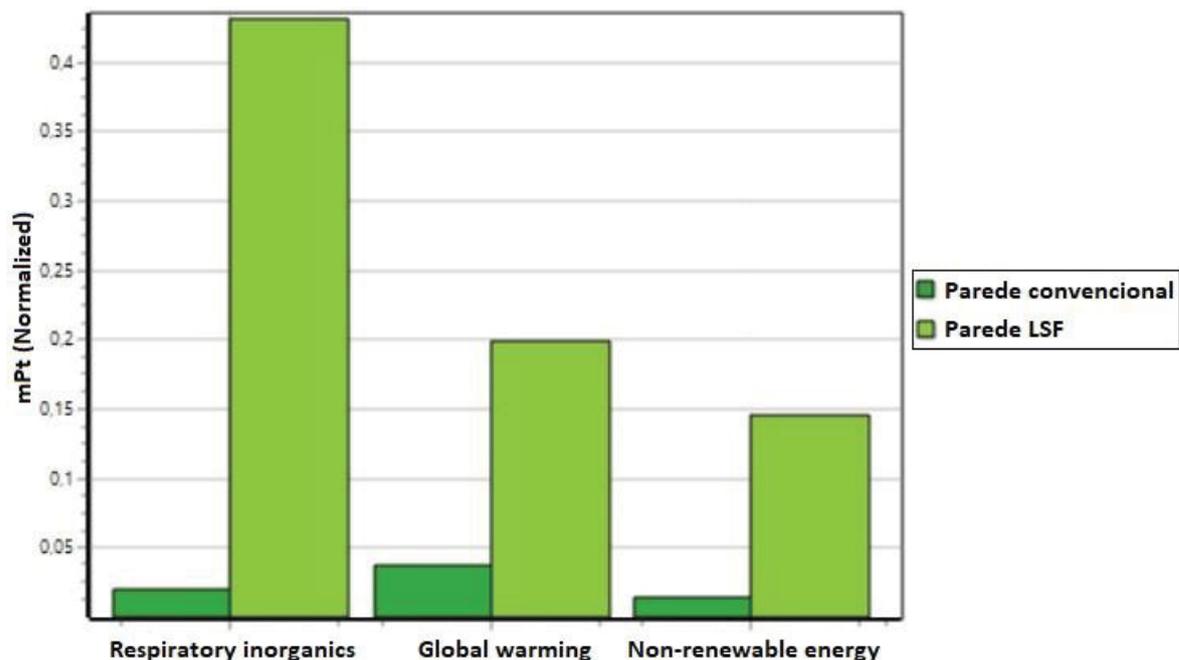
Percebe-se que a parede interna do sistema light steel frame apresentou impactos ambientais potenciais mais expressivos, se comparados à alvenaria

estrutural. A unidade apresentada no gráfico é a mili Eco ponto (mPt), e é uma unidade fictícia, pois os resultados são adimensionais e estão na mesma escala de análise, tornando possível a comparação das categorias de impacto.

Estabelecendo uma comparação numérica entre os impactos dos dois sistemas, temos que todos os impactos ambientais da parede de alvenaria estrutural somam 74,9 mili ecopontos e da parede de steel frame somam 962 mili ecopontos, ou seja, quase 13 vezes mais. Dos 74,9 mili ecopontos de impacto na parede de alvenaria, 36,9 representa a contribuição para o aquecimento global e dos 962 mili ecopontos da parede de light steel frame, 431 representa os efeitos respiratórios de compostos inorgânicos.

Na FIGURA 8, temos os três maiores impactos ambientais dos dois sistemas.

FIGURA 8 – OS TRÊS MAIORES IMPACTOS AMBIENTIS POTENCIAIS.

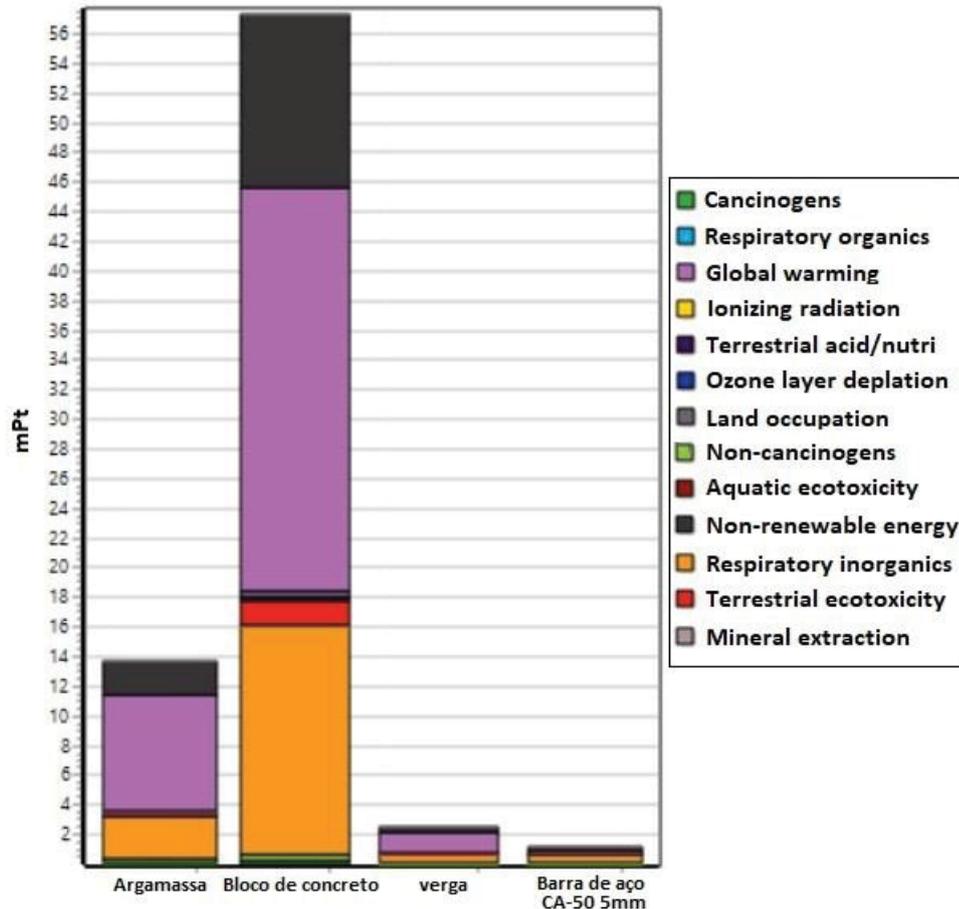


FONTE: A autora (2019).

Entre as treze categorias de impacto levantadas, as mais significativas foram: efeitos respiratórios de compostos inorgânicos, aquecimento global e energia não renovável. No caso da parede interna de alvenaria estrutural, o maior impacto foi a contribuição para o aquecimento global, já no light steel frame, os efeitos respiratórios de compostos inorgânicos tiveram um resultado mais expressivo.

Visando uma análise de cada sistema construtivo, a FIGURA 9 apresenta os processos com maiores impactos ambientais, somente para a alvenaria estrutural.

FIGURA 9 – IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS DA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL.

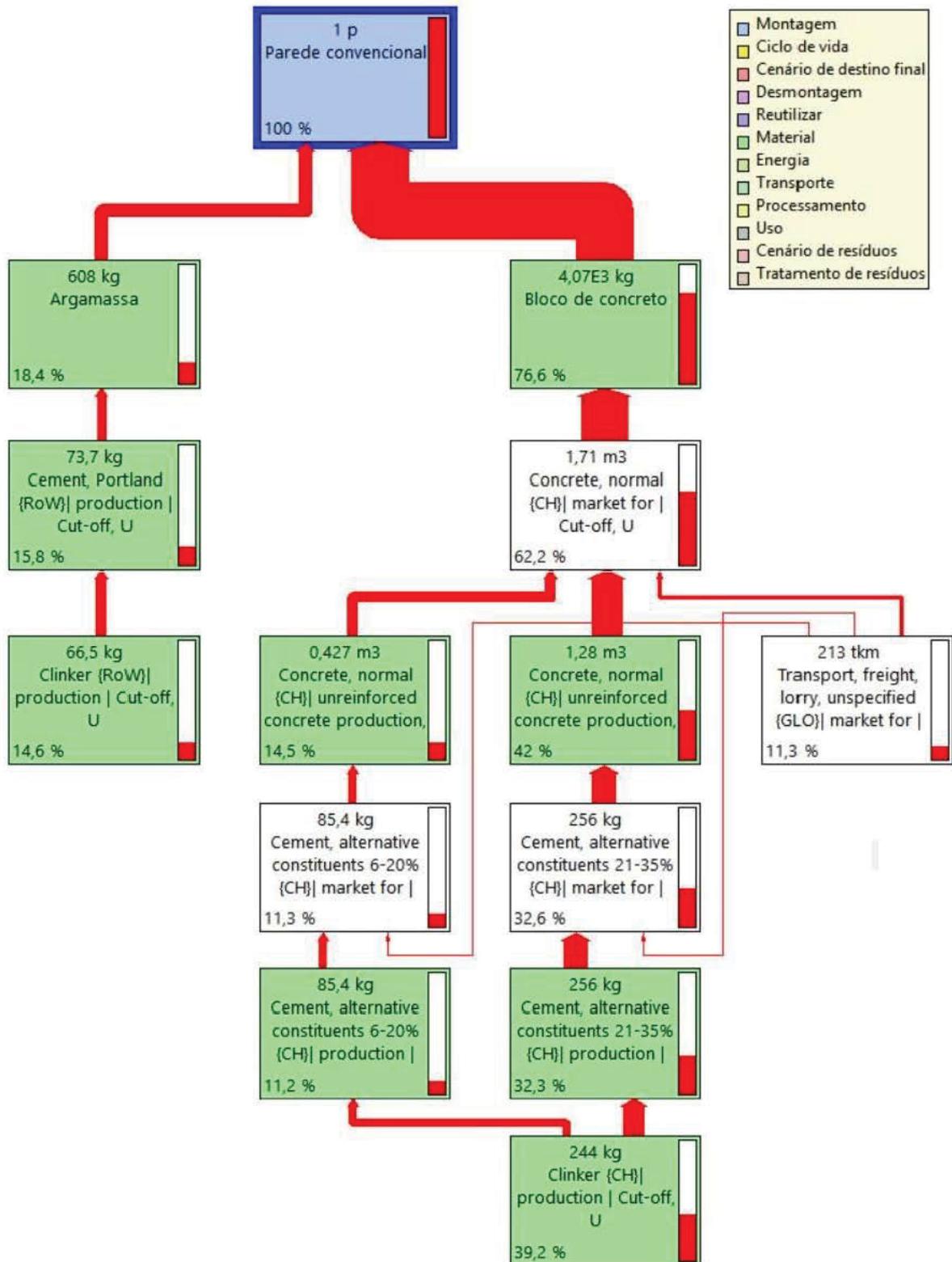


FONTE: A autora (2019).

Neste caso, o processo mais impactante foi do bloco de concreto, que também apresenta o maior valor de massa, e o aquecimento global foi o indicador mais significativo.

Para analisar dentro de cada processo quais os compostos que mais contribuem nos impactos ambientais gerados, o software gera a árvore do produto, apresentada na FIGURA 10.

FIGURA 10 – ÁRVORE DO PRODUTO PARA PAREDE EM ALVENARIA ESTRUTURAL.



FONTE: a autora (2019).

Conforme mostrado na FIGURA 10, os processos mais impactantes são principalmente o bloco de concreto e a argamassa, sendo estes também os materiais

com maior massa no inventário de materiais. Dento desses processos, os que mais contribuem para a geração dos impactos são o Cimento Portland, seu processo de produção, transporte e o clínquer, que aparece em ambos os processos como matéria-prima.

Em quase todas as fases de sua produção, o cimento gera impactos ao ambiente e à saúde. Na extração de matéria-prima, há a degradação do meio ambiente no entorno das áreas de mineração e emissão de material particulado. Na clínquerização, há uma forte emissão de dióxido de carbono (CO₂), que agrava o efeito estufa (MAURY e BLUMENSCHHEIN, 2012).

Na produção do cimento, há extração e beneficiamento de matérias-primas, principalmente argila e calcário. Este beneficiamento ocorre em fornos e resultam na formação do clínquer, que corresponde a maior parte da energia consumida e emissão de CO₂. A quantidade de clínquer varia conforme o tipo de cimento e das adições utilizadas (OLIVEIRA, 2015).

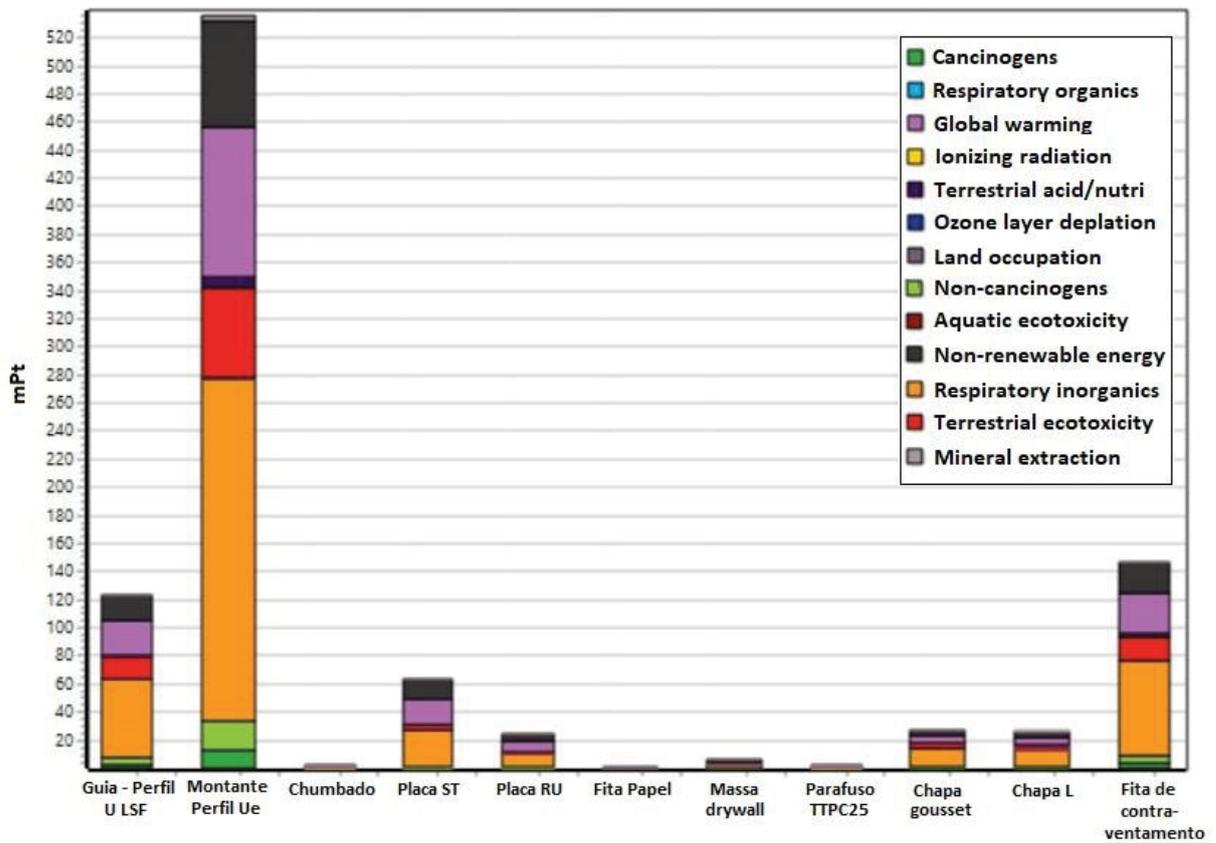
Também de acordo com Oliveira (2015), o transporte dos insumos até o centro consumidor também pode representar um impacto significativo, pois são feitos por meios de transporte que geram emissões de CO₂.

Oliveira (2015), avaliou o ciclo de vida de blocos de concreto, apontando a emissão de CO₂ como um dos principais impactos, principalmente relacionado ao consumo de cimento.

Campos (2012), que estudou a ACV em alvenaria de blocos de concreto, também encontrou resultados semelhantes, apontando a emissão de CO₂ como um impacto significativo, principalmente na etapa da clínquerização na fabricação de cimento, também atentando aos impactos da etapa de transporte.

Para analisar os impactos ambientais oriundos da parede interna em light steel frame, são apresentados os processos com maiores impactos, na FIGURA 11.

FIGURA 11 – IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS DA PAREDE DE LIGHT STEEL FRAME.

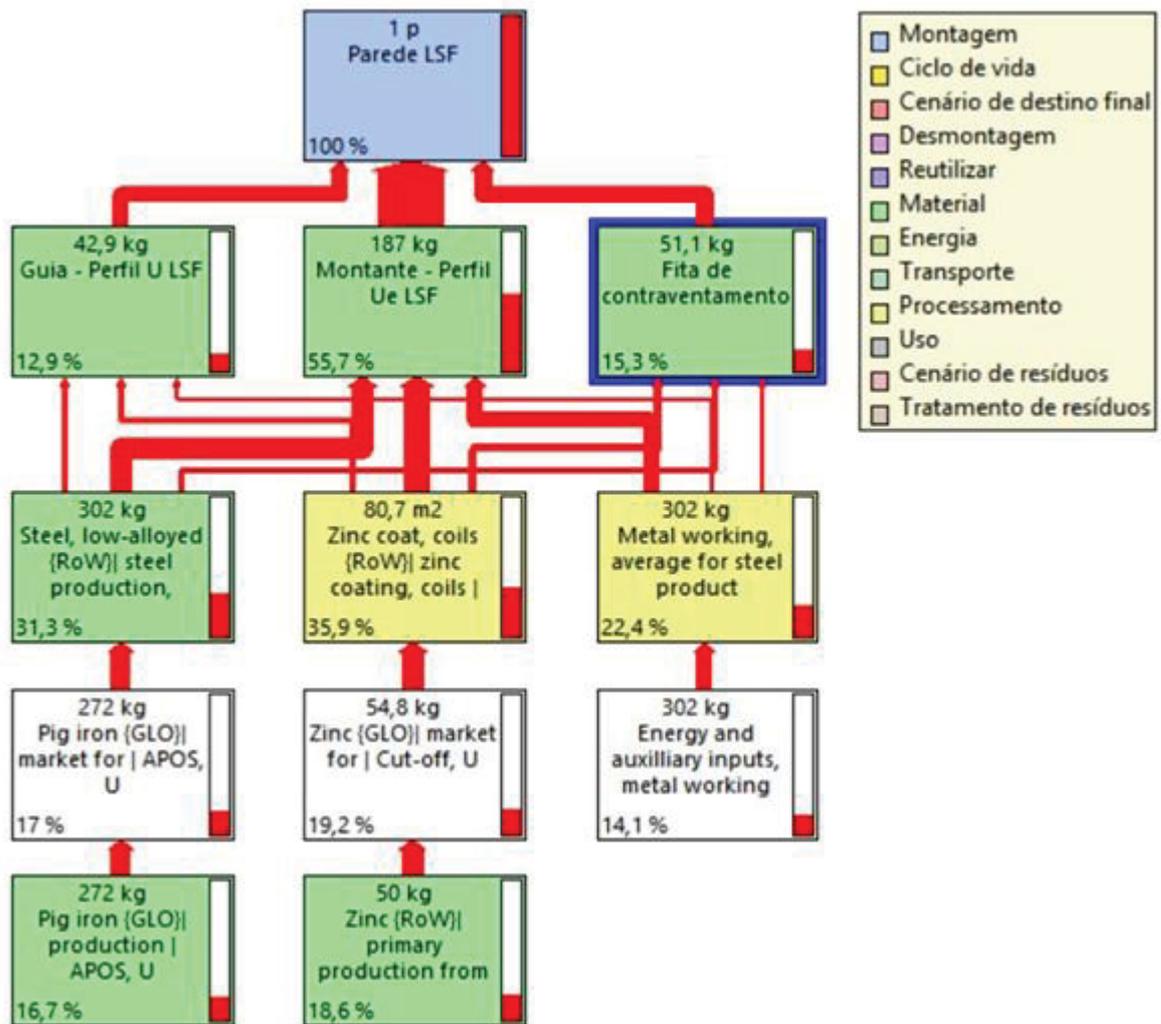


FONTE: A autora (2019).

Neste caso, os materiais compostos por aço tiveram resultados mais expressivos (montantes, guias e fitas de contra-ventamento), e o maior impacto foi com relação aos efeitos respiratórios de compostos inorgânicos.

Analisando os materiais presentes em cada processo, a FIGURA 12 traz a árvore do produto contendo os compostos que mais contribuem nos impactos ambientais gerados.

FIGURA 12 – ÁRVORE DO PRODUTO PARA PAREDE EM LIGHT STEEL FRAME.



FONTE: A autora (2019).

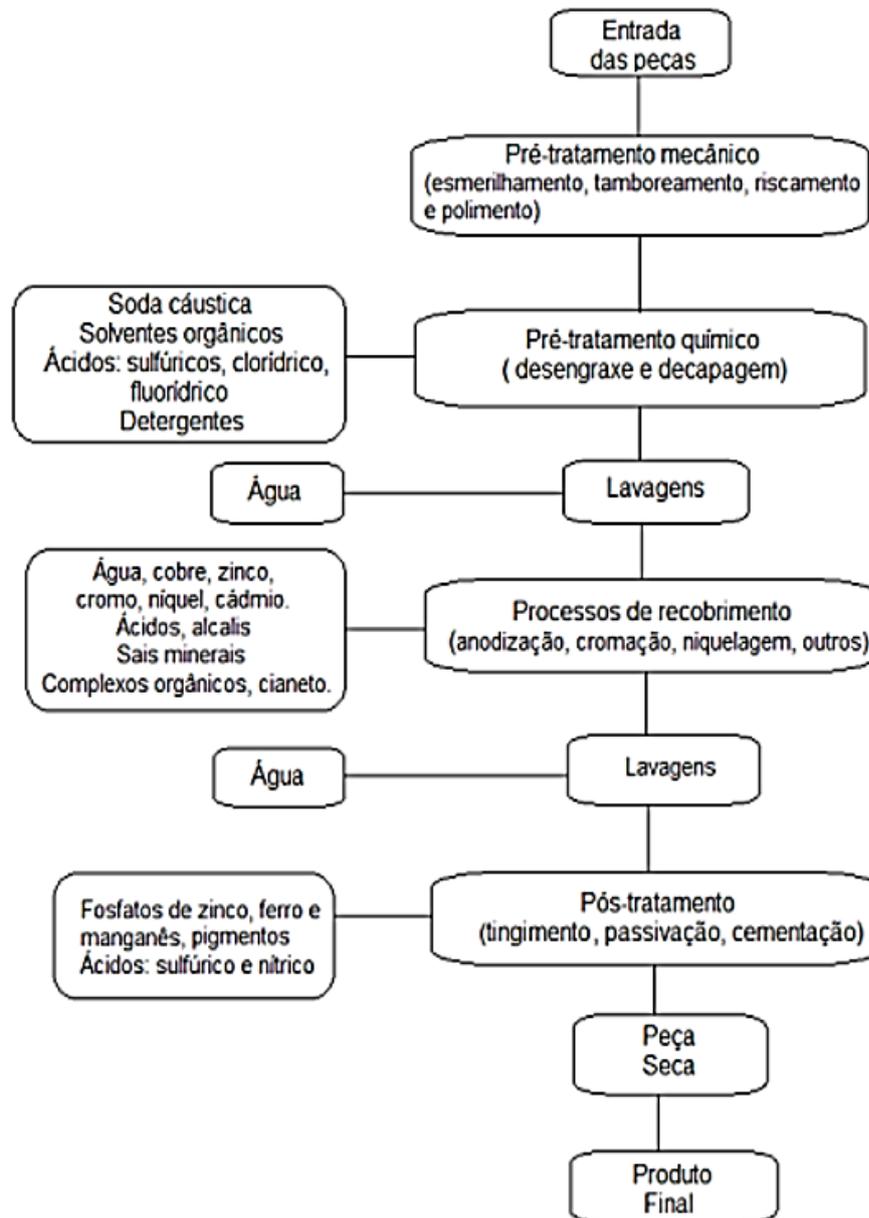
Conforme ilustra a figura, os três principais causadores dos impactos ambientais, considerando a parede interna em light steel frame, são os montantes, guias e as fitas de contraventamento. Ambos os materiais são de aço galvanizado, ou seja, são aço G275 revestidos com zinco, sendo este o maior contribuinte para os danos ambientais levantados. Além do zinco, a utilização de energia na galvanização e para a produção dos perfis também é um causador de impacto significativo.

O processo de galvanização causa uma série de impactos à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente relacionados aos metais pesados utilizados no processo, emissão de vapores tóxicos e efluentes, ao uso da água e de energia elétrica.

Conforme ilustra a FIGURA 13, os banhos de eletrólito no processo de galvanização são intercalados por banhos com água de lavagem, para a limpeza das

peças e para evitar o arraste de soluções eletrolíticas. O recobrimento metálico por imersão das peças é feito sob corrente contínua de baixa tensão de 5 a 6V (BARROS, 2016).

FIGURA 13 – ETAPAS DO PROCESSO GALVÂNICO.



FONTE: adaptado de TOCCHETTO (2004) *apud* BARROS (2016).

De acordo com Barros (2016), o impacto pelo uso de água ocorre de duas formas: aumento da escassez do insumo no meio ambiente e aumento na geração de efluentes perigosos, como ácidos e álcalis. Os impactos oriundos de emissões atmosféricas ocorrem devido ao uso de compostos orgânicos voláteis (VOC) e

material particulado fino. Relacionado ao uso de metais, a principal preocupação é com relação aos sais solúveis que permanecem no lodo resultante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil é um ramo de atividade essencial para a economia, geração de empregos e para a infraestrutura das cidades. Também é grande causador de impactos ao meio ambiente, em toda a sua cadeia produtiva, principalmente relacionados à emissão de CO₂, consumo de energia e utilização de recursos.

Pela sua importância e pelos altos impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana, deve-se buscar alternativas construtivas mais sustentáveis, gerando menos impactos. E isto deve ser pensado em todo o ciclo de vida da edificação: na extração da matéria prima, pois os recursos naturais utilizados são finitos, no transporte da matéria prima para beneficiamento, na fabricação dos insumos, no processo de montagem no canteiro de obras, buscando a otimização e racionalização, até no uso da edificação, pensando no conforto térmico dos seus usuários, que impacta no consumo de energia e também na facilidade de manutenção e durabilidade.

Também é primordial que os projetos sejam bem elaborados e compatibilizados, evitando-se o retrabalho no canteiro de obras, que gera maior consumo de recursos.

Devido a isso, deve-se analisar os métodos construtivos alternativos à alvenaria convencional, para constatar se são realmente mais sustentáveis. Para isto, uma das ferramentas existentes é a análise do ciclo de vida (ACV), que foi empregada neste trabalho para avaliar o ciclo de vida de paredes internas feitas em dois sistemas: alvenaria estrutural com blocos de concreto e light steel frame.

O objetivo do trabalho foi estabelecer uma comparação dos impactos ambientais da parede interna feita nesses dois sistemas. Para isto, fez-se um inventário de materiais e usou-se o software SimaPro, com a base de dados Ecoinvent e a metodologia de análise IMPACT 2002+ para a geração de resultados.

Com os resultados gerados, conclui-se que a parede interna em light steel frame apresenta impactos mais significativos se comparados à alvenaria estrutural. Para o LSF, os maiores impactos foram levantados na categoria de efeitos respiratórios de compostos inorgânicos, aquecimento global e energia não renovável,

principalmente gerados pelo processo de galvanização por zincagem a quente dos perfis de aço. Na alvenaria estrutural, os maiores impactos foram a contribuição para o aquecimento global, efeitos respiratórios de compostos inorgânicos e energia não renovável, principalmente gerados na produção do cimento, no processo de clínquerização.

Apesar do resultado mais negativo da parede interna em light steel frame, não se pode dizer que o sistema como um todo gera mais impactos, pois não foram consideradas etapas importantes como a fundação, paredes externas e cobertura.

Como no inventário de materiais, a parede em light steel frame apresentou massa 5,5 vezes menor que a massa da parede de alvenaria, a sua fundação poderá ser menos robusta, o que impacta diretamente no consumo de materiais.

Portanto, para resultados mais conclusivos, para trabalhos futuros, recomenda-se a análise de todo o processo construtivo.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas:

_____.NBR 6355. **Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização**. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

_____.NBR 15217. **Perfilados de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.

_____.NBR 15253. **Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações**. Rio de Janeiro, 2014.

_____.NBR 15575. **Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

_____.NBR 15961. **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2011.

BARROS, Sérgio Silveira. **Galvanoplastia: controle ambiental no Brasil e na Alemanha, suas bases legais e tecnológicas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cadernos CAIXA – Projeto padrão – Casas populares**. Vitória, 2006.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria de blocos de concreto.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

CARMINATTI, Riberto. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

CASSAR, Bernardo Camargo. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: alvenaria convencional X light steel frame.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

HASS, Deleine Christina Gessi; MARTINS, Louise Floriano. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo steel frame como método construtivo para habitações sociais.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

KAMIYA, Tiago Yuiti. **Avaliação do desempenho financeiro- ambiental de peças produzidas em PLA e PETG por meio da tecnologia de modelagem por fusão e deposição (FMD).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

KLEIN, Bruno Gustavo; MARONEZI, Vinícius. **Comparativo orçamentário dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e light steel frame para construção de conjuntos habitacionais.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

MASO, Julio Berton. **Análise comparativa entre o sistema construtivo light steel framing e alvenaria estrutural.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2017.

MASS, Bárbara Holzmann. **Resíduos de construção civil na obra de uma edificação e seus impactos: estudo de caso de uma residência em light steel framing e simulação de uma em alvenaria.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHHEIN, Raquel Novaes. **Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente.** Sustentabilidade em debate – Brasília – V. 3, n. 1, p. 75-96. Jan/jun 2012.

OLIVEIRA, Lidiane Santana. **Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

PENNA, Fernando Cesar Firpe. **Análise da viabilidade econômica do sistema light steel framing na execução de habitações de interesse social: uma abordagem pragmática.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

PLACO. **Guia Placo de soluções construtivas 2014**. Disponível em:
https://www.placo.com.br/sites/gypsum.eeap.placo.br/files/content/files/guia_placo.pdf.1111

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia; PEREIRA, Sibeli Warmling.
Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. Coletânea Habitare –
Vol. 7 – Construção e meio ambiente. Páginas: 96 a 127, 2006.