

**UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Flávia Motta Corvello**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM ELEMENTO DE  
VEDAÇÃO SEGUNDO OS CONCEITOS DO LEAN CONSTRUCTION E  
DO DESIGN FOR DECONSTRUCTION**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. José Luís Garcia Hermosilla  
Orientador

Prof.<sup>a</sup> Dra. Creusa Sayuri Tahara Amaral  
Coorientadora

Araraquara, SP – Brasil  
2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

C862p Corvello, Flávia Motta

Projeto e desenvolvimento de um elemento de vedação segundo os Conceitos do Lean Construction e do Design for Deconstruction/Flávia Motta Corvello. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2021. 64f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara - UNIARA

Orientador: Prof. Dr. José Luís Garcia Hermosilla

Coorientador: Profa. Dra. Creusa Sayuri Tahara Amaral

1. Construção enxuta. 2. PDP. 3. Pré-fabricação. 4. Construção de pequeno porte. 5. PFD. I. Título.

CDU 62-1

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CORVELLO, F. M. **Projeto de um elemento de vedação segundo os conceitos do *Lean Construction* e do *Design for Deconstruction***. 2020. f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

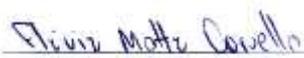
## ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Flávia Motta Corvello

TÍTULO DO TRABALHO: Projeto e Desenvolvimento de um elemento de vedação segundo os conceitos *do Lean Construction* e do *Design for Deconstruction*

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação /2020

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede a Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



---

**Flávia Motta Corvello**

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

E-mail (do autor): fmcorvello@uniara.edu.br



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

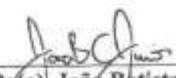
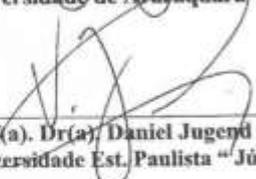
Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

NOME DO AUTOR: FLÁVIA MOTTA CORVELLO

TÍTULO DO TRABALHO:

**"PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM ELEMENTO DE VEDAÇÃO SEGUNDO OS CONCEITOS DO LEAN CONSTRUCTION E DO DESIGN FOR DECONSTRUCTION."**

Assinatura do(a) Examinador(a)	Conceito
 _____ Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Hermosilla (orientador(a)) Universidade de Araraquara - UNIARA	(X) Aprovado ( ) Reprovado
 _____ Prof(a). Dr(a). João Batista Camargo Junior Universidade de Araraquara - UNIARA	(X) Aprovado ( ) Reprovado
 _____ Prof(a). Dr(a). Daniel Jugend Universidade Est. Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP	(X) Aprovado ( ) Reprovado

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 09/02/2021

  
\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Hermosilla (orientador(a))

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso aqui a minha gratidão a todos os que me apoiaram nesta conquista: aos meus pais, por me oferecerem estrutura para esta jornada; aos meus amigos, por estarem sempre por perto; aos docentes, por compartilharem conhecimento, bagagem e tempo e aos demais funcionários da instituição que tornaram esta jornada satisfatória.

Em especial, agradeço ao meu orientador, José Luís Garcia Hermosilla, por ter me orientado, me acompanhado e me motivado durante todo o programa, e por acreditar neste projeto inovador, enfrentando comigo todos os obstáculos que puderam aparecer ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sempre disposto a ensinar e a aprender, mostrou-se o maior responsável pela concretização de uma ideia que, a princípio, seria “absurda”.

Finalmente, agradeço à equipe deste trabalho e aos profissionais envolvidos que colaboraram para o desenvolvimento deste projeto.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.” (Albert Einstein)

## RESUMO

Os conceitos e práticas do *Lean Construction* (LC), inspirados na filosofia *Lean Production*, tem como propósito reduzir os custos e desperdícios no âmbito da construção civil. Sua evolução pode ser dividida em três fases, de acordo com seu foco e maturidade. Dentre as práticas em alta na atualidade, destaca-se a pré-fabricação e o *Design for Deconstruction* (DfD). O objetivo da pesquisa é projetar e desenvolver um produto para a construção civil, com função de vedação, pré-fabricado e desmontável, que atenda aos princípios do *Lean Construction* e do *Design for Deconstruction* que possa ser utilizado em construções de pequeno porte. Trata-se de uma pesquisa prescritiva, que utiliza como metodologia de pesquisa a *Design Science Research* (DSR) para o desenvolvimento de um produto que solucione alguns dos problemas apresentados na construção civil. O estudo descreve as práticas e etapas do Projeto e Desenvolvimento do Produto (PDP) por meio do método *Design Thinking* (DT), apoiadas pela revisão bibliográfica e opiniões de especialistas da área. A obtenção de um produto inovador, possibilitada por este trabalho, poderá contribuir para a execução de construções de pequeno porte, através da utilização de um bloco de vedação pré-fabricado, garantindo menor tempo de obra, redução de custos e de desperdícios, com menor impacto sobre o meio ambiente. Os consequentes benefícios deste produto são capazes de proporcionar melhorias de diversas naturezas: o impacto social dá-se pela possibilidade na aquisição de residências de qualidade e baixo custo por parte das classes sociais mais baixas, e pela disponibilidade rápida de habitação às populações vulneráveis; por outro lado, a redução de refugos e desperdícios na construção civil são aspectos favoráveis ao meio ambiente e ao próprio custo das obras, além da funcionalidade de reutilização. A concretização de um protótipo com os requisitos determinados para o produto de acordo com o DT, é um marco importante no processo de desenvolvimento do artefato, que aproxima o resultado da pesquisa, de uma solução mais efetiva às questões habitacionais da população.

**Palavras-chave:** Construção enxuta. PDP. Pré-fabricação. Construção de pequeno porte. DfD.

## ABSTRACT

*The concepts and practices of Lean Construction (LC), inspired by the Lean Production philosophy, aim to reduce costs and waste in the scope of civil construction. Its evolution can be divided into three phases, according to its focus and maturity. Among the practices on the rise today, prefabrication and Design for Deconstruction (DfD) stand out. The objective of this research is to design and develop a product for civil construction with filling and sealing, prefabricated and dismountable functions, that meets the principles of Lean Construction and Design for Deconstruction that can be used in small constructions. This is a prescriptive research, which uses as a research methodology the Design Science Research (DSR) for the development of a product that solves some of the problems presented in civil construction. The study describes the practices and stages of Product Design and Development (PDD) through the Design Thinking (DT) method, supported by the literature review and opinions of experts in the field. Obtaining an innovative product, made possible by this work, can contribute to the execution of small buildings, using a prefabricated sealing block, ensuring shorter construction time, cost reduction and waste, with less impact on the environment. The consequent benefits of this product are capable to provide improvements of various natures: the social impact is due to the possibility in the acquisition of quality and low-cost homes by the lower social classes, and the rapid availability of housing to vulnerable populations; on the other hand, the reduction of scrap and waste in civil construction are aspects favorable to the environment and the cost of the works themselves, in addition to the reuse functionality. The implementation of a prototype with the requirements determined for the product according to the DT, enhanced the ability to perform works with the proposed product, which will be possible after the results of the tests.*

**Keywords:** *Lean Construction. PDD. Prefabrication. Small Building. DfD.*

## Lista de Figuras

Figura 1- Processo do <i>Design Thinking</i> e atitudes necessárias para seu sucesso.....	18
Figura 2 - Cronologia do processo evolutivo do <i>Lean Construction</i> . ....	21
Figura 3 – Comparativo entre DSR e DT. ....	24
Figura 4 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa .....	26
Figura 5 – Fase de Exploração do Processo do <i>Design Thinking</i> .....	30
Figura 6 - Prisma <i>Workflow</i> .....	32
Figura 7 - Desvantagens levantadas nos quatro grupos de modelos construtivos obtidos nos artigos analisados.....	33
Figura 8 - Etapa Ideação do processo do <i>Design Thinking</i> . ....	35
Figura 9 – <i>Brainstorming</i> .....	36
Figura 10 - Prototipação 2D. ....	37
Figura 11 - Diagrama de Venn: As Três Lentes do Design Thinking.....	39
Figura 12 - Ideia 1. ....	41
Figura 13 - Ideia 2. ....	42
Figura 14 - Ideia 3. ....	43
Figura 15 - Ideia 4. ....	44
Figura 16 - Ideia 5. ....	45
Figura 17 - Ideia 6. ....	46
Figura 18 - Ideia 7. ....	47
Figura 19 - Ideia selecionada para a etapa de testes e prototipação 3D. ....	48
Figura 20 – Etapa Teste e Prototipação do Processo do <i>Design Thinking</i> . ....	49
Figura 21 - Protótipo da ideia selecionada. ....	50
Figura 22 - Alterações sugeridas após análise do primeiro protótipo. ....	51
Figura 23 - Desenho com as novas alterações propostas. ....	52
Figura 24 - Montagem do protótipo impresso em 3D. ....	52
Figura 25 - Parede montada com o bloco proposto. ....	55

## **Lista de Quadros**

Quadro 1- Etapas da <i>Design Science Research</i> .....	23
Quadro 2 - Matriz de Seleção de Ideias.....	40

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BIM – *Building Information Modeling*

DfD – *Design for Deconstruction*

DfMA - *Design for Manufacture and Assembly*

DSR – *Design Science Research*

DT – *Design Thinking*

LC – *Lean Construction*

P&S – *Planning and Scheduling*

STP – Sistema Toyota de Produção

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	Contextualização e problemática .....	11
1.2	Questão da Pesquisa .....	12
1.3	Objetivo .....	13
1.4	Justificativa .....	13
1.5	Aspectos Metodológicos.....	14
1.6	Estrutura do Texto .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	<i>Lean Construction e DfD</i> : definições, sua evolução e a fase da pré-fabricação .....	15
2.2	<i>Design Thinking</i> .....	17
2.3	Produtos pré-fabricados existentes e seus problemas e limitações.....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
3.1	Classificação Metodológica da Pesquisa .....	22
3.2	Procedimentos Operacionais .....	22
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....</b>	<b>27</b>
4.1	Etapas 1 e 2 da DSR: Identificação e Conscientização do Problema .....	28
4.2	Etapa 3 da DSR: Revisão da Literatura .....	30
4.3	Etapa 4 da DSR: Identificação dos artefatos e configuração da classe de problemas ..	32
4.4	Etapas 5 e 6 da DSR: Proposição de artefatos para resolver o problema específico e Projeto do selecionado.....	35
4.5	Etapas 7 e 8 da DSR: prototipação 3D e testes do produto .....	48
4.6	Etapa 9 da DSR: características diferenciais do produto.....	54
4.7	Etapa 10 da DSR: prós e contras do produto .....	55
4.8	Etapa 11 da DSR: uma solução para determinados problemas na construção civil de pequeno porte .....	56
4.9	Etapa 12 da DSR: comunicação dos resultados.....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e problemática

A crise do petróleo, em 1973, marcou o fim de uma trajetória de expansão do mercado consumidor global, que em função da elevação dos preços das *commodities*, em especial do petróleo, passou a sofrer os reflexos da restrição de recursos e do esgotamento do modelo produtivo americano vigente à época, baseado na produção em larga escala e na baixa flexibilidade. Neste novo cenário, a redução dos desperdícios e um maior alinhamento entre produção e mercado passaram a ser o foco dos novos processos de gestão, o que conferiu grande notoriedade ao chamado Sistema Toyota de Produção (STP), segundo Ohno (1982).

A “eliminação completa de práticas de desperdício é o conceito básico do Sistema Toyota de Produção”, de acordo com Ohno (OHNO, 1982. p.87), e foi com base neste conceito que em 1987, o líder de equipe John Krafcik, do segmento da indústria automobilística, decidiu denominá-lo de *Lean*, como referência aos princípios de redução dos esforços humanos, defeitos, tempo e investimento, que passaram a marcar a gestão da produção à época (WOMACK, 2013), entretanto, a nova filosofia só foi difundida pelo mundo após a publicação do artigo “*Triumph of the Lean Production System*” em 1988 de autoria de John F. Krafcik.

Esta preocupação, apesar de ter se originado na indústria automobilística, também influenciou outros processos produtivos, como foi o caso da indústria da construção civil, ambiente onde se desenvolveu esta pesquisa, dando origem ao *Lean Construction* (LC) que, segundo Koskela (1992), surgia um novo método de gestão para a área da construção civil que tem como fundamento a transformação de todo o processo construtivo em um fluxo, englobando tanto as atividades de conversão (atividades que agregam valor), quanto às atividades que geram desperdícios (como tempo de espera e movimentação), enquanto, tradicionalmente, a construção civil considerava apenas as atividades de conversão em sua gestão.

Apesar dos ganhos proporcionados pela filosofia *Lean Construction*, ainda são muitas as perdas presentes nos processos de produção da construção civil, com destaque para a alvenaria tradicional, que segundo Pinho e Lordsleem Jr. (2009), na etapa de fechamento, as perdas de tijolos cerâmicos atingem uma média de até 17% dos blocos, enquanto a argamassa utilizada neste método pode atingir até 115% de desperdício, em média. Essa etapa da construção, considerada uma das mais críticas do ponto de vista de seus desperdícios, tem sido investigada por diversos estudiosos e tem levado ao desenvolvimento de novos processos de produção, com o intuito de mitigar suas perdas associadas como é o caso dos processos de pré-

fabricação, que segundo Li et al. (2018) é uma preocupação que surgiu na terceira etapa de desenvolvimento da filosofia *Lean Construction*, a partir de 2012.

No entanto, estes estudos ainda são recentes e não apresentam soluções (produto pré-fabricado) consistentes para os problemas indicados (desperdícios) nas etapas de estrutura, fechamento e acabamento do processo de construção. Além disso, os produtos pré-fabricados já existentes são feitos sob encomenda, devem ser montados por mão-de-obra especializada e a maioria depende de equipamentos específicos e de alto custo para sua montagem e transporte devido as suas características dimensionais (SULZBACH, 2015; NAVARATNAM et al, 2019), inviabilizando sua utilização em obras residenciais de baixo custo. Outra característica dos métodos existentes é sua limitada capacidade de reaproveitamento dos materiais utilizados nas obras com o fim do ciclo de vida da construção, na etapa de demolição, o que aumenta o impacto ambiental provocado pelo descarte de seus resíduos; impacto que seria reduzido com materiais desmontáveis, como propostos pelo DfD (*Design for Deconstruction*), porém ainda pouco explorado pelos métodos construtivos atuais (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; JAILLON; POON, 2014).

A busca por soluções que reduzam os desperdícios e resíduos na construção civil, e em especial nas construções de pequeno porte, além dos ganhos ambientais, promove a redução dos custos e amplia o acesso à moradia por parte das classes sociais de mais baixa renda (CARVAJAL-ARANJO et al., 2019) e podem também contribuir para a melhoria das ações de assistência humanitária às populações em estado de vulnerabilidade ao redor do mundo como os refugiados e imigrantes que sofrem com a falta de moradia (ONU, 2020).

Porém, um aspecto importante a destacar neste contexto de desenvolvimento de novos produtos é o fato de que muitos produtos podem não ter sido lançados, ou podem ter fracassado na etapa de lançamento, já que a probabilidade de fracasso é substancial: apenas um em cada sete produtos obtém sucesso após seu lançamento (COOPER, 2013).

Dois ingredientes importantes que também devem ser citados nesta discussão são a barreira cultural enfrentada pelos produtos pré-fabricados sugeridos para a construção civil, por parte do mercado consumidor, e a defasagem no ensino das práticas de pré-fabricação por parte das universidades e instituições (NAVARATNAM et al., 2019).

## **1.2 Questão da Pesquisa**

Considerando os conceitos do *Lean Construction*, as perdas associadas às principais etapas da construção civil de alvenaria e a pouca profusão sobre o tema, a questão desse trabalho é qual produto pode ser desenvolvido, segundo a tecnologia da pré-fabricação, que atenda aos

princípios do *Lean Construction* e do DfD e que tenha as funções de vedação, pré-fabricado e desmontável para ser utilizado em construções de pequeno porte?

### 1.3 Objetivo

O objetivo da pesquisa é projetar e desenvolver um produto para a construção civil, com função de vedação, pré-fabricado e desmontável, que atenda aos princípios do *Lean Construction* e do *Design for Deconstruction* que possa ser utilizado em construções de pequeno porte.

### 1.4 Justificativa

Pré-fabricar produtos tende a tornar o processo construtivo mais eficiente, e quando utilizados nas etapas de maior custo da obra, promove a redução das perdas da construção como um todo, desta forma, a engenharia de produção tem contribuído para o desenvolvimento de novos métodos de produção de pré-fabricação, e seu uso pode proporcionar uma redução de até 15% no tempo da obra (LI et al., 2018; BAMANA; LEHOUX;CLOUTIER, 2019), porém, os produtos pré-fabricados existentes ainda apresentam limitações que inviabilizam seu uso em algumas construções, como as de pequeno porte.

Além disso, o processo de pré-fabricação tem se provado sustentável, já que garante a redução de desperdício de matéria-prima e emissão de gases (NAVARATNAM et al., 2019), o que incentiva o estudo em busca de um produto pré-fabricado que se adequa às menores construções.

O desenvolvimento de produtos com *design* que prolonguem o ciclo de vida dos elementos construtivos, pela possibilidade de reutilização, é apontado como uma das soluções para este cenário, pois reduzem os custos das construções e aliviam a sobre carga do sistema com a menor necessidade de recursos e menor geração de resíduos na eventual etapa de demolição, além de reduzir o descarte de materiais não-renováveis (IACOVIDOU; PURNELL, 2016).

O uso de um modelo de referência para o projeto do produto é uma decisão importante para garantir o atendimento às necessidades dos diversos envolvidos com o produto, o que é feito através das considerações prévias do cliente final, assegurando sua ergonomia e maneabilidade, além de auxiliar na ágil condução do PDP desde a identificação do problema até a fase de testes (COOPER, 2013), a fim de que o artefato seja capaz de preencher lacunas ainda existentes neste setor, considerando todas as especificações técnicas e pré-requisitos exigidos.

## 1.5 Aspectos Metodológicos

Trata-se de um trabalho qualitativo, de objetivo prescritivo e que usará como fontes de dados literatura científica e técnica, opinião de especialistas da área, como engenheiros civis e de produção, e também observação e experimentação, com a finalidade de desenvolver um produto que aumente a eficiência do processo produtivo em construções civis de pequeno porte, especificamente na etapa de alvenaria. De natureza aplicada, o trabalho utilizará como método de pesquisa a *Design Science Research*, seguindo seus elementos essenciais como apresentado por Dresch, Lacerda e Miguel (2015).

Desta forma, os procedimentos operacionais serão apresentados na seguinte sequência:

- Definição do problema: através de levantamento bibliográfico sobre pré-fabricação para a área de alvenaria e suas limitações ou falta de opção para o caso de alvenaria residencial;
- Solução para o problema: geração de ideias pela técnica *brainstorming* e seleção das alternativas;
- Desenvolvimento do produto: análise das alternativas e desenvolvimento do protótipo com utilização de ferramenta específica para processo e desenvolvimento de produto, considerando as Normas da ABNT para Construção Civil;
- Avaliação: levantamento das características e atribuições técnicas do elemento estrutural desenvolvido e teste do protótipo;
- Agregação de valor: especificação das características diferenciais do produto;
- Comunicação: apresentação do produto.

## 1.6 Estrutura do Texto

A pesquisa está dividida em seis seções: a primeira é composta pela introdução, que contempla a problemática, o objetivo e a justificativa; a segunda consiste na revisão bibliográfica, subdividida em três subseções, sendo o referencial teórico sobre a pré-fabricação dentro do contexto do *Lean Construction*, sobre a ferramenta que será usada para o desenvolvimento do Produto (*Design Thinking*), e por último a revisão da literatura sobre os produtos existentes para fins construtivos e suas limitações. A terceira seção refere-se a metodologia da pesquisa, apresentando sua classificação e os procedimentos operacionais adotados na investigação. A quarta seção consiste no processo de desenvolvimento do produto, enquanto a quinta seção contém as conclusões e considerações finais, seguida pelas referências.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 *Lean Construction e DfD*: definições, sua evolução e a fase da pré-fabricação

Identificar a necessidade de uma nova forma de gestão para a construção civil foi o primeiro passo dado por Koskela (1992) rumo à redução das perdas e desperdícios no setor.

Segundo Li et al. (2018), a filosofia *Lean Construction*, concebida oficialmente com este nome em 1997, tem se desenvolvido ao longo dos últimos 20 anos em etapas, com preocupações diferentes: a primeira (1997-2006) voltou-se ao gerenciamento de custos, sustentabilidade, controle e gestão de qualidade; a segunda (2007-2011) teve como foco o P&S (*Planning and Scheduling*), fluxo de trabalho e a gestão da cadeia de suprimentos, e a terceira (2012-2016) voltou-se aos processos de pré-fabricação, BIM (*Building Information Model*), P&S e a gestão de valor.

A literatura especializada mostra que as características deste último período ainda estão vigentes atualmente. A pré-fabricação (*on-site e off-site*) e o BIM são considerados, atualmente, as duas principais ferramentas para a melhoria na construção civil. O BIM pela sua evolução e integração tecnológica, e a pré-fabricação por alcançar desperdício zero em canteiros de obra, diminuir o tempo de construção e reduzir o impacto ao meio ambiente (LI et al., 2018; BAIJOU; CHAFI; ENNADI, 2019; BABALOLA; IBEM; EZEMA, 2019; CARVAJAL-ARANGO et al., 2019; SOLAIMANI; SEDIGHI, 2019; ANTILLÓN; MORRIS; GREGOR, 2014; JIN et al., 2018).

A preocupação com o meio ambiente também é outro aspecto recorrente nas pesquisas envolvendo a pré-fabricação no contexto do *Lean Construction*, por se tratar de uma alternativa que se apresenta como viável dentro de determinadas circunstâncias para mitigar os impactos das atividades da construção civil sobre o meio. Dentre os principais impactos que a atividade civil provoca, destacam-se todos os materiais não-renováveis que são utilizados nas construções e reformas, retirados do meio ambiente e que não podem ser renovados, situação essa agravada em muitos casos pela transformação destes materiais em lixo e resíduos da obra, acumulados durante as fases da construção, com perdas intensificadas pela mão-de-obra desqualificada existente na construção tradicional. Essas perdas são ainda mais potencializadas em outras etapas da obra como eventuais processos de reforma, onde parte destes materiais são descartados, além das demais perdas de recursos para o reprocessamento de atividades que já haviam sido finalizadas, e de forma mais intensa nos processos de demolição, onde todo este material não-renovável é perdido (POLAT et al., 2017).

Uma alternativa que se apresenta a esse desafio é a reutilização destes materiais para promover a sustentabilidade no setor da construção, no entanto, para que essa alternativa seja viável ela deveria ser precedida de programas de incentivo e treinamento, e que contasse com materiais que apresentassem condições apropriadas que permitissem sua remanufatura, fato que é defendido por Iacovidou e Purnell (2016), que propõem uma ferramenta para gerenciar esta reutilização. Iacovidou e Purnell (2016) também apontam como alternativa e solução para o meio ambiente modelos construtivos que possuam um *design* reutilizável (recebem o nome de *Design for Deconstruction* ou *Design for Reuse*), o que reduziria a utilização de recursos não-renováveis e tornaria o processo da construção mais sustentável; o *design* de modelos voltados ao reuso ou desmontagem também poderia ser a solução para os problemas ambientais relacionados à demolição de obras, com o fim do ciclo de vida desses recursos e a necessidade de aterros para o descarte do entulho. Entretanto, este *design* está disponível apenas para alguns itens da construção, o que impossibilita a desmontagem integral das obras para a reutilização das peças.

Por outro lado, a preocupação com a grande quantidade de emissão de carbono durante as diversas etapas do processo de construção tem ganhado força. Os elevados níveis de emissão de carbono produzidos nos processos de construção e de demolição tem se tornado um dos maiores problemas e limitantes do segmento da construção civil, para o desenvolvimento sustentável do negócio. Este fato é explicado em grande parte pelo uso intensivo de máquinas durante todo o ciclo de vida da construção, desde a produção dos elementos e itens básicos para a construção, com destaque para o processo exotérmico do concreto, o transporte das matérias-primas e dos produtos acabados, até uma eventual etapa de demolição. A utilização de alguns métodos de pré-fabricação pode realmente reduzir a produção de resíduos no canteiro de obra na etapa da construção ou montagem, mas a necessidade de adaptação dos métodos para construção de baixo carbono ainda existe, já que estes processos não estão livres das máquinas para montagem e transporte (KESIDOU; SORRELL, 2018).

Baseada nos conceitos e problemas apresentados, esta pesquisa tem como intenção idealizar um bloco para a construção civil que contribua para solucionar tais problemas, seja pré-fabricado e reutilizável, seguindo as normas da ABNT para a construção civil e que se difira dos produtos já disponíveis no mercado, como será apresentado nas próximas seções.

## 2.2 *Design Thinking*

Esta seção tem por objetivo detalhar a técnica de desenvolvimento de produto que será utilizada para o desenvolvimento do elemento de vedação proposto. O *Design Thinking* é uma técnica utilizada para desenvolvimento de produto que apesar de suas semelhanças a outras, tem como característica principal maior agilidade e flexibilidade em sua dinâmica de desenvolvimento, promovendo assim ganhos em termos de tempo e rapidez no processo (KLOECKNER, 2018).

Jiao e Zhang (2015, p. 1591) definiram o *Design Thinking* como “o processo de transformar a análise racional e percebida dos gerentes, juntamente com técnico, comercial, cultural e muitos outros fatores, em valor para o cliente e oportunidades de mercado”. Com base nessa definição e apoiado nos pilares inicialmente defendidos por Tim Brown (2008) – empatia, pensamento integrativo, otimismo, experimentalismo e colaboração – o processo do *Design Thinking* foi o método considerado adequado e mais ágil para a solução do problema apresentado.

Dentre as variações dos processos para a execução do *Design Thinking*, optou-se pelo processo sugerido por Kloeckner (2018), por apresentar etapas bem definidas e por ter sua operacionalização baseada na Engenharia de Produção, enquanto os demais processos derivam de outras áreas.

O processo de Kloeckner (2018) é um processo iterativo composto por três grandes etapas:

1. A primeira grande fase é chamada de Inspiração e subdivide-se em duas outras etapas: inicialmente, na etapa de exploração, explora-se um problema previamente conhecido por meio de algumas ferramentas, tais como, observação, mapa de *stakeholders*, entrevistas, 5 fatores humanos (físico, cognitivo, social, cultural e emocional associados às pessoas relacionadas ao problema) e pesquisas secundárias, que é a obtenção de informações a respeito do contexto através de artigos, livros e relatórios. A amplitude desta busca levanta elementos que permitirão identificar a raiz do problema na segunda parte da Inspiração, chamada de etapa de Geração de *Insights*, a qual tem como objetivo fazer uma ligação entre os resultados da etapa anterior para identificar uma oportunidade para solucionar o problema em questão; para isto, são propostas algumas ferramentas que podem ser utilizadas de acordo com o problema em questão como: Persona, Matriz de Tendências, Mapa da Jornada e “5 por quês?”.

2. A segunda grande fase é chamada de Ideação, também subdividida em duas etapas, e é responsável pela criação e gerenciamento das ideias. Na primeira parte, Geração de Ideias, são geradas as ideias que podem ser utilizadas para a solução desses problemas, todas as possíveis ideias, inicialmente sem filtros ou conceitos técnicos, sem julgamentos e críticas; nesta fase podem ser utilizadas ferramentas como *Brainstorming* e Prototipação 2D. Com uma relação de todas as ideias obtidas na primeira fase, a etapa de Refinamento de Ideias tem como objetivo o refinamento destas ideias - algumas ferramentas são sugeridas para a execução da etapa, tais como Matriz de Agrupamento de Conceitos, Conexões Forçadas e *Storyboard*. Após o refinamento, são criados critérios de seleção para as ideias restantes, com o intuito de eleger a melhor solução para o problema, para isto são usadas ferramentas como “As três lentes do *Design Thinking*”, “Diagrama de Venn”, “Matriz de Seleção de Ideias” e “Canvas”.

3. A terceira e última fase é denominada Teste e Prototipação, e tem como objetivo a concretização das ideias, ou seja, com base na melhor ideia eleita na fase anterior, são criados os mais simples protótipos e neles feitos testes, repetidos e aperfeiçoados conforme críticas e resultados. O processo todo é iterativo, o que permite que as etapas anteriores sejam reanalisadas o tempo todo.

A figura 1 apresenta o processo de Kloeckner (2018) utilizado neste trabalho, na qual é possível notar as setas cíclicas que indicam a iteratividade do processo e diferença das extremidades das fases, que indicam a amplitude de conteúdo em cada etapa.

Figura 1- Processo do Design Thinking e atitudes necessárias para seu sucesso.



Fonte: Kloeckner (2018).

### 2.3 Produtos pré-fabricados existentes e seus problemas e limitações

A literatura especializada recente apresenta 4 principais métodos de construções pré-fabricadas, que se diferem quanto as atividades de montagens, limitações e benefícios proporcionados.

A construção em painéis e madeira é um dos processos pré-fabricados citados, que possui como característica a versatilidade, já que consegue adaptar-se aos diferentes *designs* de construção. A evolução desta técnica construtiva permitiu a substituição da atividade de construção pela de montagem, o que tende a reduzir o tempo de obra e seus custos, além de permitir sua desmontagem e a reutilização dos produtos. Em contrapartida, a construção em painéis e madeira tem limitações quanto à fragilidade e a resistência, o que restringe sua aceitação. Outra desvantagem é a exigência de mão-de-obra qualificada para sua montagem (BHATTACHARJEE; PISHDAD-BOZORGI; GANAPATHY, 2016; SORIANO et al., 2014; BAMANA; LEHOUX; CLOUTIER, 2019).

A construção pré-fabricada em concreto é outro processo que pode ser realizado no local da obra (*on-site*) ou na indústria (*off-site*). Por assemelhar-se muito à construção tradicional, este tipo de pré-fabricação tem melhor aceitação pelo mercado, se comparado aos demais, uma vez que utiliza material com as mesmas características de resistência e recomendações técnicas que das grandes obras tradicionais. O uso desta técnica reduz o desperdício e o tempo para execução da obra, e aumenta a produtividade dos processos de construção. Em contrapartida, os materiais utilizados na execução da obra são de difícil locomoção, necessitando de condições especiais para o transporte e construção, aumentando os custos da obra, de forma a inviabilizar este processo para construções de pequeno porte (LI et al., 2020; SHAHPARI et al., 2020; TAM et al., 2015; GALHARDO; GRANJA; PICCHI, 2014).

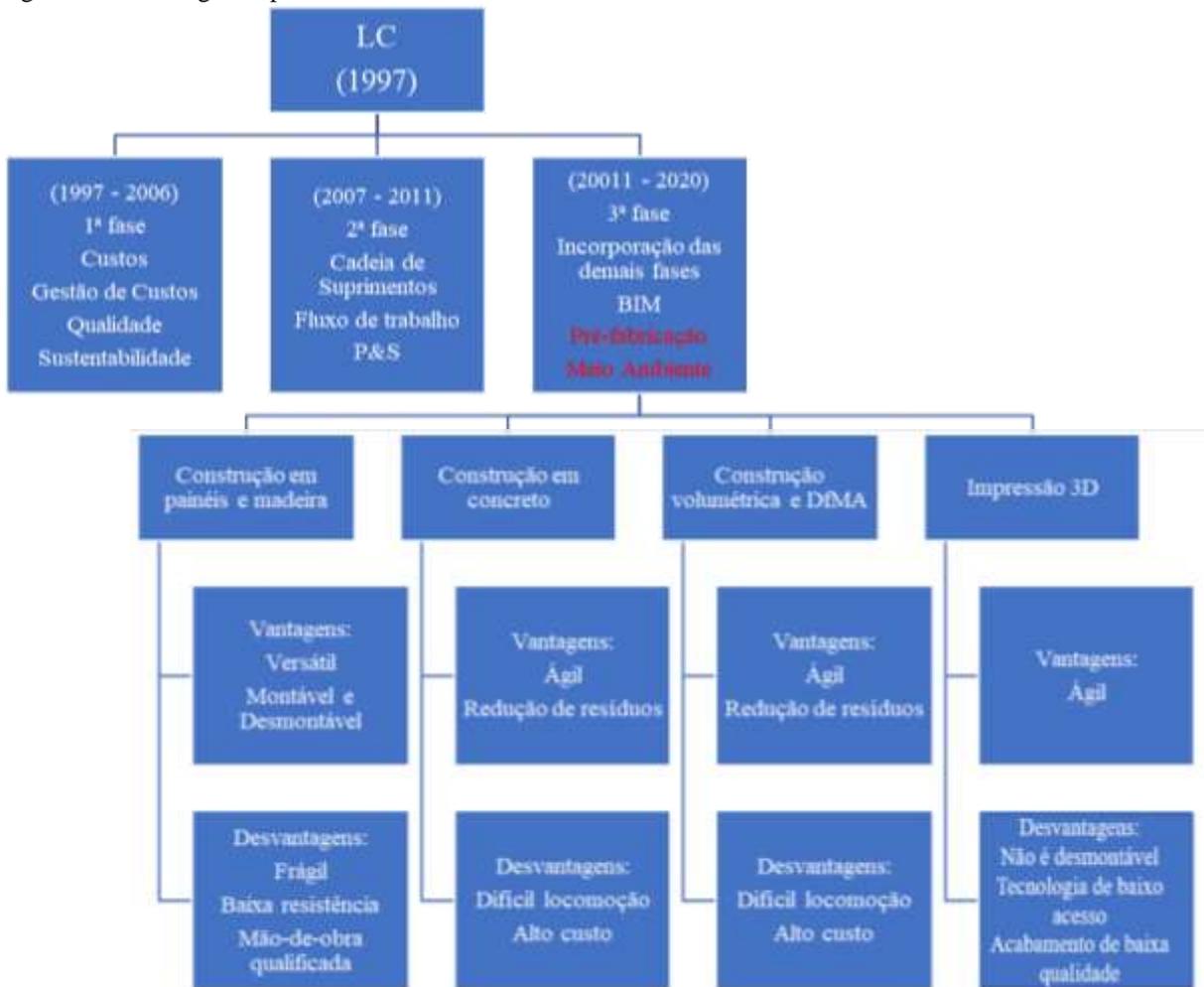
A construção volumétrica ou DfMA pode ser compreendida como uma alternativa de processo de pré-fabricação, que se caracteriza pela produção individualizada de cômodos da obra, como banheiros e cozinhas, que se assemelham a grandes caixas de concreto, que são encaixadas às outras peças pré-fabricadas na obra, por meio de guindastes e grandes equipamentos. Esta alternativa tem como pontos positivos a agilidade da construção local e a redução de resíduos no canteiro de obra, já que até o acabamento está concluído neste processo. Uma variação desta técnica de construção volumétrica é a pré-fabricação em containers, a qual pode ser utilizada para construir desde pequenas casas até grandes obras, reaproveitando containers que já não seriam mais utilizados, dispensando o uso de alguns materiais não-renováveis utilizados nas etapas de fechamento da obra. O principal aspecto positivo deste

modelo de construção é a expressiva redução no tempo das grandes obras, porém, depende de grandes maquinários específicos para o transporte e montagem da construção, o que encarece o uso em pequenas obras (GAO; LOW; NAIR, 2018; NAVARATNAM et al., 2019).

A impressão 3D é a mais nova forma de pré-fabricação no local, na qual grandes impressoras imprimem em concreto a obra previamente projetada. Entre as vantagens desta tecnologia, está a agilidade na construção, o que permite a impressão de pequenas casas em horas, não apresenta desperdício de material e possui baixo custo em função do uso mais racional da matéria-prima. As desvantagens deste processo concentram-se na dificuldade de acesso à esta tecnologia, já que ainda é pouco difundida, além da impossibilidade de reutilização do material, que não pode ser desmontado, e da falta de qualidade no acabamento das paredes (WANG et al., 2018).

A análise dos diversos processos citados revelou pontos em comum, mencionados em todas as investigações levantadas, que permitem compreender melhor o cenário atual no qual se encontra a construção civil mundial, e os pilares desta nova era neste segmento da economia: o *Lean Construction*, a Pré-fabricação e a preocupação com a sustentabilidade. A cronologia do processo evolutivo do *Lean Construction* como se observa na figura 2, revela com mais clareza as evidências citadas anteriormente, mostrando também as vantagens e desvantagens dos recentes modelos construtivos oriundos desta terceira fase do LC, vinculados especificamente à pré-fabricação e ao meio ambiente.

Figura 2 - Cronologia do processo evolutivo do *Lean Construction*.



Fonte: O próprio autor.

Os desperdícios de tempo e materiais não são mais tolerados, assim como o lixo nos canteiros de obras; o impacto ambiental tornou-se uma preocupação real, e considera-se que já existe tecnologia e mão-de-obra qualificada para que isto seja aplicado nas grandes construções com o uso das técnicas de pré-fabricação. O que ainda carece de uma solução apropriada é o desenvolvimento de um método construtivo para as obras de pequeno porte, que seja acessível à população de mais baixa renda, ou pessoas em situação de vulnerabilidade, como os refugiados, que precisam de abrigo em regiões diferentes do globo e são itinerantes (CORVELLO et al., 2020).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Classificação Metodológica da Pesquisa

“A *Design Science Research* estabelece um processo sistemático que tem como objetivo projetar e desenvolver artefatos que tenham condições de resolver problemas (...), sendo necessário provar que o artefato realmente atingiu os objetivos inicialmente propostos pelo pesquisador” (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015, p. 1124), segundo os autores, os artefatos podem ser divididos em cinco tipos: Constructos, Modelos, Métodos, Instanciações e *Design Propositions*. A definição do método de pesquisa DSR foi apresentada inicialmente pois representa de forma clara a estrutura metodológica mais apropriada para esse tipo de investigação que está pautada na criação de um produto que tem por base a solução de um problema aplicado e real envolvendo a geração de desperdícios do processo construtivo tradicional de moradias. Esta opção metodológica disciplina os esforços de criação e solução de problemas com os esforços relacionados ao embasamento científico da pesquisa, consolidando a trajetória investigativa dentro de um escopo metodológico reconhecido pela área de engenharia de produção, que apesar de pouco conhecido, é muito utilizado para fins desta natureza.

A busca por solução de um problema real da humanidade, através do desenvolvimento de um produto, caracteriza a natureza aplicada desta investigação, e lhe confere um caráter qualitativo e prescritivo, por conta do detalhamento do produto final que se fará necessário, e da característica do processo de seu desenvolvimento, classificação essa que está em linha com os apontamentos de Dresh, Lacerda e Antunes (2015) para investigação deste tipo.

#### 3.2 Procedimentos Operacionais

Segundo Dresh, Lacerda e Antunes (2015), a *Design Science Research* conduz a pesquisa em doze etapas, as quais estão especificadas na coluna à esquerda do quadro 1; a coluna à direita descreve os procedimentos que foram executados nesta pesquisa, e suas especificidades para o atendimento aos requisitos da metodologia DSR.

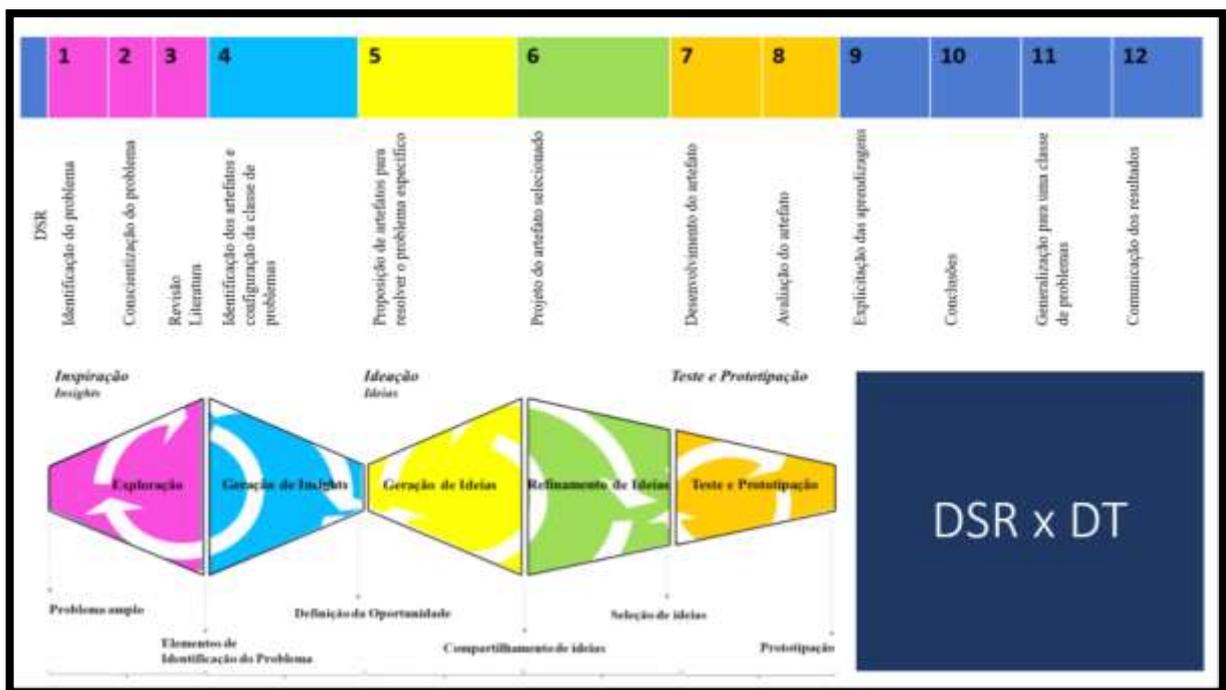
Quadro 1- Etapas da *Design Science Research*.

ETAPAS DA DSR	ETAPAS DA PESQUISA
<b>Identificação do problema</b>	1. Definição do problema: limitações ou falta de opção para o caso de alvenaria residencial para populações vulneráveis.
<b>Conscientização do problema</b>	2. Observação do processo de construção civil em canteiros de obra da região, e posterior depoimento de um engenheiro civil, coordenador da Câmara Especializada em Engenharia Civil do CREA-SP. Leitura prévia acerca do tema para entendimento do contexto.
<b>Revisão Sistematizada da Literatura</b>	3. Buscas nas bases Scopus, <i>Web of Science</i> e <i>Science Direct</i> com as palavras-chaves “ <i>Lean Construction</i> ”, “ <i>Small Building</i> ” e “ <i>Prefabrication</i> ”.
<b>Identificação dos artefatos e configuração da classe de problemas</b>	4. Identificação da classe de problemas apontada na revisão da literatura e dos artefatos já existentes: quatro grupos de modelos construtivos.
<b>Proposição de artefatos para resolver o problema específico</b>	5. Geração de ideias e seleção das alternativas; Elaboração de um elemento que resolva os problemas apontados: utilização das ferramentas Brainstorming e Prototipação 2D para compartilhamento de ideias e sabatina dos protótipos pelos pesquisadores.
<b>Projeto do artefato selecionado</b>	6. Detalhamento das principais características e pré-requisitos exigidos para o produto com o auxílio das seguintes ferramentas: “Diagrama de Venn” e “Matriz de Seleção de Ideias”. ok
<b>Desenvolvimento do artefato</b>	7. Análise detalhada das alternativas e desenvolvimento do protótipo com utilização do <i>Design Thinking</i> para projeto e desenvolvimento de produto: o processo iterativo do <i>Design Thinking</i> foi desenvolvido com o auxílio do software <i>Solid Edge</i> para o desenho das alternativas.
<b>Avaliação do artefato</b>	8. Levantamento das características e atribuições técnicas do elemento desenvolvido e teste do protótipo (normas ABNT para construção civil). Avaliação do protótipo por parte de um engenheiro civil.
<b>Explicitação das aprendizagens</b>	9. Especificação das características diferenciais do produto que podem solucionar o problema: encaixes e estruturas.
<b>Conclusões</b>	10. Prós e contras do produto para a solução do problema.
<b>Generalização para uma classe de problemas</b>	11. Explicitação de como o produto escolhido pode solucionar determinados problemas na construção civil de pequeno porte.
<b>Comunicação dos resultados</b>	12. Apresentação do produto através da dissertação e depósito de patente.

Fonte: Dresh, Lacerda e Antunes (2015).

A DSR, adotada como metodologia de pesquisa, e o processo do DT, escolhido para o projeto e desenvolvimento do produto, são estruturas procedimentais que guardam certa similaridade em seus conteúdos. Com base no referencial apresentado na seção 2.2 (*Design Thinking*) e nas especificações das etapas do DSR aqui explicitadas, é possível notar a complementariedade e alinhamento existentes entre determinadas etapas de ambos os procedimentos, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3 – Comparativo entre DSR e DT.



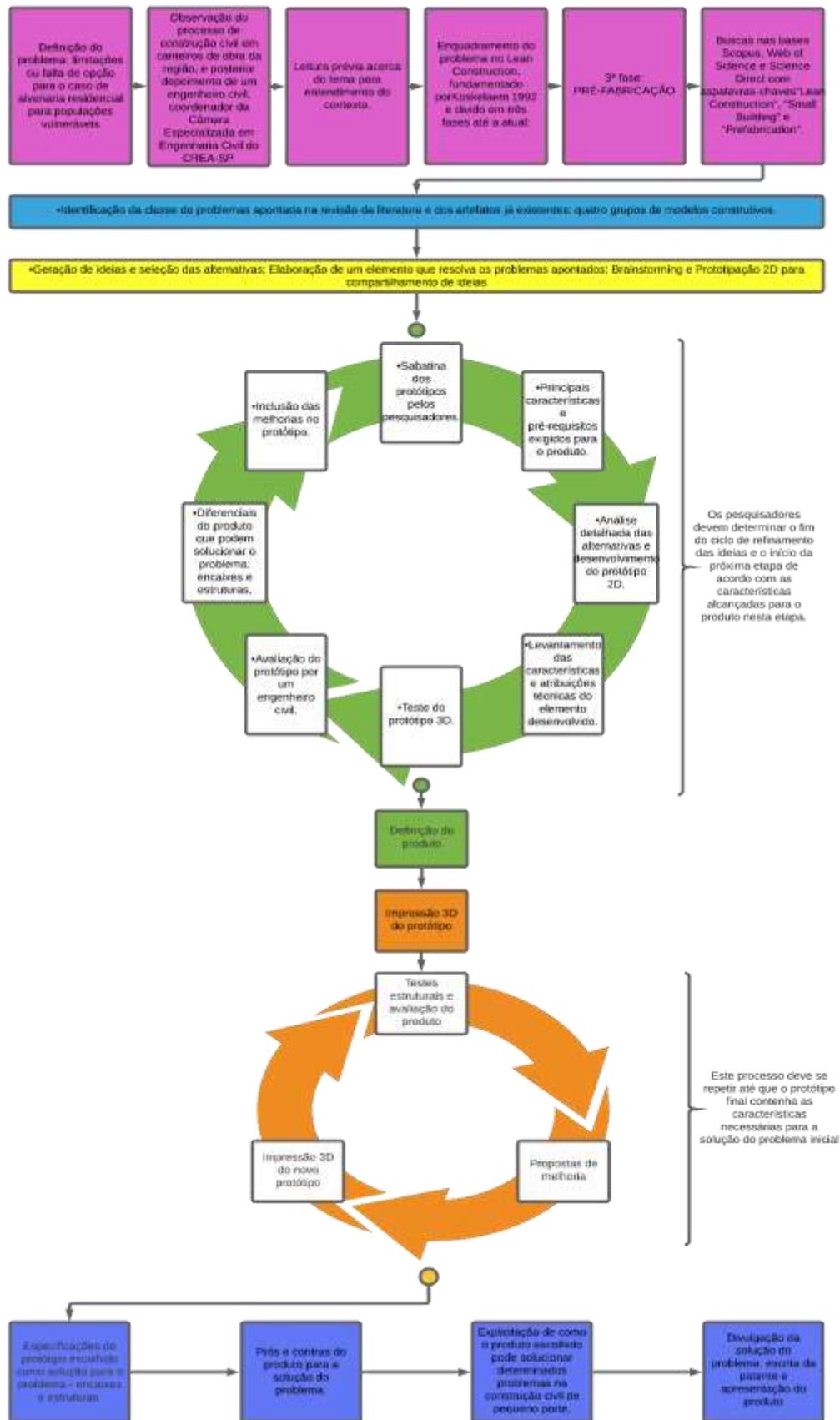
Fonte: O próprio autor.

Esta complementariedade dos processos permitiu conduzir a pesquisa através da metodologia DSR, e incorporar as fases do *Design Thinking* ao longo das etapas metodológicas que nortearam a execução da investigação. Desta forma a fase de Exploração do DT foi diluída nas três primeiras etapas do DSR, a fase de Geração de *Insights* correspondeu à quarta etapa do DSR, a Geração e Refinamento de ideias corresponderam às etapas 5 e 6 do DSR, respectivamente, e por fim, a fase de Teste de Prototipação corresponderam às etapas 7 e 8 do DSR, como será detalhado na próxima seção.

O passo-a-passo do desenvolvimento desta pesquisa, considerando os procedimentos da metodologia DSR como referência, e o uso do ferramental DT como complemento para o desenvolvimento do produto, pode ser visto na figura 4. A ilustração (Figura 4) pode ser melhor entendida, tomando como base suas cores e sua estrutura lógica: as cores representam as etapas

de ambos os procedimentos (DSR e DT), que se sobrepõem, evidenciando assim seu alinhamento, e a estrutura lógica, apresenta a sequência cronológica das ações que foram realizadas, ações estas detalhadas *in box* e que expressam as especificidades operacionais do curso seguido por esta pesquisa. Apesar do procedimento operacional adotado permitir retroalimentação ao longo de toda a estrutura, como preconiza o instrumental DT, para o desenvolvimento desta pesquisa, duas fases do percurso metodológico foram diferenciadas e estruturadas formalmente com o uso de retroalimentação, por serem consideradas pelo pesquisador como fases de maior refinamento dos dados, sendo elas a de refinamento das ideias e a de testes e prototipação. Nesta última fase, entende-se que a prototipação 3D proporciona avanços mais abruptos no que se refere ao refinamento e melhoria do produto, pois permite maior interação pesquisador – artefato, o que proporciona olhar mais crítico para aspectos como usabilidade do produto proposto.

Figura 4 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa



Fonte: O próprio autor.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Esta seção apresenta o desenvolvimento do produto segundo as etapas do DSR, metodologia adotada neste trabalho, por se adequar melhor à natureza da investigação. Vale ressaltar, no entanto, que a ferramenta procedimental de auxílio para o desenvolvimento do produto proposto, tomou como base o DT, método mais flexível e menos burocrático para o desenvolvimento de artefatos. Tanto a metodologia da pesquisa (DSR) como o método de apoio para o desenvolvimento do produto (DT), possuem fases que se assemelham. Considerando esse aspecto, esta seção será estruturada conforme as etapas propostas na metodologia da pesquisa DSR (etapas de 1 a 12), as quais serão categorizadas para melhor compreender o papel do método de desenvolvimento do produto (DT) e seu enquadramento nas etapas metodológicas da pesquisa.

Nesta fase do desenvolvimento da pesquisa serão apresentadas as doze etapas do DSR, as quais correspondem ao projeto e desenvolvimento do produto, explicitando os passos e ferramentas utilizados em cada uma, os diferenciais, e prós e contras do produto proposto. As primeiras 4 etapas da metodologia DSR utilizada, caracterizaram-se pelo forte esforço feito no sentido de melhor delimitar o problema a ser resolvido, o que coincidiu com as características procedimentais iniciais do ferramental adotado para o desenvolvimento do produto, *Design Thinking*, cujo propósito final foi apresentar a raiz do problema dentro do seu contexto e as relações entre suas causas; as etapas 5 e 6 do DSR apresentadas na sequência, marcaram uma fase do processo de desenvolvimento do produto que foi norteada pela busca de soluções preliminares para o problema delimitado nas etapas anteriores, e que explorou a criatividade e a técnica dos profissionais envolvidos (engenheiros de produção e civil) para o esboço das primeiras concepções do artefato, aspectos estes também presentes nos procedimentos definidos pela ferramenta *Design Thinking*, conhecido como fase de Ideação, considerado o segundo passo procedimental desta ferramenta, que teve o propósito de apresentar as possíveis ideias para a solução do problema, assim como a seleção das melhores opções; as etapas 7 e 8 do DSR, que vem na sequência, caracterizam-se por apresentar aspectos mais aplicados do desenvolvimento do produto, incluindo a determinação de características técnicas e sua prototipagem, para ensaios e simulações de cenários mais realistas do uso do artefato, o que de acordo com a ferramenta *Design Thinking* usada para o seu desenvolvimento, é a terceira fase do desenvolvimento e é chamada de fase de Prototipação e Testes, cujo propósito como já dito antes, é a apresentar a materialização da ideia para a solução, em forma de protótipos, e os testes para possíveis aprimoramentos.

Esta seção também apresentará a etapa 9 do DSR, a qual irá discriminar todas as características e diferenciais do produto que poderão solucionar o problema, asseguradas pelos resultados do ensaio feito com o protótipo. Por fim, serão apresentadas as etapas 10, 11 e 12 do DSR, nas quais será apresentado o produto, assim como seus prós e contras e como este produto poderá solucionar os problemas na construção civil de acordo com suas características.

Por se tratar do desenvolvimento de um produto para a área da construção civil, o profissional desta área foi de grande importância para a compreensão dos aspectos técnicos que envolvem o uso e o projeto de um artefato como este, por outro lado, a viabilidade e o modo como esse artefato pode ser produzido, são aspectos que interferem na exequibilidade do produto, quanto às características, funções e fabricação do produto, conhecimentos estes que fazem parte do domínio profissional dos pesquisadores.

#### **4.1 Etapas 1 e 2 da DSR: Identificação e Conscientização do Problema**

As **Etapas 1 e 2** – Identificação e Conscientização do Problema – preconizadas pelo *Design Science Research* (DSR), estão especificadas nas seções de Introdução e Revisão, e retomadas nesta fase de Exploração do Processo do *Design Thinking*. Vale aqui ressaltar que apesar dos procedimentos estipulados pela DSR preverem a identificação e conscientização do problema como sendo as etapas iniciais, estas não parecem ocorrer de forma dissociada da revisão da literatura. Estas etapas, de fato foram desenvolvidas a partir de um problema identificado empiricamente, porém sua conscientização ganhou corpo com o auxílio da busca por evidências científicas da área, o que deu mais consistência ao problema proposto.

Como já foi exposto na seção de introdução, o problema identificado foi o grande volume de perdas e desperdícios existentes nos canteiros de obras. O excesso de resíduos foi identificado presencialmente nas obras, por meio de visitas a diversos canteiros na região (São Carlos e Araraquara) e comprovados através da literatura, que puderam ser explicados pela falta de padronização no processo construtivo e baixa qualidade de mão-de-obra.

No primeiro contato com um profissional da construção civil (engenheiro civil), foi perguntado sobre sua percepção a respeito da quantidade de desperdícios que ainda existe no canteiro de obras e sua opinião sobre os modelos pré-fabricados existentes no mercado; a percepção do profissional da área foi que, embora concorde com a adoção da pré-fabricação para a redução de resíduos, a barreira cultural para esse tipo de tecnologia é considerada um dos maiores desafios enfrentados pela área, no tocante a adoção de procedimentos alternativos mais eficientes e de menor impacto ambiental para a construção tradicional. Alguns modelos citados como aceitos por se assemelharem muito à construção tradicional, como os produtos

pré-fabricados em concreto e alvenaria, proporcionam uma construção com menos desperdícios, mas não anulam sua existência, sendo considerada até a utilização de maquinários para a trituração e reciclagem destes resíduos, os quais seriam reaproveitados em diversos âmbitos da construção, como para a fabricação de novos tijolos ou então para aplicação em misturas asfálticas.

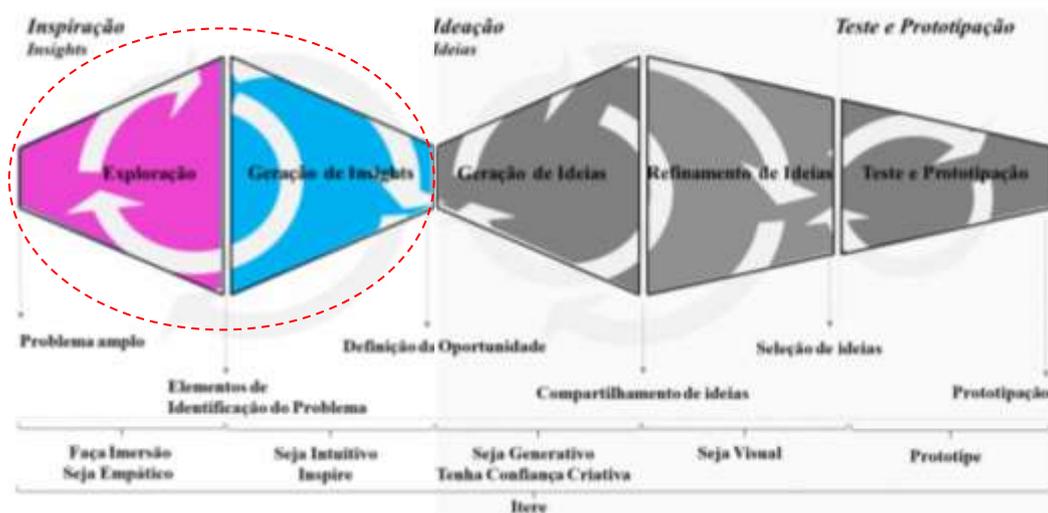
O levantamento destas evidências empíricas (percepção de profissional da área) somadas às científicas, por meio da leitura especializada sobre o tema, mostrou que os desperdícios são apenas consequências do processo construtivo vigente, sendo a raiz do problema a falta de mão-de-obra qualificada, a inexistência de um produto (elemento construtivo) eficaz e aceito culturalmente pela população, e que proporcione praticidade, agilidade e reuso ao processo da construção civil.

A empatia pelo trabalhador (a empatia pelo trabalhador é o termo usado no DT: entende-se que para que o produto desenvolvido atenda aos requisitos de quem vai utilizá-lo, o processo de exploração deve ser feito com empatia, ou seja, você deve se colocar no lugar do trabalhador e entender o que ele passa) é essencial quando determinados os fatores que geram desperdícios de material e de tempo na obra: considerar apenas a baixa qualidade da mão-de-obra é um ato falho quando analisadas todas as circunstâncias, já que o trabalhador é submetido a um trabalho pesado por um longo período. A observação dos canteiros de obra visitados, os quais representam em grande parte a realidade da construção no país, mostrou que o processo da construção civil não é favorável para o trabalhador, sendo que estes são expostos ao sol durante toda a sua jornada de trabalho, deslocam materiais pesados e executam trabalho árduo, sendo a queda da produtividade uma reação física natural ao longo do expediente, reduzindo o rendimento e, como consequência, aumentando o tempo de obra.

Assim, entender o trabalhador é fundamental para uma efetiva melhora na construção civil: o produto deve ser de fácil construção, e por si só, garantir a redução dos desperdícios, enquanto sua ergonomia e seu processo construtivo devem beneficiar o trabalhador, melhorando as condições de trabalho e com isso sua produtividade, o que poderá vir na forma de redução do tempo de execução das atividades.

Essa exploração acerca do tema, a empatia pelos trabalhadores envolvidos e a identificação dos elementos do problema, obtidos nas etapas 1 e 2 do DSR, correspondem à etapa de Exploração do *Design Thinking*, como detalhado no referencial teórico e apresentado na figura 5.

Figura 5 – Fase de Exploração do Processo do *Design Thinking*.



Fonte: Adaptado Kloeckner (2018).

O refinamento desta etapa inicial do desenvolvimento do produto, que consiste em sedimentar melhor o problema e torná-lo mais consistente do ponto de vista científico, como preconiza a etapa seguinte do DSR (3ª. etapa), tem como base a busca por evidências bibliográficas que sustentem o problema identificado, o que é feito pela revisão de obras científicas nas bases de dados. Essa 3ª. fase do DSR, apresentada a seguir, também aparece nos requisitos procedimentais da ferramenta DT usada para o desenvolvimento do produto, e é denominada de fase de Geração de *Insights*, como pode ser visto na figura 5.

#### 4.2 Etapa 3 da DSR: Revisão da Literatura

Revisão da literatura sobre os problemas do *Lean Construction* e as técnicas de pré-fabricação:

A revisão da literatura, do ponto de vista prático, não se iniciou formalmente após o fim das etapas anteriores, e sim de forma concomitante com as etapas 1 e 2, e foi utilizada para identificar as pesquisas mais recentes acerca do tema pré-fabricação, de forma a identificar as principais lacunas existentes na sua operacionalização em construções de pequeno porte, seu impacto ambiental, e estabelecer um comparativo da pesquisa em relação as publicações levantadas, para a solução dos problemas que se apresentam no segmento da construção civil.

Uma leitura prévia acerca do tema possibilitou a contextualização do trabalho e a identificação das palavras-chaves que melhor representariam o tema da pesquisa: foram lidos trabalhos que abordavam um conteúdo semelhante ao tema, e observadas as palavras-chaves utilizadas e definidas pelos autores para nomear o assunto em questão, após análise destes termos, foram determinadas as palavras-chaves essenciais para uma busca completa. As bases

de periódicos utilizadas para a pesquisa foram *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*. O primeiro passo para a busca nas 3 bases de periódicos foi a seleção dos descritores que melhor representavam a temática da investigação, e que foram *Lean Construction*, *prefabrication*, e *small building*. A busca utilizando os 3 descritores juntos revelou que não há artigos com essas 3 palavras no título ou nas palavras chaves dos artigos. Sendo assim, foi realizada nova busca com a combinação 2 a 2 destes descritores nas bases de periódicos, que foram “*Lean Construction*” AND “*Prefabrication*”, “*Lean Construction*” AND “*Small Building*”, “*Prefabrication*” AND “*Small Building*”. Nesta segunda busca, foram selecionados artigos que contivessem os descritores em qualquer parte do artigo, seja no título, nas palavras chaves ou no texto. Este procedimento, desconsiderando o ano de publicação, resultou em 633 artigos, os quais foram reduzidos a 424, quando considerados apenas os publicados a partir de 2014. Após eliminar os trabalhos duplicados (36 artigos), o levantamento foi reduzido a 388 publicações.

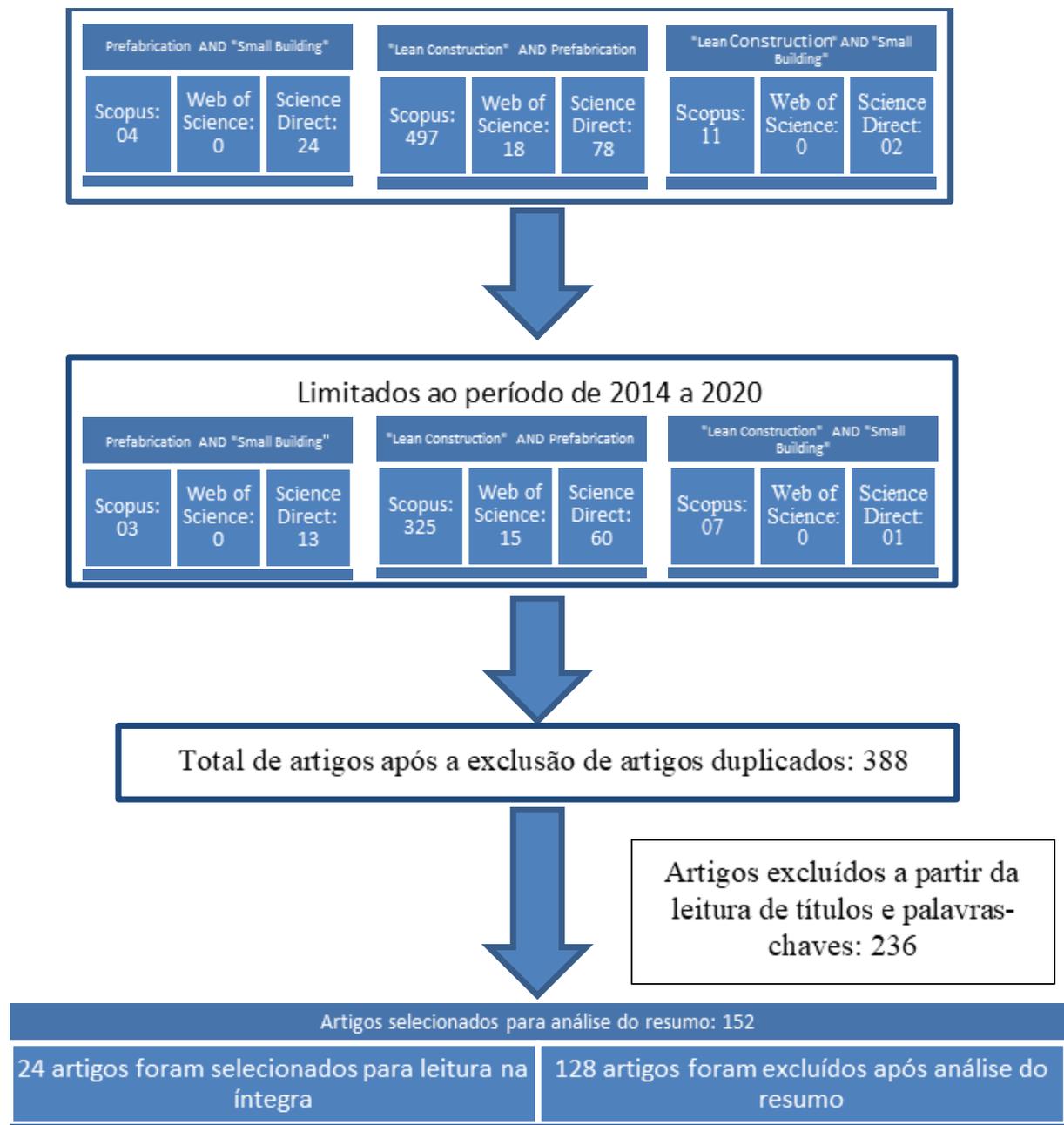
Um novo filtro foi aplicado à relação anterior, com o objetivo de eliminar os artigos que não tinham como foco os processos de pré-fabricação, excluindo-se aqueles que não apresentavam no título ou nas palavras chaves, os descritores citados anteriormente, e que continham alguma das palavras “BIM”, “custos” ou “cadeia de suprimentos”, o que resultou em 152 publicações, os quais foram selecionados para a análise do abstract.

Vale ressaltar que, a princípio, temas como “emissão de gases” e “construção verde” estavam entre os critérios de exclusão, juntamente com os termos citados antes (BIM, custos e cadeia de suprimentos), no entanto, após ser observado nos títulos levantados a provável relação entre a temática de pesquisa e o meio ambiente, optou-se por mantê-los nesta etapa de seleção.

Dos 152 artigos, apenas 24 foram selecionados para serem lidos integralmente, os demais foram excluídos pois não estavam diretamente relacionados com a pesquisa: determinação de resistência de pré-fabricados, certificações e limitações antigas.

A sistemática adotada para a seleção dos artigos científicos da pesquisa pode ser visualizada através do Prisma *Workflow* representado na figura 6:

Figura 6 - Prisma Workflow.

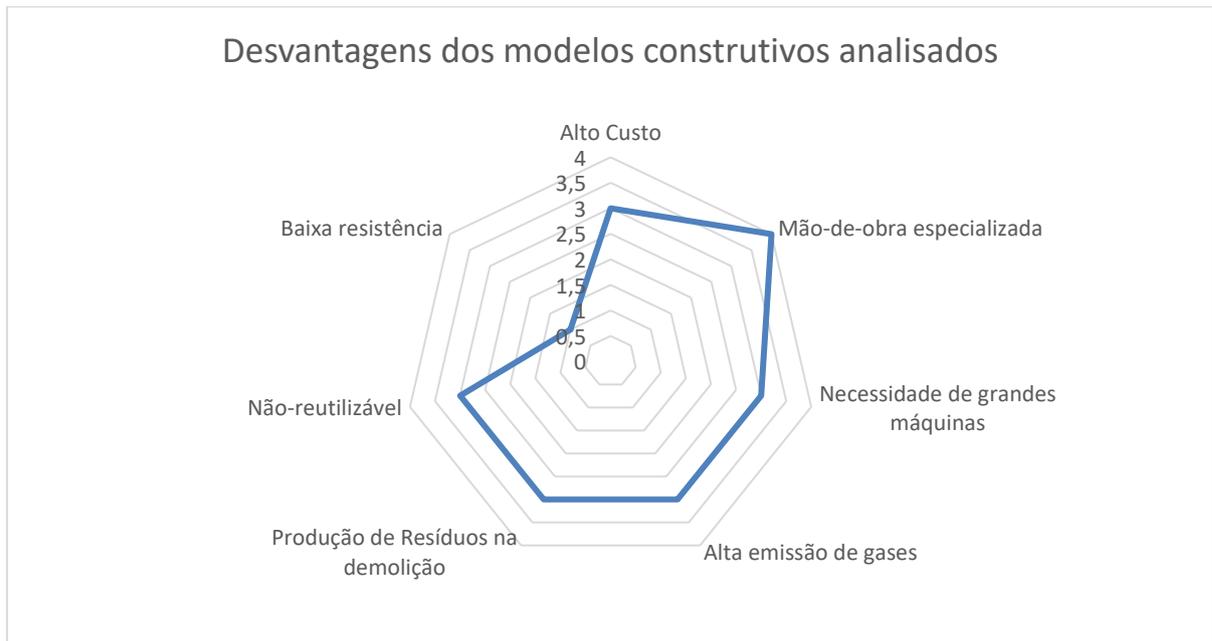


Fonte: O próprio autor.

#### 4.3 Etapa 4 da DSR: Identificação dos artefatos e configuração da classe de problemas

A lacuna que distancia a pré-fabricação da plena sustentabilidade fica mais clara quando destacadas as principais desvantagens observadas nos artigos analisados (ver figura 7).

Figura 7 - Desvantagens levantadas nos quatro grupos de modelos construtivos obtidos nos artigos analisados.



Fonte: O próprio autor.

Os métodos que podem ser aplicados à pequena construção demandam mão-de-obra especializada (como é o caso da pré-fabricação com painéis) ou então demandam grandes máquinas e alta tecnologia (como a impressão 3D no local), que encarecem o custo destes métodos, além disso, não permitem a reutilização do material, seja pelo design engessado ou pela incapacidade de desmontagem das partes, sendo que qualquer modificação ou reforma da construção resulta em perdas de materiais ou demolição.

A filosofia *Lean Construction* está bem consolidada no mundo, principalmente nos países desenvolvidos. A preocupação com a geração de resíduos e emissão de gases nas etapas de construção e demolição tem sido os principais motivos para o desenvolvimento dos novos sistemas construtivos. A pré-fabricação mostra-se capaz de abordar as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental (BHATTACHARJEE; PISHDAD-BOZORGI; GANAPATHY, 2016), porém a maioria dos modelos pré-fabricados dependem de grandes máquinas para sua montagem e transporte, o que encarece o processo construtivo, e aumentam a emissão total de gases da obra (SORIANO et al., 2014).

Dentre os diversos modelos pré-fabricados analisados e contextualizados com a maturidade do *Lean Construction* é possível afirmar que a evolução tecnológica no setor da construção civil cresceu exponencialmente nas duas últimas décadas, reduzindo o tempo de obra e seus desperdícios. No entanto, ainda são tecnologias caras, que utilizam mão-de-obra e

equipamentos específicos, inviabilizando a construção em determinadas regiões e limitando o acesso a população de mais baixa renda.

Estas limitações dos processos construtivos atuais, que restringem o acesso a obras civis residenciais por grande parte da população mundial em estado de vulnerabilidade e por outro lado, as possibilidades de melhoria nos processos atuais que permitam aumento da eficiência ambiental no uso dos recursos, abre perspectivas animadoras para o setor. Uma das alternativas, que foi pouco explorada na literatura, mas que se apresenta como um caminho alternativo e complementar às técnicas citadas, é o investimento em design dos elementos construtivos, que poderiam permitir o uso mais racional dos recursos naturais assim como seu reuso em obras que tivessem a flexibilidade de serem montadas e desmontadas com perdas mínimas. O investimento neste sentido, aprimorando também a capacidade de manuseio destes materiais sem a necessidade de elevada capacitação técnica ou de suporte mecânico, seria uma alternativa que somaria muito à viabilidade social e econômica de processos desta natureza.

O design dos elementos construtivos usados na construção civil, abordado em diversas produções científicas com a denominação de DfD, é um caminho que se revela promissor na busca por sustentabilidade neste segmento, uma vez que permite a inclusão das necessidades sociais (acessibilidade, praticidade, usabilidade e conforto) e também de práticas mais racionais de construção, no entanto, demanda maior atenção e investimentos no sentido de tornar realidade essas expectativas (montagem e desmontagem) e acessíveis às populações vulneráveis. Pouco se tratou até o momento em soluções que considerem o elemento de preenchimento ou estrutural como parte importante da solução para esses desafios colocados. A atenção dos trabalhos de pesquisa levantados, está mais voltada as técnicas de construção em si e de industrialização dos processos de construção civil, no entanto, o desenvolvimento de produtos pode ser uma alternativa importante que venha a proporcionar ganhos em escala no processo como um todo, em função de seus efeitos ao longo de toda a sequência de atividades civis.

O desenvolvimento das técnicas de pré-fabricação ainda possui grandes desafios à frente como a dificuldade de acesso a este tipo de construção pelas classes de baixa renda, a dificuldade de locomoção das partes pré-fabricadas e a elevada quantidade de resíduos e gases que afetam o ambiente, porém essas barreiras também se apresentam como oportunidades que aos poucos parecem amadurecer num horizonte cada vez mais claro.

#### 4.4 Etapas 5 e 6 da DSR: Proposição de artefatos para resolver o problema específico e Projeto do selecionado

As etapas 5 e 6 do DSR, como citado anteriormente, estão aqui representadas pelo segundo passo do método DT, usado para o desenvolvimento do artefato, e denominada de Ideação. Este passo do DT é composto pelo procedimento de Geração e pelo de Refinamento de Ideias (Figura 8), processos esses caracterizados por grande dinamicidade e iteratividade. O desenvolvimento desta etapa foi auxiliado por ferramentas como o Brainstorming, prototipação 2D por meio do software *Solid Edge* e requisitos para o refinamento de ideias.

Figura 8 - Etapa Ideação do processo do *Design Thinking*.



Fonte: Adaptado de Kloeckner (2018).

A proposição de um artefato para resolver o problema específico se deu a partir da lacuna identificada na etapa 4. Considerando que os problemas giram em torno do trabalhador, do excesso de desperdício de argamassa, da necessidade de um modelo desmontável para garantir a sustentabilidade do processo, da resistência deste modelo e da agilidade para sua construção, iniciou-se a fase da Geração de Ideias, procedimento preconizado pela ferramenta DT, escolhida para o desenvolvimento do produto.

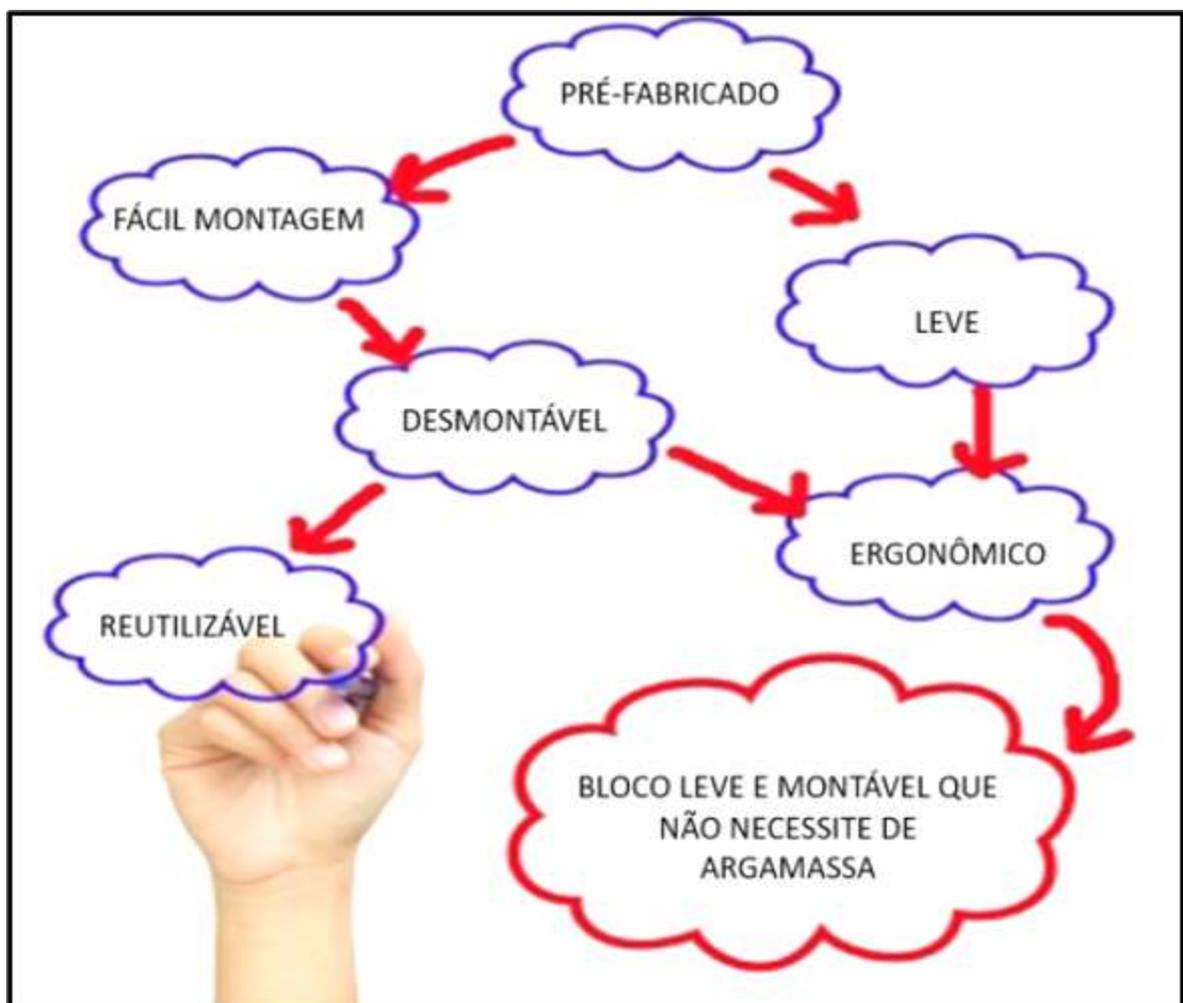
Embora aparente ser um processo linear, a iteratividade do processo de geração de ideias foi um dos aspectos mais importantes nesta fase, assim o Brainstorming e a Prototipação 2D se intercalavam e até se mesclavam, quando as ideias obtidas em uma atividade alimentavam a criação da outra.

O *Brainstorming* facilitou a geração e compartilhamento de ideias, foi um processo natural, que ocorreu durante reuniões entre os pesquisadores, nas quais eram determinadas as características que o produto poderia ter para fornecer ao consumidor (trabalhador da

construção civil) soluções ainda não encontradas no mercado. Foram considerados os problemas principais levantados na introdução e revisão, entre os quais estão: impacto ambiental pela alta emissão de gases e não reaproveitamento do material, alto custo de máquinas e transporte para montagem e mão-de-obra especializada.

Dentre todas as ideias levantadas, as que obtiveram um consenso foram: o produto deveria ser pré-fabricado, de fácil montagem e desmontagem, de forma a ser reutilizável; leve e ergonômico, para que o operador tivesse o máximo conforto e rendimento durante o processo construtivo e pudesse transportar o produto com facilidade. Assim, concluiu-se que deveria ser feito um bloco leve e montável que não necessite de argamassa para a sua fixação (figura 9).

Figura 9 – *Brainstorming*



Fonte: O próprio autor.

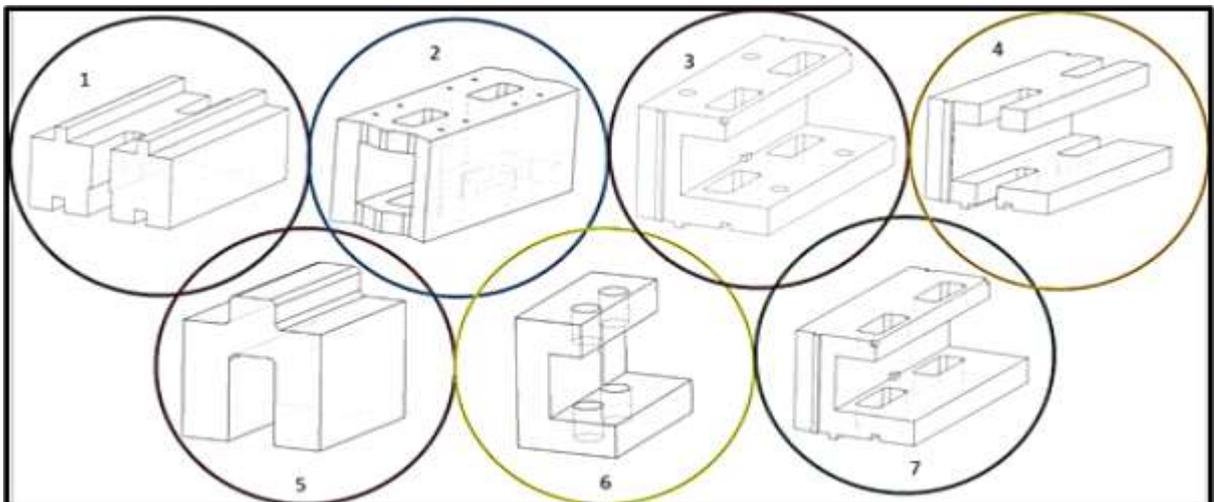
Poderia, então, ter encaixes para a sua montagem e furos verticais e horizontais para a passagem do sistema elétrico e hidráulico, assim como para a sustentação e amarração dos blocos. Não poderia ser muito grande, para não atrapalhar a maneabilidade do bloco, e nem

mesmo pesado, para não reduzir o desempenho do trabalhador. Ou seja, a ergonomia deveria ser respeitada.

Com as ideias vieram os rascunhos do que seria importante na geometria do produto para a solução destes problemas e então desenvolvidos protótipos 2D no software: qual seria uma possível geometria que atendesse esses itens? Foram elaborados vários rascunhos manuais e posteriormente levados ao software para melhor visualização dos detalhes, entre eles estavam o encaixe lateral e vertical, forma de fixação sem argamassa, como seriam as instalações elétricas e hidráulicas de forma a não interferir na resistência do produto, quais as melhores dimensões para melhorar o rendimento e garantir a ergonomia do produto. Foram feitos cerca de 25 rascunhos, sendo que alguns foram descartados previamente, seja pelo excesso de detalhes, que dificultaria o processo de fabricação em massa, ou então pela existência do produto no mercado.

Os resultados viáveis da prototipação 2D podem ser observados na figura 10.

Figura 10 - Prototipação 2D.



Fonte: O próprio autor.

No entanto, vale a pena salientar que os esboços iniciais das ideias, eram todos feitos na forma de desenhos, pouco detalhados e com ênfase para a geometria e ergonomia do artefato, respeitando a premissa de praticidade para montagem e desmontagem dos produtos, e conforto para o trabalhador. A geração de ideias não foi um processo linear, e notou-se que as ideias precisavam de um tempo de maturação para se consolidarem, de acordo com a ótica do momento. Muitas ideias surgiam e eram também descartadas tempos depois, em função do que a equipe de pesquisadores convencionou chamar de sabatina do produto. A sessão de sabatina do produto foi um processo natural que surgiu no decorrer do processo de geração de ideias, e

foi um mecanismo criado para dar mais confiabilidade ao processo de criação, uma vez que, de certa forma, obrigava os pesquisadores a criticarem as criações, o que se mostrou eficaz, desde que realizado após um determinado tempo, o qual foi denominado pela equipe como tempo de maturação. Esse tempo de maturação, que durava em média uma semana, fazia com que os envolvidos arrefecessem seus ânimos e principalmente suas paixões pela ideia gerada, o que tornava o processo mais assertivo, no entanto, tomou-se o cuidado de não tornar o processo inquisidor, a ponto de descartar a ideia, para isto, as críticas eram ponderadas e apontados os prós e contras dos protótipos, para que este processo pudesse ser racional, como será demonstrado ao longo desta seção. Esta ressalva é importante, porque na geração de ideias, a criatividade é um fator da maior importância, e em muitos casos ela se revela justamente nas dificuldades que se apresentam pelo caminho, ou seja, quase que de forma antagônica, a mesma ideia que foi descartada por não atender os requisitos, pode ser a inspiração para a sua própria superação. Muitas das ideias foram geradas sobre as limitações das anteriores, com o intuito de superar as dificuldades ora levantadas na sessão de sabatina, porém muitas outras também surgiram por insights instigados pelas mesmas limitações anteriormente mencionadas, e que acabavam se revelando em formas inovadoras para a solução do problema.

Apesar do processo de criação ser de natureza cíclica, oscilando entre o que parece ser num primeiro momento promissor e em outro, uma limitação, a proposta de valor do produto sempre deve ser tomada como estratégia norteadora para os avanços, rumo a um design que responda as limitações apresentadas no início, e que no caso deste desenvolvimento, esta proposta é oferecer ao mercado um produto de fácil aquisição e utilização, que contenha em suas características os conceitos da engenharia civil, garantindo resistência e praticidade em sua montagem. O produto também deve ser desmontável e reutilizável, para garantir sustentabilidade e economia ao longo do seu ciclo de vida. As características citadas, aliadas também a agilidade que o processo construtivo destes tipos de habitação terá, transforma o produto em um elemento construtivo com grande possibilidade de contribuir para a solução dos problemas de moradia que afetam em grande parte a população mundial. Quando se trata de moradia para a população mais vulnerável, entende-se aqui tanto os cidadãos com limitação de renda para a aquisição da casa própria, quanto aqueles em situação de maior vulnerabilidade que busca refúgio em outras nações, por motivos de guerras, fome, perseguições políticas, raciais ou religiosas, dentre outros. Assim sendo, o público-alvo deste produto, destinado principalmente à construção de pequeno porte, são as pessoas de baixa renda e os governos, que podem usar o produto em construções para o acolhimento de contingentes de pessoas em

estado de vulnerabilidade. A partir destes conceitos, iniciou-se o processo de geração de ideias com o *Brainstorming*.

O refinamento das ideias foi realizado inicialmente a partir de uma pesquisa feita na base de patentes, para garantir que a ideia se trata de uma inovação.

O segundo passo foi determinar se o produto era facilmente fabricado em grande escala, fator que influenciaria diretamente no custo e acesso ao produto, ou seja, qual seria o processo de fabricação do produto, para que ele continuasse acessível? Alguns detalhes dificultariam e encareceriam o processo de fabricação, já que, dependendo da quantidade e alinhamento direcional dos detalhes do bloco, os métodos mais comuns de produção em larga escala apresentariam restrição ao uso, como por exemplo, extrusão, fundição e injeção.

Enfim, foi realizado um levantamento das normas da ABNT para a Construção Civil, estabelecendo os pré-requisitos existentes no bloco, quanto à sua funcionalidade e resistência. Vale ressaltar que a barreira cultural enfrentada para inovações na construção civil ainda é grande, e isso foi constatado não apenas na revisão, como também nos contatos com profissionais da área, que destacaram a praticidade de construção com materiais com encaixe, porém, a existência de resistência popular quanto à fragilidade do produto. Estes pontos foram levados em consideração para a seleção da melhor ideia.

A seleção de Ideias foi realizada com o auxílio do Diagrama de Venn, que integra o desejo do consumidor com a praticabilidade e viabilidade da ideia (figura 11).

Figura 11 - Diagrama de Venn: As Três Lentes do *Design Thinking*.



Fonte: O próprio autor.

Determinados os conceitos no diagrama, aplicou-se a desejabilidade, praticabilidade e viabilidade para cada rascunho apresentado na figura 9, e atribuiu a estes um potencial de ganho financeiro, ou seja, sua capacidade de mercado, obtendo a Matriz de Seleção de Ideias. Uma nota de 1 a 3 foi atribuída a cada rascunho de acordo com o entendimento dos pesquisadores, sendo que a maior somatória apresentou a melhor ideia, como mostra o quadro 2.

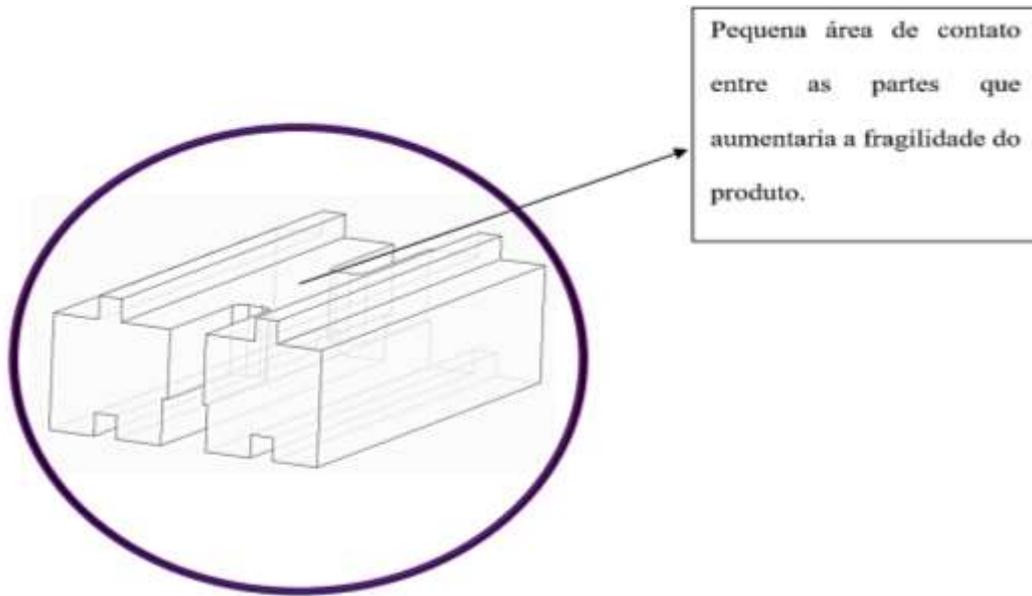
Quadro 2 - Matriz de Seleção de Ideias.

IDEIA	DESEJABILIDADE	PRATICABILIDADE	VIABILIDADE	POTENCIAL DE GANHO \$	TOTAL
1	2	1	1	2	6
2	2	2	3	2	9
3	3	2	3	3	11
4	3	3	3	3	12
5	3	3	3	1	10
6	2	3	2	1	8
7	3	2	3	3	11

Fonte: O próprio autor.

A ideia 1, representada na Figura 12, teve sua pontuação reduzida em sua avaliação de desejabilidade pelo fator ergonômico do produto, já que a peça inteira teria um peso maior e dificultaria o manuseio por parte do trabalhador, além de reduzir a sua produtividade ao longo do dia. Um outro aspecto importante que diminuiu o interesse por este design foi quanto ao aspecto técnico do possível produto, que por ter pouca área de contato entre as suas metades, poderia ser danificado com facilidade em seu transporte, o que faria com se fosse descartada, pois perderia sua função. Quanto à praticabilidade, nenhum dos processos de fabricação convencionais produziram facilmente o modelo proposto, e isto influenciaria sua viabilidade, aumentando seu custo e diminuindo sua aceitação popular. O potencial de ganho seria melhor se seu custo fosse menor.

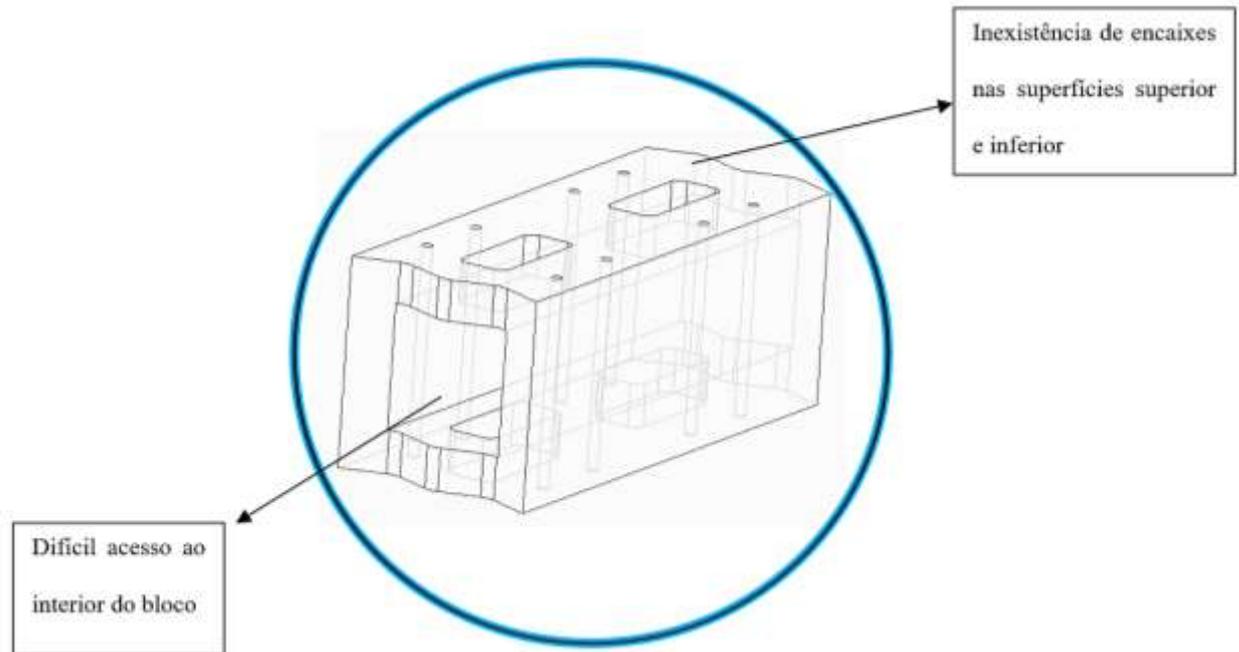
Figura 12 - Ideia 1.



Fonte: O próprio autor.

A ideia número 2, representada na Figura 13, também segue a linha ergonômica da ideia 1. Quanto à praticabilidade e viabilidade, foi melhor avaliado por ser um modelo mais robusto e apresentar menos detalhes, o que facilitaria sua fabricação e aceitação. Porém, não apresentava um encaixe nas superfícies superior e inferior do bloco, além disso, havia o problema de dificuldade de amarração horizontal da parede, o que normalmente é feito com barras de ferro. Como o design do produto é vazado porém sem acesso ao seu interior após montado, haveria a dificuldade de se passar as marrações pelo seu interior, o que levou a equipe a repensar sua viabilidade.

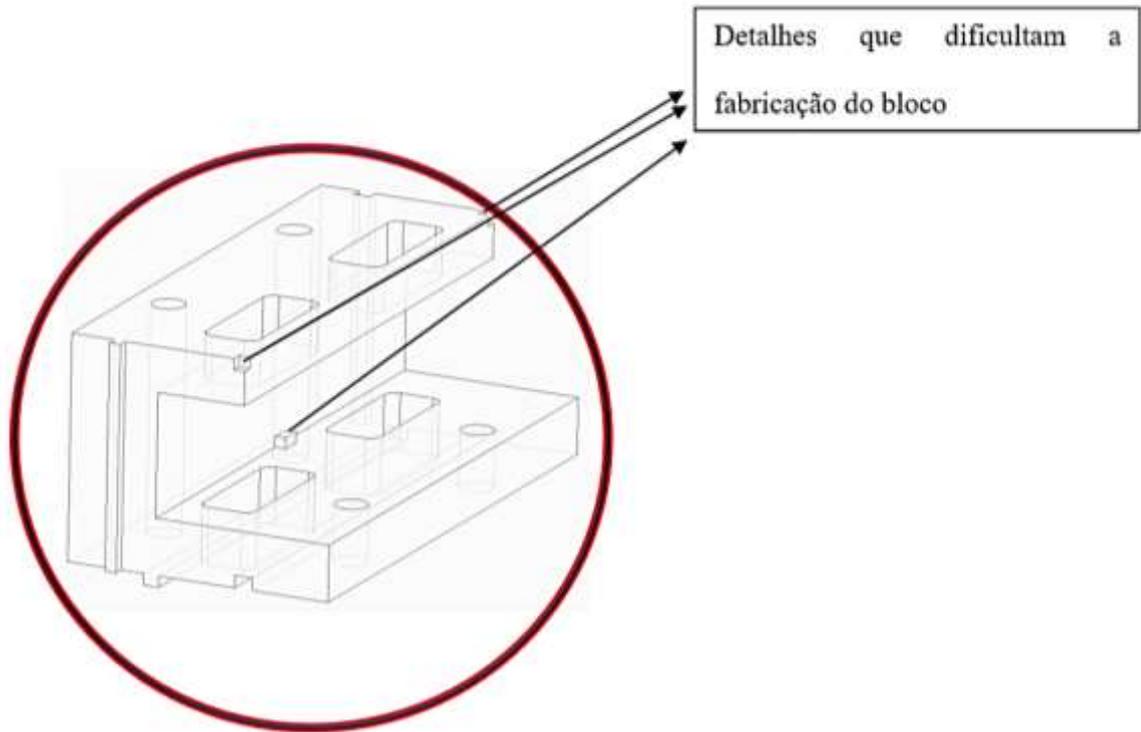
Figura 13 - Ideia 2.



Fonte: O próprio autor.

A terceira ideia, representada na Figura 14, foi bem avaliada quanto sua ergonomia, pois por apresentar uma estrutura parcial, tornou-se um modelo mais leve e fácil de manusear, além possuir encaixes e furos que facilitam sua montagem, respondendo em parte as limitações apresentadas na ideia anterior, estaria completo em relação à desejabilidade. Porém, este excesso de detalhes foi um fator negativo para a praticabilidade, já que dificultaria sua fabricação, elevando o grau de exequibilidade das furações passantes do tipo oblongo, no entanto, foi considerada viável.

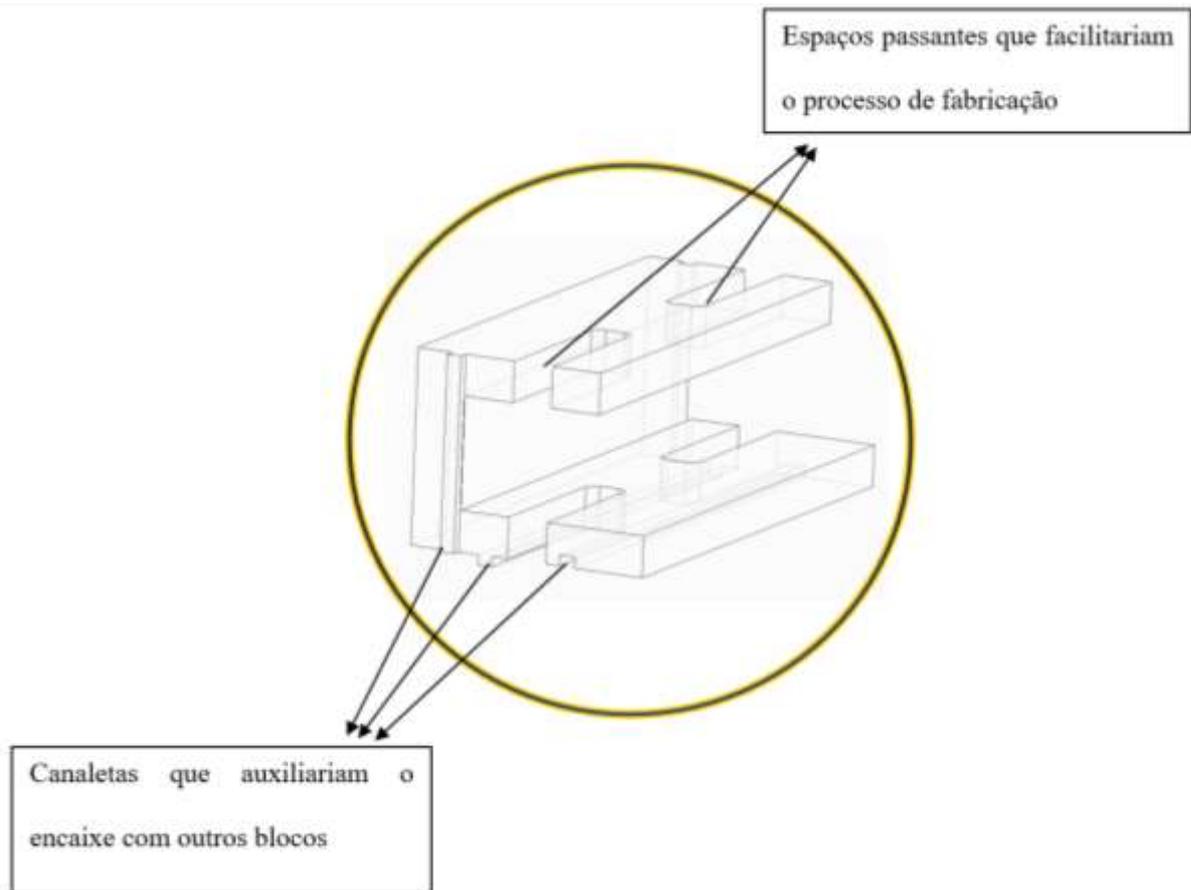
Figura 14 - Ideia 3.



Fonte: O próprio autor.

A quarta ideia, representada na Figura 15, apresenta as vantagens ergonômicas da ideia 3, com a vantagem da redução de detalhes, o que tornaria o processo de fabricação mais simples. Este aspecto pode ser melhor compreendido através do processo de fabricação dos furos vazados. No caso dos furos oblongos da ideia anterior (ideia 3), os furos precisariam ser feitos com punções, o que seria de elevada complexidade considerando o material utilizado na fabricação do bloco (cimento). Já os espaços passantes da ideia 4, por serem abertos permitiria o seu recorte com fios de aço, os quais já são normalmente utilizados no corte de blocos cerâmicos atualmente. Essa combinação o tornou o modelo mais viável até então.

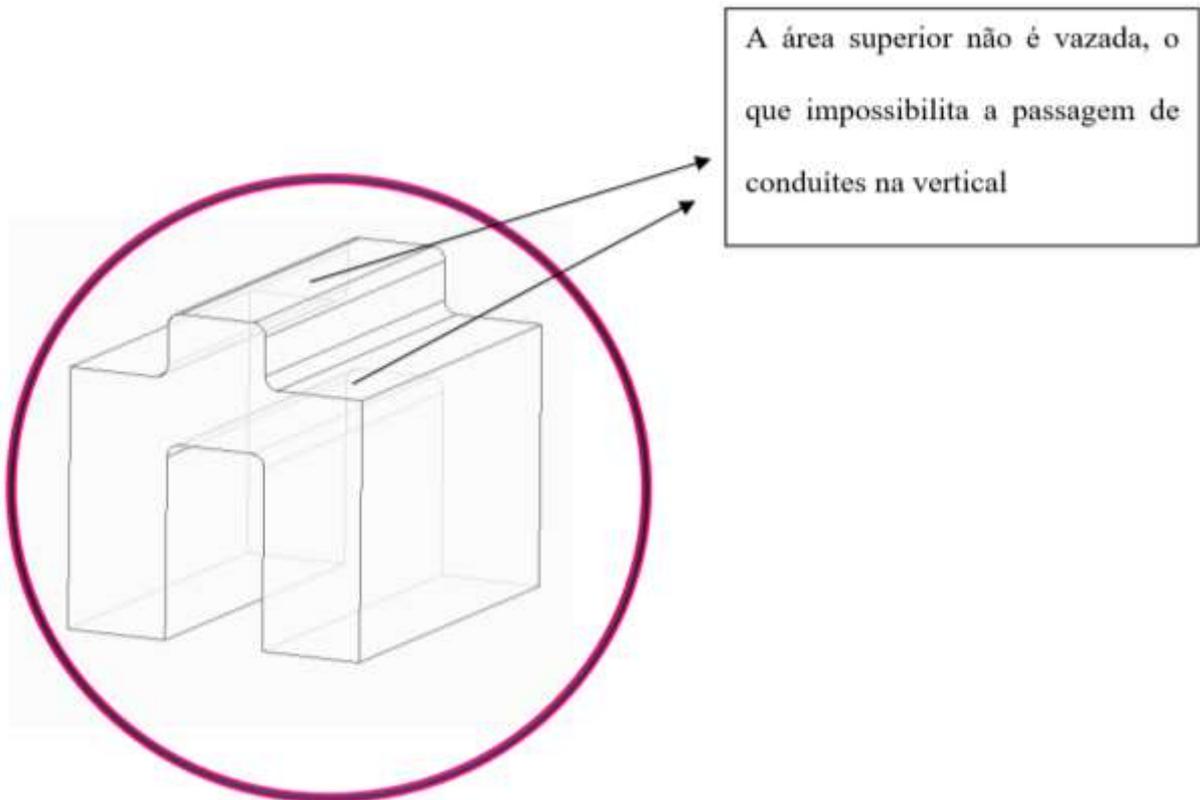
Figura 15 - Ideia 4.



Fonte: O próprio autor.

A ideia 5, representada na figura 16, possui um *design* menor e, portanto, mais ergonômico, que seria facilmente fabricado por extrusão, e aceito culturalmente por não apresentar grandes inovações. Porém, seu potencial de ganho foi considerado reduzido, por não apresentar grandes melhorias em relação ao modelo tradicional, o qual já faz uso dessa ideia de simplesmente sobrepor os blocos para a construção das paredes. Essa estratégia, comumente utilizada não prevê a passagem de conduites na vertical, o que exigiria no futuro, a quebra dos elementos, se assemelhado muito ao que atualmente é empregado.

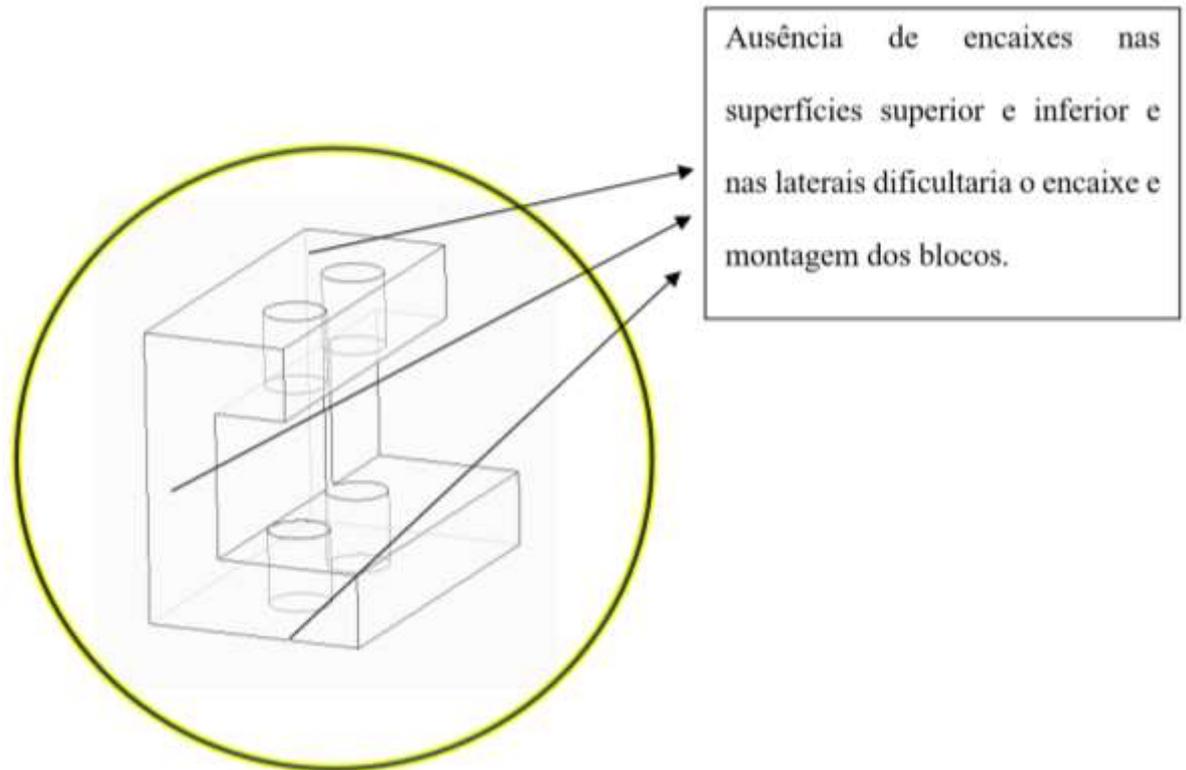
Figura 16 - Ideia 5.



Fonte: O próprio autor.

A ideia 6, representada pela figura 17, contém as características da ergonomia do modelo 4, ou seja, são necessárias duas partes para a montagem de um único bloco, o que o torna mais leve e de fácil manuseio. Sua falta de detalhes também o tornaria fácil de produzir. Sua desvantagem é em relação ao potencial de ganho, pois a falta de encaixes o tornaria menos atrativo para o mercado, já que não possui nenhum tipo de canaleta ou dispositivo para encaixe nas superfícies superior e inferior, e nem nas laterais, como foi proposto na ideia 4, isto poderia dificultar sua montagem.

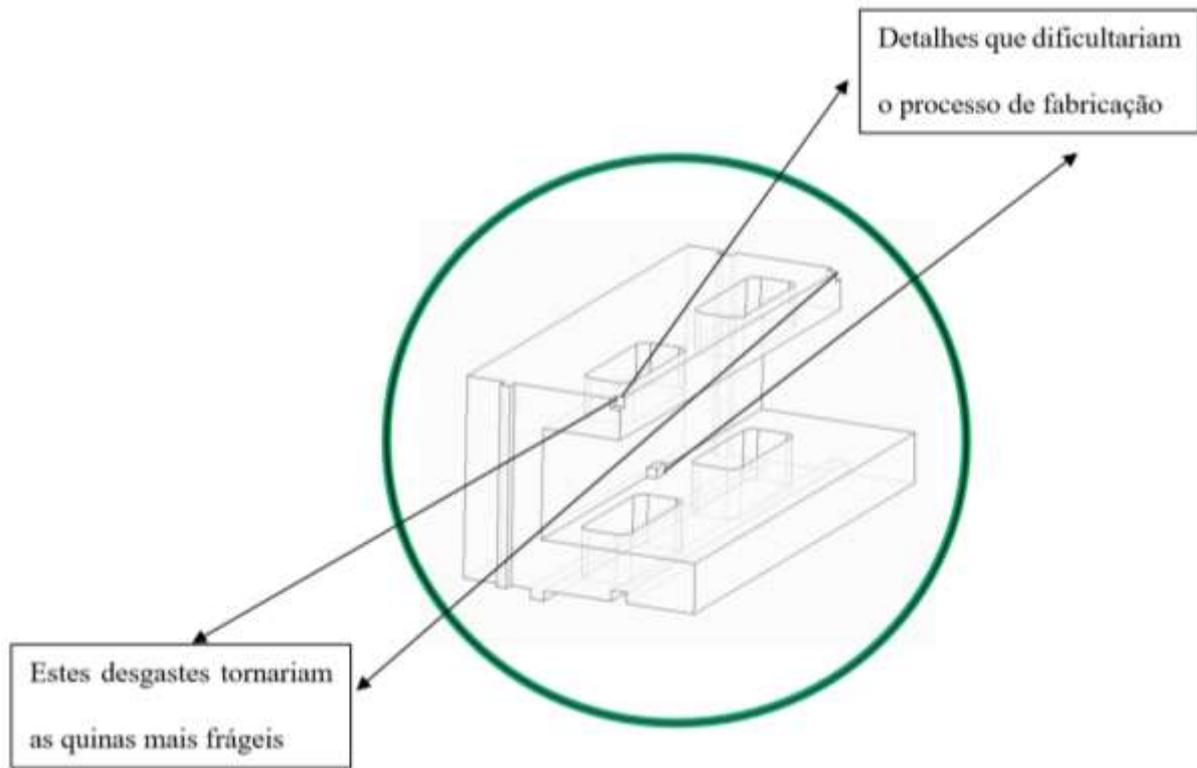
Figura 17 - Ideia 6.



Fonte: O próprio autor.

A ideia 7, representada pela figura 18, se parece muito com a ideia número 3, se difere apenas pela falta dos furos pensados para a fixação dos blocos através de barras que passariam por eles ao longo da parede. Quanto aos outros quesitos, seria o modelo que mais se enquadraria nos requisitos propostos para o produto, já que também necessita de duas partes para a montagem de um bloco, o que facilitaria o manuseio e acesso ao interior do bloco, além de apresentar canaletas nas superfícies e laterais para o encaixe dos blocos. Porém, ainda apresenta muitos detalhes e encaixes que dificultariam sua fabricação pelos métodos convencionais, como a saliência central, que auxiliaria na fixação horizontal do bloco, mas seria difícil de ser fabricado, além disso, os desgastes nas quinas para o encaixe desta saliência, tornaria esta região do bloco mais frágil, sendo facilmente quebrado durante seu transporte.

Figura 18 - Ideia 7.

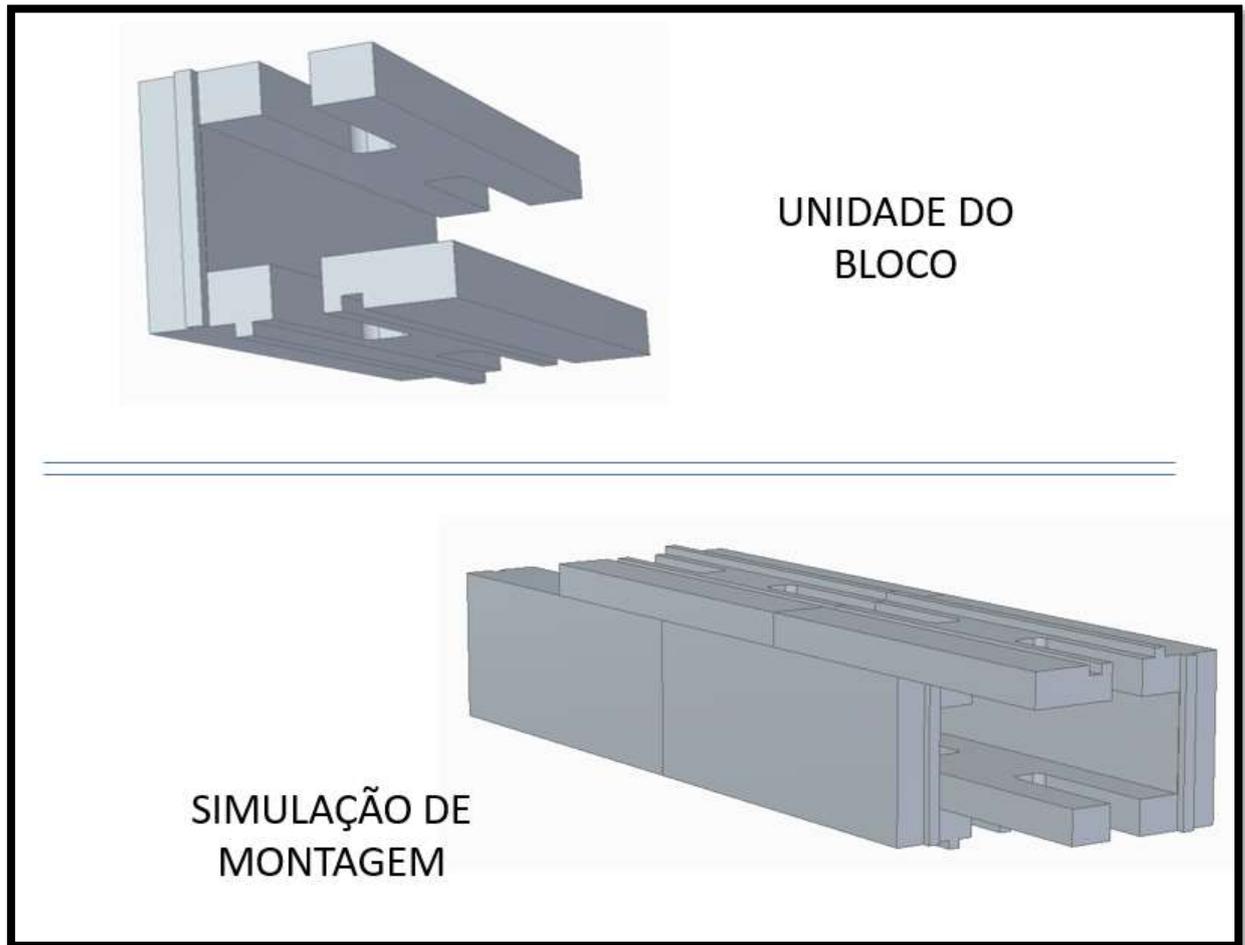


Fonte: O próprio autor.

Com base no resultado obtido através das ferramentas de seleção de ideias, elegeu-se o protótipo número 4 como sendo o de maior potencial para solucionar o problema em questão e ser viável no mercado, já que foi o modelo que obteve maior pontuação na Matriz de Seleção de Ideias.

A figura 19 apresenta uma imagem em 3D da ideia selecionada para passar para as etapas de testes e prototipação 3D.

Figura 19 - Ideia selecionada para a etapa de testes e prototipação 3D.



Fonte: O próprio autor.

A ideia escolhida necessita de duas unidades para a formação de um bloco. Esta característica torna o produto mais leve e de fácil manuseio, facilitando a movimentação e garantindo a ergonomia do produto. Além disso, possui encaixes intuitivos que aceleram o processo de montagem e diminui o desgaste diário do trabalhador, fator que também contribui para a redução do tempo de obra. A simulação da montagem apresentada na figura 19, mostra quatro unidades de blocos encaixados, deixando visível os furos verticais e espaços horizontais para a passagem dos sistemas hidráulico e elétrico, assim como toda a estrutura de sustentação: barras e cabos de aço.

#### 4.5 Etapas 7 e 8 da DSR: prototipação 3D e testes do produto

As etapas 7 e 8 do DRS, citadas anteriormente, aqui foram categorizadas como Prototipação e Testes, o que é considerado o terceiro procedimento sequencial do DT (Figura 20).

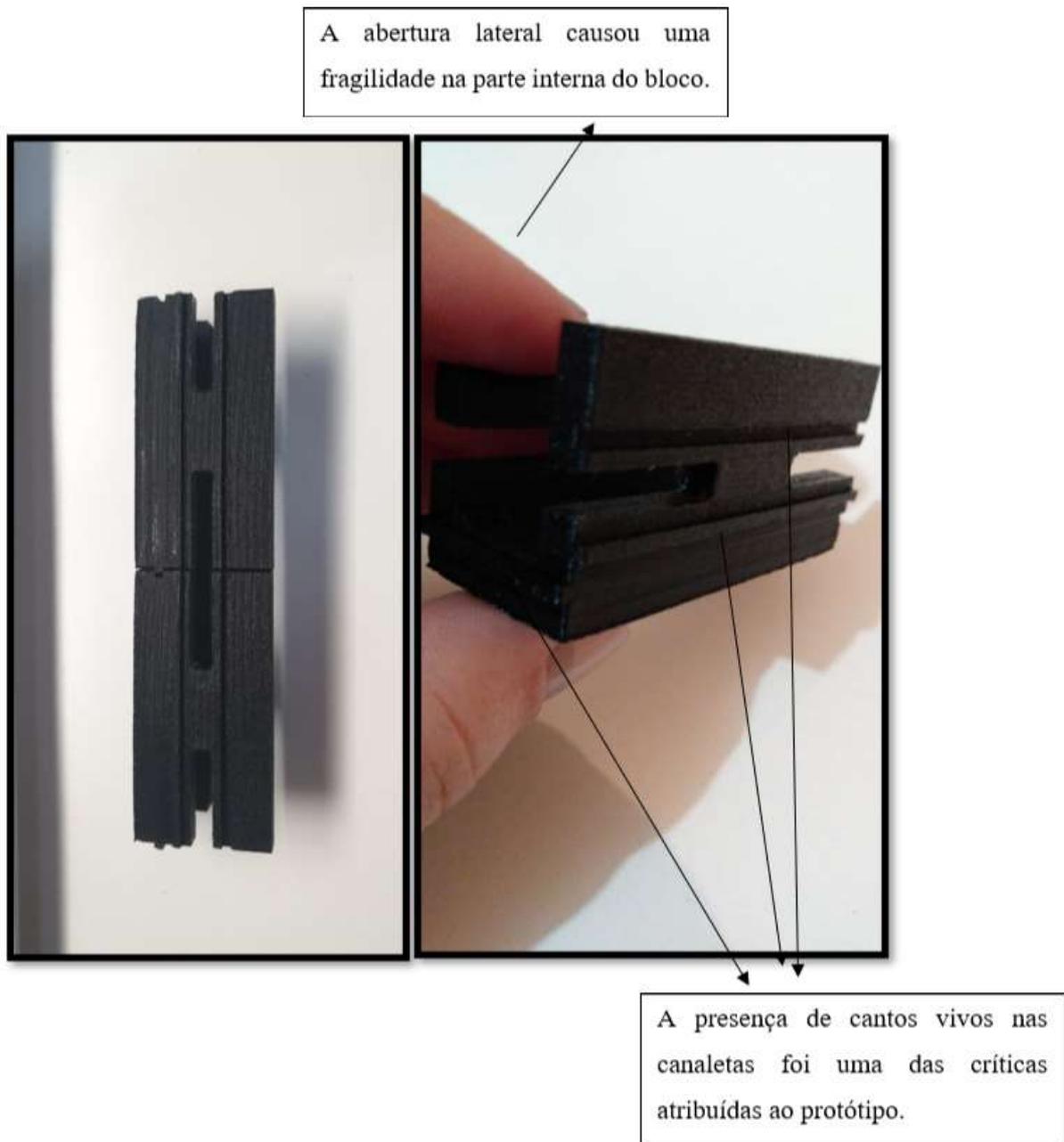
Figura 20 – Etapa Teste e Prototipação do Processo do *Design Thinking*.



Fonte: Adaptado de Kloeckner (2018).

O primeiro passo da etapa de teste e prototipação foi a impressão 3D de uma miniatura do bloco selecionado. O protótipo alcançou as expectativas de encaixe e disposição dos furos, como era esperado pelo desenho no *Solid Edge* (Figura 21), porém, demonstrou uma estrutura frágil, principalmente na parte interna do bloco. Além disso, foi criticada a existência de cantos vivos e ausência de um encaixe para travamento do movimento do bloco no sentido horizontal.

Figura 21 - Protótipo da ideia selecionada.



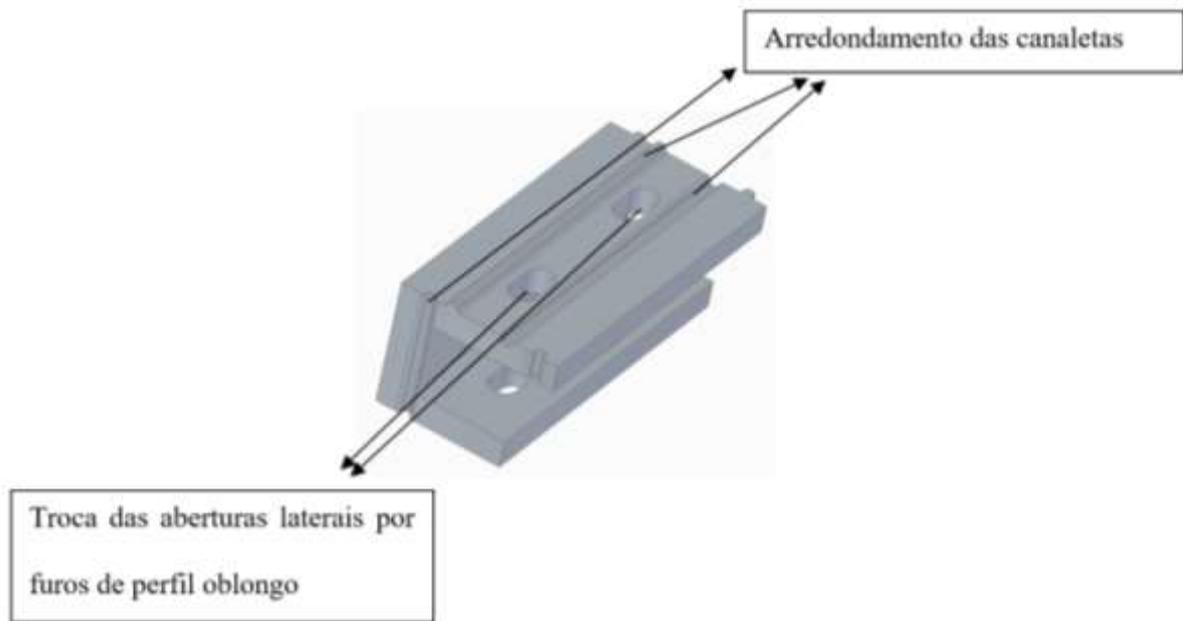
Fonte: O próprio autor.

A observação de uma engenheira civil também nos fez repensar a *design* para melhorar sua integração com o sistema de sustentação que está sendo desenvolvido em paralelo a este projeto, foi então adicionado ao bloco um encaixe lateral na parte superior, para que o encaixe lateral fosse completo.

O primeiro quesito a ser resolvido foi a presença de cantos vivos: as canaletas retas foram curvadas, assim como os encaixes laterais.

O segundo passo foi fechar a abertura lateral e transformá-la em um furo de perfil oblongo, o que garantiria maior resistência à parte interna do bloco. As alterações podem ser vistas na figura 22.

Figura 22 - Alterações sugeridas após análise do primeiro protótipo.

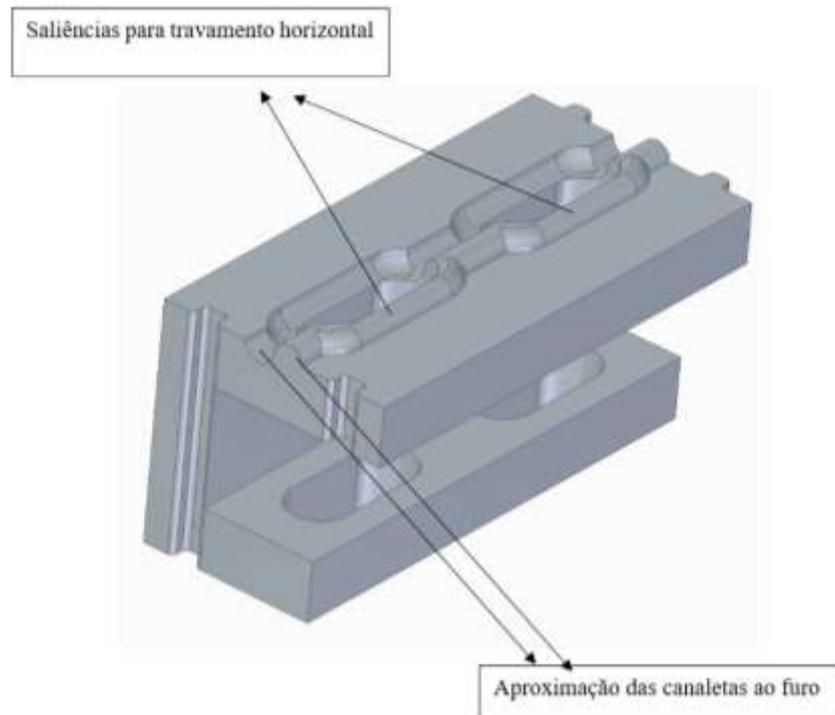


Fonte: O próprio autor.

Outro ponto ainda pendente de análise era a questão do movimento horizontal do bloco, já que o modelo ainda permitia que um deslizesse sobre o outro, antes que fossem feitas as amarrações. A ideia inicial era colocar no bloco uma saliência que encaixasse no furo do outro bloco, fixando-os assim horizontalmente, porém, isto apontaria uma fragilidade ao bloco, principalmente em relação ao seu deslocamento e transporte, além de elevar a complexidade de fabricação.

A solução encontrada foi que as canaletas da superfície se aproximassem do furo, de forma que a diferença do nivelamento entre elas, somadas ao contorno do furo, simulasse a saliência proposta. De forma iterativa, o bloco foi desenhado com as correções e as suas novas características no software *Solid Edge*, obtendo o seguinte desenho (Figura 23):

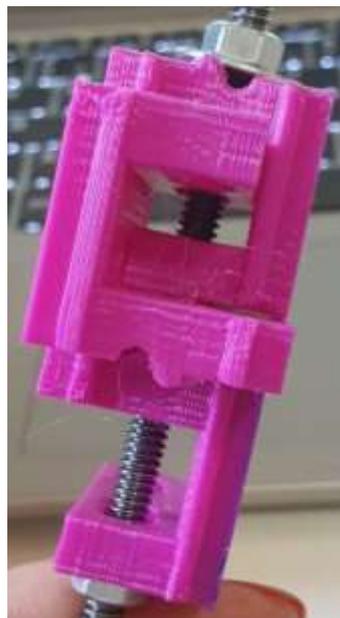
Figura 23 - Desenho com as novas alterações propostas.



Fonte: O próprio autor.

Definido o modelo, foi então impresso um bloco em escala reduzida (aproximadamente em escala 1:10), para que fossem testados os encaixes e possíveis falhas estruturais. A figura 24 apresenta três blocos impressos e encaixados, fixados por uma barra roscada para a simulação da estrutura da parede.

Figura 24 - Montagem do protótipo impresso em 3D.



Fonte: O próprio autor.

O protótipo (figura 24) foi aprovado pelos pesquisadores, já que o modelo se comportou como o esperado: os encaixes mostraram-se eficazes e intuitivos, não permitiram a movimentação horizontal e transversal do bloco, além de apresentar uma estrutura robusta, eliminando aspectos de fragilidade antes encontrados. Porém, os devidos testes deveriam ser feitos com o protótipo real.

O processo de fabricação escolhido para a produção de um exemplar do produto (elemento de preenchimento) em tamanho real foi a fundição, que consiste no preenchimento de um molde pela matéria-prima escolhida. A matéria-prima escolhida para essa primeira produção do artefato foi o gesso, devido a sua cura rápida e leveza final, no entanto, as misturas cimentícias também estão entre as matérias-primas que serão usadas na sequência como forma de representar o produto como ele será (em cimento). A produção do molde para o artefato em tamanho real se apresentou como um outro desafio, uma vez que a cura da matéria-prima levaria à rigidez do bloco, o que dificultaria muito a sua desmoldagem. Por esse motivo, a estratégia imaginada inicialmente pelos pesquisadores foi a produção do molde em silicone, de modo que sua flexibilidade pudesse ser usada para a desmoldagem da peça após o processo de cura. Esta estratégia, apesar de já ser conhecida dos pesquisadores (experiências anteriores com produção de artefatos de cimento com perfil complexo) demandaria tempo, pois a produção do molde exigiria primeiro a produção de um artefato em tamanho real, o que seria feito por impressão 3D, para a partir dele, se extrair o molde em silicone, processo esse que também demandaria tempo para a deposição das camadas necessárias para o ganho de rigidez do molde.

Com o objetivo de acelerar o processo de desenvolvimento do produto e usar de forma mais eficiente os recursos disponíveis, a equipe de pesquisadores resolveu partir para a produção direta do molde do elemento, por impressão 3D, o que foi possível graças a disponibilidade de materiais flexíveis para impressão, como o filamento TPU, e os recursos computacionais de *software* específicos (*Solid Edge*) que permitiram a impressão direta do negativo do bloco. Devido ao tamanho real do produto ser muito superior às dimensões de impressão do recurso (impressora 3D) e também com o objetivo de minimizar os riscos de uma impressão que demandasse elevado tempo de operação ininterrupto da impressora, a impressão do bloco foi feita em 6 partes, utilizando material flexível, fato que eliminou a necessidade do uso do silicone e também dos procedimentos de produção tradicional do molde, economizando tempo da pesquisa em pelo menos 1 mês e custos com materiais adicionais.

Os blocos obtidos serão submetidos aos testes de resistência a compressão e da retração por secagem, analisados quanto à dimensão e absorção de água, a fim de garantir que estejam dentro das especificações previstas na NBR12118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS, 2014) das normas ABNT para a construção civil, as quais ditam os métodos de ensaio que devem ser utilizados os blocos de concreto, sendo também verificados todos os requisitos especificados na NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016); quanto ao bloco de gesso, para garantir a função de vedação, cumprirá os requisitos e passará pela inspeção e controle prevista na NBR 166657 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Além disso, serão feitos testes de comparação da construção de uma parede composta com blocos tradicionais com os blocos propostos pelo projeto, para que possam ser comparados os tempos de construção, rendimento e produtividade do bloco.

#### **4.6 Etapa 9 da DSR: características diferenciais do produto**

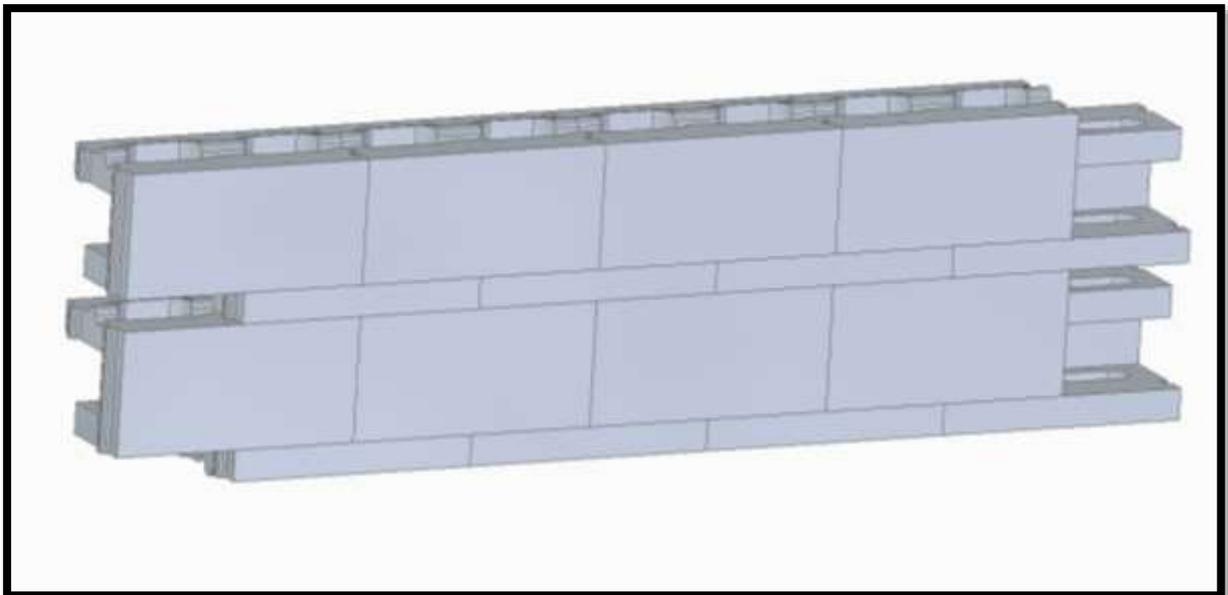
O produto proposto e desenvolvido nesta pesquisa possui duas características fundamentais que o diferencia dos demais blocos existentes no mercado para a mesma finalidade, qual seja, a de alvenaria de preenchimento na construção civil. A primeira e mais importante diferenciação do produto, reside em sua facilidade de montagem e desmontagem, possibilitados pela presença de encaixes multifuncionais e vazados, com disposição tanto na horizontal quanto na vertical do elemento. Esta inovação geométrica do elemento (encaixe vazado) garante não só a montagem intuitiva, como também a não obrigatoriedade da utilização de argamassa, uma vez que permitirá a passagem dos cabos de amarração horizontal e vertical, para seu travamento nos pilares de sustentação e nas vigas e contra piso, respectivamente, o que será feito por meio de barras de aço já utilizadas para construção. O uso da argamassa nos procedimentos tradicionais da construção civil, é uma etapa que demanda tempo e é responsável por um dos desperdícios mais críticos do processo construtivo de alvenaria. A segunda diferenciação do produto é ergonômica, devido ao seu menor peso comparado aos demais elementos, considerando a mesma área de preenchimento. Esta característica se dá em função do produto ser montado aos pares para o preenchimento da mesma área de um elemento tradicional, fato que obviamente aumenta o número de repetições durante a operação de alvenaria, no entanto, contribui para um esforço físico menor para o trabalhador. O esforço físico é o fator mais determinante para o envelhecimento funcional dos trabalhadores, concorrendo para sua saída do mercado de trabalho de forma precoce, segundo Ilmarinen, Tuomi e Klockars (1983).

A inteligência da engenharia está embutida no produto e em sua montagem singular, ou seja, o processo de montagem é único e intuitivo, e seus encaixes garantem que os conceitos prévios tanto da engenharia de produção, quanto da engenharia civil, estejam presentes na obra,

sendo possível a montagem e a desmontagem da alvenaria sem a necessidade de mão de obra especializada. Esta característica, junto com o fato de o produto ser leve e facilmente transportado, o tornam mais acessível à população, pois não necessita de mão-de-obra profissionalizada para a operação e nem de grandes maquinários para sua instalação e transporte. Além disso, o produto dispõe de um acabamento de boa qualidade, dispensando a necessidade de custos adicionais com esta etapa da obra.

A figura 25 ilustra a alvenaria de preenchimento (parede construída) com o bloco proposto, onde é possível observar as aberturas verticais e horizontais por onde podem passar tanto conduítes de energia, telefonia e água, quanto o sistema de fixação da parede. Vale ressaltar que o sistema de amarração e de sustentação (pilar) também estão sendo desenvolvidos dentro desta mesma filosofia, em processos investigativos paralelos, dentro do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara (UNIARA), com o intuito de preservar a identidade do processo, qual seja, a de montagem e desmontagem da alvenaria.

Figura 25 - Parede montada com o bloco proposto.



Fonte: O próprio autor.

#### 4.7 Etapa 10 da DSR: prós e contras do produto

Apresentar um *design* diferente do padrão pode causar um preconceito por parte do consumidor, já que isto vai de encontro ao método tradicional da construção civil. Além disso, outra desvantagem do bloco é que seu custo unitário (duas partes) provavelmente será maior

que o custo unitário de um bloco tradicional, já que não poderá ser feito por um processo de fabricação de grande escala, porém este valor será compensado pela não utilização de argamassa no processo de montagem, redução dos resíduos e tempo de obra, além da sua possibilidade de reutilização e início de um novo ciclo de vida para o produto. Estes cálculos serão feitos após os testes e comparação dos modelos construtivos, para que possa comprovar a economia do modelo proposto: a etapa programada para ser executada após a finalização da dissertação corresponde ao teste de resistência e comparação com os materiais e traços utilizados na mistura para poder comprovar tecnicamente a viabilidade do *design*.

Por outro lado, o modelo proposto é um dos únicos que possui os conceitos do DfD em sua montagem, sendo possível a desmontagem e reutilização de todo material envolvido na etapa de fechamento da obra. Este processo não apenas garante a economia financeira do processo, provocada pela reutilização do produto, como também garante a economia pela inexistência de custos para a etapa de demolição, já que esta não existe para este modelo construtivo. Esta característica do bloco prolonga o ciclo de vida do produto, contribui para a redução de utilização de recursos não-renováveis e evita a deposição de materiais em aterros.

Um outro aspecto que se deve destacar é a facilidade que os encaixes proporcionam na montagem, proporcionando ao processo uma auto correção que dificilmente é vista nos demais blocos tradicionais, garantindo a qualidade do processo construtivo.

Desta forma, embora possa enfrentar alguma barreira cultural, o bloco proposto possui propriedades que podem garantir moradia às pessoas de baixa renda e populações em condição de vulnerabilidade como migrantes, deslocados e refugiados, pela sua economia, facilidade e agilidade no processo construtivo, sendo que os próprios moradores podem montar suas casas. O benefício ambiental também se faz presente quando consideradas a reutilização de materiais, e conseqüente redução do descarte de materiais não-renováveis, e também inexistência de maquinários em todo seu processo, desde a produção até sua reutilização, contribuindo para a redução de emissão de carbono.

#### **4.8 Etapa 11 da DSR: uma solução para determinados problemas na construção civil de pequeno porte**

Considerando o contexto da construção civil e o cenário mundial atual, moradias de rápido e fácil acesso para a população de baixa renda e para o reassentamento de populações em estado de elevada vulnerabilidade como refugiados, imigrantes e deslocados, pode ser uma solução inovadora para o problema de falta de habitação adequada enfrentado por mais de 1

bilhão de pessoas no mundo. O produto proposto é pré-fabricado e abrange as etapas de fechamento e acabamento da obra, e carrega consigo a filosofia *Lean Construction* e os conceitos da engenharia, garantindo a redução de perdas e desperdícios presentes nas principais etapas da construção civil, fatores que garantem a redução e agilidade do processo.

O seu fácil manuseio soluciona os problemas presentes nos outros modelos de produtos pré-fabricados dispostos no mercado, como a necessidade de grandes maquinários para sua utilização, enquanto sua simplicidade de montagem tende a reduzir o tempo de obra, desperdícios de material e custos com mão-de-obra.

Desta forma, é possível afirmar que o produto atende o seu objetivo quanto à solução de problemas na construção civil. O *design* do produto pode ser considerado um aspecto importante para a garantia do produto final (parede) pois em função de seu encaixe natural, permite melhor alinhamento tanto horizontal quanto vertical, aspecto que no processo tradicional carece de atenção contínua e frequente acompanhamento e correção.

Vale ressaltar que o bloco é apenas um dos itens necessários para a execução da obra; o sistema de sustentação que atende aos princípios do *Design for Deconstruction*, possibilitando a desmontagem e reutilização da alvenaria apresentada nesta pesquisa, também está em desenvolvimento, porém ainda são necessários diversos estudos para o desenvolvimento dos demais produtos utilizados na construção que tenham capacidade de se integrar com o bloco proposto, como portas, janelas, telhado, sistemas elétricos e hidráulicos, entre outros, pois apenas a interação destes produtos pode garantir a possibilidade de total desmontagem e reutilização dos materiais na construção como um todo. Deste modo, este trabalho apresenta-se como parte de um projeto mais amplo, que engloba todas as etapas da construção civil, e que tem como objetivo principal o desenvolvimento de todos os elementos necessários para que a obra tenha possibilidade total de desmontagem e reutilização.

#### **4.9 Etapa 12 da DSR: comunicação dos resultados**

Para tentar disseminar esta solução e disponibilizar o produto para o mercado, será depositado o pedido de patente de Modelo de Utilidade do produto, o qual está em quase sua totalidade redigido e discrimina as especificações estruturais e diferenciais atribuídos ao bloco que ainda requerem sigilo, assim como suas reivindicações.

Após o depósito da patente, a comunicação dos resultados poderá ser mais bem trabalhada, e publicados tanto em periódicos específicos da área, como também em congressos e eventos, que divulgam inovações e soluções para a construção civil.

## 5 CONCLUSÕES

Como proposto por Koskela (1992), aplicar os conceitos do *Lean* à construção civil tende a reduzir a quantidade de desperdícios no canteiro de obra, sejam eles de materiais, tempo ou mão-de-obra. Seguindo sua evolução, a pré-fabricação destaca-se como atual alternativa para que o *Lean Construction* possa ser executado nas construções, fato que levou o mercado a investir em alguns tipos de produtos pré-fabricados, como apresentado na literatura. Porém, estes produtos ainda apresentam limitações quanto ao atendimento pleno da filosofia *Lean Construction*, principalmente em relação às construções de pequeno porte e baixo custo, que impõem restrições ao uso destes elementos e os tornam inacessíveis à população de baixa renda. As principais limitações identificadas na literatura a respeito da tecnologia de pré-fabricação são o acesso por parte da população de baixa renda, a necessidade de mão-de-obra especializada para construção, necessidade de maquinários de alto custo, e também a alta quantidade de emissão de gases causadas durante o ciclo de vida do produto, desde sua fabricação até sua demolição, assim como seus resíduos, que se devem ao fato desses produtos não serem reutilizáveis, como é proposto pelo *Design for Deconstruction*, que visa a desmontagem e reutilização dos produtos, aumentando seu ciclo de vida e reduzindo o impacto ambiental.

Neste contexto, o cenário demográfico mundial e em especial o *déficit* habitacional dos países de uma forma geral, o impacto ambiental causado pelos resíduos da construção civil e pelos processos de demolição de obras, e as limitações identificadas na literatura, apresentadas pela tecnologia da pré-fabricação foram os fatores que motivaram os pesquisadores a desenvolver um produto que contribuísse para superar as restrições apresentadas e fornecesse uma solução sustentável à construção, que contemplasse os anseios ambientais, sociais e econômicas do segmento.

Esta seção trata das conclusões a respeito da solução do problema de pesquisa que norteou esse processo de investigação, qual seja: qual produto pode ser desenvolvido, segundo a tecnologia da pré-fabricação, que atenda aos princípios do *Lean Construction* e do DfD e que tenha as funções de vedação, pré-fabricado e desmontável para ser utilizado em construções de pequeno porte?

O uso conjunto de uma metodologia que visa a busca pela solução de problemas, como foi a *Design Science Research*, e um processo ágil para o desenvolvimento de produtos, como o *Design Thinking*, mostrou ser eficaz na condução dos procedimentos científicos para a resolução de um problema que tinha como base o desenvolvimento de um artefato. As ações consorciadas dos métodos citados, proporcionou mais agilidade ao processo de investigação e

auxiliou na identificação das características necessárias para desenvolver um produto que atendesse ao objetivo da pesquisa: identificou os desejos do usuário e as limitações de fabricação através de pesquisas, observações e compartilhamento de ideias entre os pesquisadores, possibilitado pela utilização do *Brainstorming* e Prototipação 2D, que determinaram os pré-requisitos do produto e quais suas principais características.

Com o auxílio de ferramentas como Diagrama de Venn, Matriz de Seleção de Ideias e utilização de um *software* de desenho auxiliado por computador/CAD (*SolidEdge*), os pesquisadores desenvolveram o protótipo de um produto pré-fabricado e desmontável, que por não necessitar de argamassa, pode ser reutilizado, além de possuir encaixes e saliências que tornam sua montagem intuitiva, não sendo necessária mão-de-obra especializada, o que contribui para a facilidade de acesso por parte da população de baixa renda. A obtenção de um protótipo 3D e a condução cíclica das críticas perante o produto, previstas no *Design Thinking*, permitiram que a questão de pesquisa fosse solucionada e o produto entregue. Ainda assim, uma reavaliação do produto deverá ser feita após sua aplicação em ambiente real, o que só poderá ocorrer após sua produção em tamanho real e larga escala, para que possam ser analisadas e comprovadas, tanto a produtividade do usuário, quanto a maneabilidade do produto.

O projeto atingiu seu objetivo, porém, muitas limitações foram enfrentadas durante o curso da pesquisa, tais como a falta de recursos tecnológicos e financeiros que permitissem o ensaio mais rápido e em maior escala dos protótipos e o distanciamento de outros centros de pesquisa que poderia ter acelerado o desenvolvimento do produto e a escolha de materiais, além disso, a falta de acesso à biblioteca e aos laboratórios da instituição por conta da pandemia atual também dificultou e atrasou a concepção dos protótipos do produto.

Exaltada a necessidade dos demais itens para a construção, como pilares, telhados, portas, janelas, sistemas hidráulicos e elétricos, sugerem-se ideias para pesquisas futuras, como o desenvolvimento destes próprios elementos de modo a comungarem da mesma filosofia que norteou o produto desta investigação, qual seja, o atendimento às premissas dos sistemas DfD que se baseiam no design para desmontagem e reaproveitamento do artefato, prolongando sua vida útil, e que também possam interagir com o produto proposto, com a finalidade de obter uma obra completamente sustentável e mais acessível.

## REFERÊNCIAS

- ANTILLÓN, E. I.; MORRIS, M. R.; GREGOR, W. A value-based cost-benefit analysis of prefabrication processes in the healthcare sector: a case study. In: Kalsaas, BT, Koskela, L. & Saurin, TA, Proc. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2014, Oslo, **Anais...**, Oslo: IGLC, 2014, p. 25-27.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16657**: Bloco de gesso — Alvenaria de vedação — Execução, inspeção e controle. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro, 2016.
- AYINLA, K. O.; CHEUNG, F.; TAWIL, A. Demystifying the concept of offsite manufacturing method: Towards a robust definition and classification system. **Construction Innovation**, 2019. doi:[10.1108/CI-07-2019-0064](https://doi.org/10.1108/CI-07-2019-0064)
- BABALOLA, O.; IBEM, E. O.; EZEMA, I. C. Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review. **Building and Environment**, v. 148, p. 34-43, 2019. doi:[10.1016/j.buildenv.2018.10.051](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051)
- BAGHCHESARAEI, A.; KAPTAN, M. V.; BAGHCHESARAEI, O. R. Using prefabrication systems in building construction. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 10, n. 24, p. 44258-44262, 2015.
- BAJJOU, M. S.; CHAFI, A.; ENNADI, A. Development of a Conceptual Framework of Lean Construction Principles: An Input–Output Model. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 18, n. 01, p. 1-34, 2019. doi:[10.1142/s021968671950001x](https://doi.org/10.1142/s021968671950001x)
- BAMANA, F.; LEHOUX, N.; CLOUTIER, C. Just in Time in Construction: Description and Implementation Insights. In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2017, Heraklion, **Anais...**, Heraklion: IGLC, 2017, pp 763-770.
- BAMANA, F.; LEHOUX, N.; CLOUTIER, C. Simulation of a construction project: assessing impact of just-in-time and lean principles. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 5, p. 05019005, 2019.
- BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R.. Adoption of pre-fabrication in construction to achieve sustainability goals: an empirical study. In: **Construction Research Congress 2016**. 2016. p. 1050-1060. doi:[10.1061/9780784479827.106](https://doi.org/10.1061/9780784479827.106)
- BROWN, T. Design thinking. **Harvard business review**, v. 86, n. 6, p. 84, 2008.
- CARVAJAL-ARANGO, D.; BAHAMÓN-JARAMILLO, S.; ARISTIZÁBAL-MONSALVE, P.; VÁSQUEZ-HERNÁNDEZ, A.; BOTERO BOTERO, L. F. Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during

construction phase. **Journal of Cleaner Production**, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.216

COOPER, R.G. **Produtos que dão certo**. Tradução Silvio Floreal de Jesus Antunha. São Paulo: Saraiva, 2013.

CORVELLO, F; HERMOSILLA, J; AMARAL, C; GALATI, I; SILVA, E. Prefabrication in the Lean Construction context: limitations and challenges in the current scenario. In: **International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management-IJCIEOM 2020**. 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; ANTUNES JR; J.A.V. **Design Science Research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; MIGUEL, P.A.C. Uma Análise Distintiva entre o Estudo de Caso, A Pesquisa-Ação e a Design Science Research. **R. Bras. Gest. Neg.**, Vol. 17, n. 56, p. 1116-1133, 2015.

GALLARDO, C. A. S.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Productivity gains in a line flow precast concrete process after a basic stability effort. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 4, p. B4013004, 2014.

GAO, S.; LOW, S. P.; NAIR, K. Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 14, n. 6, p. 440-456, 2018. doi:10.1080/17452007.2018.1502653

IACOVIDOU, E.; PURNELL, P. Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse. **Science of the Total Environment**, v. 557, p. 791-807, 2016. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.098

ILMARINEN, J; TUOMI, K; KLOCKARS, M. Changes in the work ability of active employees as measured by the work ability index over an 11-year period. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, v.23, 1997, Suppl. 1, p. 49-57.

**INPI** – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. [SD] Disponível em < <http://www.inpi.gov.br/>> . Acesso em 20 Nov 2019.

JAILLON, L.; POON, C. S. Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. **Automation in Construction**, 2013.

JIAO, J.; ZHANG, R. Design thinking: a Fruitful Concept for Strategic Enterprise Management. In: International Conference on Education, Management and Computing Technology ICEMCT, 15, 2015, Tianjin, **Anais...**, Tianjin: Atlantis Press, 2015.

JIN, R.; GAO, S.; CHESGMEHZANG, A.; ABOAGYE-NIMO, E. A Holistic Review of off-site Construction Literature Published between 2008 and 2018. **Journal of Cleaner Production**, 20, 1202-1219, 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.195

KESIDOU, S. L.; SORRELL, S. Low-carbon innovation in non-domestic buildings: The importance of supply chain integration. **Energy Research & Social Science**, 25, 195-213, 2018. doi:10.1016/j.erss.2018.07.018

KLOECKNER, A. P. **A Operacionalização do Design Thinking**: Proposição de uma abordagem apoiada nas competências para inovar. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

KRAFCIK, J.F. Triumph of the Lean Production System. **MIT International Motor Vehicle Program**, Vol. 30, 1988.

LACERDA, D.P.; DRESH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR, J.A.V. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013

LI, L.; LI, Z.; LI, X.; WU, G. A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization. **Engineering Construction and Architectural Management**, 2018.

LI, L.; LI, Z.; LI, X.; ZHANG, S.; LUO, X. A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization. **Journal of Cleaner Production**, 244, 118469, 2020. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118469

MOSTAFA, S.; CHILESHE, N.; ABDELHAMID, T. Lean and agile integration within offsite construction using discrete event simulation. **Construction Innovation**, 2016. doi:10.1108/ci-09-2014-0043

NAVARATNAM, S.; NGO, T.; GUNAWARDENA, T.; HERDERSON, D. Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. **Buildings**, 2019.

OHNO, T. How the Toyota Production System was Created. **Japanese Economic Studies**, 10:4, 83-101, 1982.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Reassentamento de refugiados poderá ter queda recorde em 2020**. 2020. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/101780-reassentamento-de-refugiados-podera-ter-queda-recorde-em-2020>>. Acesso em: novembro 2020.

PINHO, S.A.C.; LORDSLEEM JR, A.C. O custo da perda de blocos/tijolos e argamassa da alvenaria de vedação: estudo de caso na construção civil. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS (CBC), **Anais...**, Fortaleza, CE, 2009.

POLAT, G.; DAMCI, A.; TURKOGLU, H.; GURGUN, A. P. Identification of root causes of construction and demolition (C&D) waste: The case of Turkey. **Procedia engineering**, v. 196, p. 948-955, 2017. doi:10.1016/j.proeng.2017.08.035

SHAHPARI, M.; SARADJ, F. M.; PISHVAEE, M. S.; PIRI, S. Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. **Journal of Building Engineering**, v. 27, p. 100979, 2020.  
doi:10.1016/j.jobe.2019.100979

SOLAIMANI, S.; SEDIGHI, M. Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119213, 2019.  
doi:10.1016/j.jclepro.2019.119213

SORIANO, B. S.; GIMENO, P. V.; SEGURA, A. D.; MAZA, R.M. Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**, v. 83, p. 186-194, 2014.

SULZBACH, S.L. **Sistema construtivo parede de concreto: comparativo entre pré-fabricação e moldagem in loco**. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

TAM, V.W.Y.; FUNG, I. W. H.; SING, M. C. P.; OGUNLANA, S. O. Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 216-231, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.045

WANG, Q.; ZHANG, S.; WEI, D.; DING, Z. Additive Manufacturing: A Revolutionized Power for Construction Industrialization. In: International Conference on Construction and Real Estate Management 2018, South Carolina, **Anais...**, South Carolina: ASCE, 2018, pp. 85-94. doi:10.1061/9780784481721.010

WOMACK, J. **Gemba Walks: Expanded 2nd Edition**. Lean Enterprise Institute, 2013.