

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ELTON DAS CHAGAS COSTA**

**AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA  
CONSTRUÇÃO DE CASAS PRÉ-FABRICADAS**

**RECIFE  
2017**

**ELTON DAS CHAGAS COSTA**

**AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA  
CONSTRUÇÃO DE CASAS PRÉ-FABRICADAS**

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Prof<sup>a</sup>. Dr. Luciana Hazin Alencar

**RECIFE  
2017**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- C837a Costa, Elton das Chagas.  
Avaliação multicritério dos sistemas construtivos para construção de casas pré-fabricadas / Elton das Chagas Costa. - 2017.  
78 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Luciana Hazin Alencar.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.  
Inclui Referências.
1. Engenharia de Produção. 2. Sistemas construtivos. 3. Decisão multicritério. 4. Construção civil. 5. Interesse social. I. Alencar, Luciana Hazin. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-158



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA**  
**DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE**  
**MESTRADO PROFISSIONAL DE**

**ELTON DAS CHAGAS COSTA**

**“AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA**  
**CONSTRUÇÃO DE CASAS PRÉ-FABRICADAS”**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL**

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a) citado(a), considera o candidato **ELTON DAS CHAGAS COSTA. APROVADO.**

Recife, 23 de novembro de 2017.

---

Prof<sup>a</sup>. LUCIANA HAZIN ALENCAR, Doutora (UFPE)

---

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Doutor (UFPE)

---

Prof<sup>a</sup>. RACHEL PEREZ PALHA, Doutora (UFPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por mais uma vitória alcançada e pela força e inspiração concedida para enfrentar as dificuldades que surgiram durante este curso. Aos meus pais, Evangelista e Francisca Ivonilda, um especial agradecimento, pois mesmo na humildade, me forneceram, só através de palavras, mais principalmente com exemplos práticos de perseverança e honestidade, que de forma inconsciente me conduziram a este momento, e à minha esposa Juciene que me acompanhou desde o início desse desafio. A todos os meus familiares, que sempre me apoiaram, incentivaram e me ajudaram a seguir em frente. À minha orientadora Luciana Hazin Alencar, pela paciência e por partilhar comigo o seu conhecimento. A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelos conhecimentos repassados em sala de aula, que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional, evolução no modo de pensar e analisar os fatos comuns do dia a dia e na construção desse trabalho. Aos amigos do mestrado de Engenharia de Produção que compartilharam comigo os seus conhecimentos, momentos de distração, desafios e momentos de superação durante as etapas do mesmo. A todos que, direta ou indiretamente, me apoiaram, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

A presente dissertação objetiva identificar e ranquear sistemas construtivos inovadores já consolidados no cenário da construção civil brasileira, de acordo com sua capacidade de fornecer edificações para fins residenciais a um menor custo, menor tempo de construção, maior capacidade de verticalização, e maior resistência às condições ambientais. Para isso utilizou-se de metodologias de análise multicritério, fornecendo uma melhor visão do cenário de decisão. Apesar de a pesquisa englobar pontos que beneficiem a projetos de interesse social, visa-se abranger construções para fins habitacionais para qualquer nível econômico, entre outros resultados, pode-se destacar o aprimoramento do conhecimento sobre os diversos sistemas construtivos disponíveis e o desenvolvimento de uma metodologia flexível que possa avaliar o potencial de um, ou conjunto de sistemas construtivos adequados as características regionais ao qual o projeto se destina, além de estimar os custos de produção, parra isso se fez necessário a aplicação de métodos matemáticos de apoio a decisão, onde método PROMETHEE II da família dos métodos não compensatórios, foi utilizado para a ordenação dos sistemas construtivos, proporcionando ao tomador de decisão a possibilidade de simular diversos cenários de escolha. Assim é possível sugerir o sistema construtivo a ser utilizado com maior segurança para investimento ou mesmo para divulgação de novas tecnologias no setor da construção civil da região de Marabá-PA, onde o sistema construtivo em paredes de concreto armado moldadas no local, seguido do Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto, também conhecido como sistema monolítico, mostraram-se boas alternativas para o desenvolvimento de projetos imobiliários na região.

*Palavras-chave: Sistemas construtivos. Decisão multicritério. Construção civil. Interesse social.*

## ABSTRACT

The present dissertation aims at identifying and ranking innovative construction systems already consolidated in the Brazilian civil construction scenario, according to its capacity to provide buildings for residential purposes at a lower cost, shorter construction time, greater verticalization capacity, and greater resistance to conditions environmental impacts. For this, we used multicriteria analysis methodologies, providing a better view of the decision scenario. Although the research encompasses points that benefit social interest projects, it is intended to cover constructions for housing purposes for any economic level, among other results, it is possible to highlight the improvement of the knowledge about the different constructive systems available and the development of a methodology that can evaluate the potential of a, or set of constructive systems adequate to the regional characteristics to which the project is destined, besides estimating the costs of production, so it was necessary to apply mathematical methods of decision support, where method PROMETHEE II from the family of non-compensatory methods, was used for the ordering of the constructive systems, giving the decision maker the possibility to simulate several scenarios of choice. Thus it is possible to suggest the constructive system to be used with greater security for investment or even for the dissemination of new technologies in the civil construction sector of the Marabá-PA region, where the construction system in reinforced concrete walls molded in place, followed by the System (EPS), steel and mortar, microconcrete or concrete, also known as monolithic systems, have proved to be good alternatives for the development of real estate projects in the region.

*Keywords: Construction systems. Multicriteria decision. Construction. Social interest.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Detalhes de encaixe, sistema modular para construções de casas em madeira .....	25
Figura 2 - Partes componentes do sistema com a utilização de formas de alumínio .....	30
Figura 3 - Posicionamento das lajotas cerâmicas .....	31
Figura 4 - Posicionamento das malhas superiores e inferiores das armaduras.....	31
Figura 5 - Esquema da seção transversal do painel com 115mm de espessura.....	32
Figura 6 - Montagem dos quadros estruturais das paredes e cobertura constituídos de perfis leves de aço de uma unidade habitacional térrea .....	33
Figura 7 - Fechamento da face externa dos quadros estruturais com placas cimentícias em uma unidade habitacional térrea .....	34
Figura 8 - Esquema de montagem do sistema “Concreto-PVC” .....	35
Figura 9 - Casa popular construída no sistema “Concreto-PVC” .....	35
Figura 10 - Montagem de unidade habitacional térrea isolada.....	37
Figura 11 - Unidade habitacional térrea isolada – “Sistema leve em madeira – TECVERDE” .....	37
Figura 12 - Painéis estruturais, sem reforços; b) painéis estruturais com perfis de reforços integrados na fase de fabricação.....	38
Figura 13 - Ciclo construtivo do sistema.....	39
Figura 14 - Tipos de configurações de parede objeto desta Diretriz.....	40
Figura 15 - Método de projeção de argamassa.....	41
Figura 16 - Construção do madeiramento do telhado .....	41
Figura 17 - Obra concluída.....	42
Figura 18 - Estrutura do modelo de decisão.....	43
Figura 19 - Planta baixa casa popular .....	45
Figura 20 - Ranking resultante da análise .....	62
Figura 21 - Ranking resultante da mudança dos pesos dos critérios I e II. ....	63
Figura 22 - Ranking resultante da mudança dos pesos dos critérios I e II com a utilização da segunda curva para o critério Tempo de construção do empreendimento. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Demandas Demográficas por Domicílios a Acrescentar (2005 –2020).....	13
Tabela 2- Critério Generalizado.....	22
Tabela 3- Sistemas Construtivos avaliados pelo SINAT .....	28
Tabela 4- Legenda para identificação dos sistemas construtivos.....	46
Tabela 5- Distribuição percentual do déficit habitacional urbano por faixas de renda média familiar mensal .....	46
Tabela 6- Levantamento da infraestrutura mínima de apoio ao sistema de paredes pré-moldadas .....	48
Tabela 7- Custo unitário por edificação .....	49
Tabela 8- Prazo para entrega do empreendimento .....	50
Tabela 9- Classificação dos sistemas construtivos quanto sua capacidade de suportar a agressividade ambiental.....	51
Tabela 10- Classificação dos Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo.....	52
Tabela 11- Classificação dos Sistemas Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo .....	53
Tabela 12- Vida útil de projeto mínima .....	54
Tabela 13 - Capacidade máxima de verticalização .....	55
Tabela 14 - Matriz de avaliação .....	56
Tabela 15 - Matriz consequência para a seleção de sistemas construtivos .....	57
Tabela 16 - Intensidade de preferência para o critério custo da unidade habitacional .....	59
Tabela 17 - Intensidade de preferência para o critério Tempo de construção do empreendimento .....	59
Tabela 18 - Intensidade de preferência para o critério Potencial de Verticalização.....	60
Tabela 19 - Intensidade de preferência para o critério Resistencia ao fogo .....	60
Tabela 20 - Intensidade de preferência para o critério Resistência a agressividade ambiental.....	60
Tabela 21- Fluxos de sobre classificação.....	61
Tabela 22 - Fluxo de sobreclassificação obtido com a variação do peso dos critérios I e II.....	63

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 .....	22
Equação 2.2 .....	23
Equação 2.3 .....	23
Equação 2.4 .....	23
Equação 4.1 .....	61
Equação 4.2 .....	61
Equação 4.3 .....	61
Equação 4.4 .....	61

## ***LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS***

PAC - Programa de aceleração do crescimento

SINAP - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

ELECTRE - Elimination et Choix Traduisant la Réalité

PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

DATec - Documento de Avaliação Técnica

ITA - Instituição Técnica Avaliadora

OSB - Oriented Strand Board

XPS - Poliestireno extrudado

PUR - Poliuretano

PUR - Poli-isocianurato

PIR - Poliuretano modificado

EPS - Poliestireno expandido

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

IBGE - Instituto Brasileiro de geografia e estatística

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

IGPM - Índice Geral de Preços do Mercado

VUP - Vida útil de projeto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	Objetivo Geral .....	14
1.2.2	Objetivos Específicos .....	14
1.3	METODOLOGIA.....	15
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
2.1.1	Características dos processos construtivos da indústria da construção civil.....	17
2.1.2	Mecanismos e conceitos de análise multicritério .....	20
2.2	REVISÃO DA LITERATURA .....	23
2.2.1	Características dos Sistemas construtivos pré-fabricados .....	23
2.2.2	Iniciativas para o desenvolvimento de técnicas construtivas inovadoras.....	26
2.2.3	Apropriação dos dados para análise .....	28
<b>3</b>	<b>MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO</b> ...	<b>43</b>
3.1	INTELIGÊNCIA .....	44
3.2	DESENHO .....	44
3.2.1	Custo de construção unitário ou custo por unidade habitacional construída.....	46
3.2.2	Tempo de construção do empreendimento.....	49
3.2.3	Resistência a agressividade ambiental.....	50
3.2.4	Resistência ao fogo.....	51
3.2.5	Tempo estimado para a primeira manutenção.....	53
3.2.6	Potencial de Verticalização.....	54
3.2.7	Resíduo gerado /m <sup>2</sup> .....	55
3.3	ESCOLHA .....	56
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DECISÃO</b> .....	<b>57</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E DOS CRITÉRIOS DE DECISÃO .....	57
4.2	DEFINIÇÃO DOS PESOS E APLICAÇÃO DO PROMETHEE 2 .....	58
4.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	62
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>66</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	66
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de atender a demanda crescente por habitações, e a sustentabilidade em função da procedência dos materiais empregados nas construções, assim como os impactos diretos e indiretos provocados durante a construção e ao longo do seu período de utilização, os custos e o domínio da tecnologia, aliado a cultura popular, são alguns dos quesitos que são, ou deveriam ser analisados na fase de projeto de um empreendimento imobiliário.

Sendo assim este trabalho tem como objetivo identificar sistemas construtivos que atendam ao exposto, e que possuam potencial para industrialização, no sentido de modificar o caráter itinerante da construção civil tradicional, onde a ferramenta construtiva necessita se deslocar até o local de destino do produto.

As tecnologias empregadas em projetos de construção, como os específicos para construção pesada, como pontes, barragens e outro, não serão abordadas, devido ao elevado grau de especificação que esses tipos de obras demandam.

A pesquisa se concentrará nas tecnologias consolidadas no mercado, ou mesmo em sistemas construtivos alternativos que possam ser empregados na construção de casas para fins residenciais uni ou multi-familiares.

Evangelista et al (2010) descrevem que principalmente após a segunda guerra diversas tecnologias foram desenvolvidas durante a reconstrução dos países arrasados pela conflito, onde buscava-se fazê-lo de forma rápida e com o mínimo de recursos. Hoje a tendência é utilizar técnicas que eliminem ou reduzam os impactos ambientais gerados, seja pela extração ou processamento da matéria prima, assim como, a produção de resíduos gerados durante o processo de construção, como descrito por Evangelista et al (2010), onde a utilização de resíduos de construção civil pode significar uma considerável economia na produção de concretos, argamassas, blocos de concreto, elementos pré-moldados e em pavimentação, onde para produção de concreto o mesmo pode substitui parcialmente ou totalmente os agregados, que dependendo da dosagem, apresentaram resistência a compressão superior aos que utilizaram somente agregados naturais.

Contudo diversos sistemas são soluções pontuais própria e específicas para os locais de origem, não sendo uma solução genéricas para todas as regiões do globo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Geralmente a avaliação da viabilidade de utilização de um sistema construtivo é realizada em função do seu potencial em agregar valor econômico e reduzir custos e prazos. No entanto, fatores sociais, econômicos e ambientais, deveriam fomentar a formulação ou concepção de um projeto, seja ele de interesse social ou não. Sendo relevante a complexidade em relacionar todos estes fatores, faz-se necessário uma análise multicritério como mecanismo de apoio a decisão, visando ampliar a visão durante a concepção do projeto e as perspectivas de retorno de possíveis investidores interessados.

Considerando que o déficit habitacional ainda é um dos grandes problemas sociais do país, mesmo com o empenho do governo com a promoção de ações que visam solucionar essa problemática, o mesmo, tem aumentado desproporcionalmente em relação ao aumento da demanda por habitações. Na Conferência Nacional de Crédito Imobiliário (2007), o Ministério das Cidades expôs as expectativas de demanda habitacional para os anos de 2005 a 2020, conforme exposto na Tabela 1. No entanto, segundo o relatório do 10º Balanço do PAC 2 realizado em 2014, descreve que desde o início do programa Minha Casa, Minha Vida, já se contratou a construção de 3,5 milhões de moradias, mas somente, 1,7 milhões foram entregues. Ou seja, mesmo se considerarmos que todos os empreendimentos contratados sejam entregues, o total corresponde em torno de 50% da demanda prevista para 2015 e aproximadamente 16% se considerarmos a demanda acumulada prevista para 2020. Dados estes, que leva a perceber, que nestas proporções nunca o déficit habitacional será solucionado, portanto qualquer tentativa que vise a redução dos custos de construção, seja através de novas formas de organizar os processos construtivos, ou através da introdução de novas tecnologias, é de relevante consideração.

*Tabela 1: Demandas Demográficas por Domicílios a Acrescentar (2005 –2020)*

<b>Macro região</b>	<b>2005-2010</b>	<b>2010-2015</b>	<b>2015-2020</b>	<b>Total</b>
<b>Brasil</b>	<b>8.447.771</b>	<b>6.908.450</b>	<b>7.273.546</b>	<b>22.629.767</b>
<b>Norte</b>	788.072	716.032	760.304	2.264.408
<b>Nordeste</b>	2.347.031	1.885.209	1.928.051	6.160.291
<b>Sudeste</b>	3.257.963	2.658.615	2.749.041	8.665.619
<b>Sul</b>	1.321.502	1.050.718	1.170.887	3.543.107
<b>Centro Oeste</b>	733.160	597.877	665.264	1.996.301

Fonte: Ministério das Cidades (2007)

Como já foi exposto, o déficit habitacional brasileiro é um problema ainda sem perspectivas de solução, no entanto esforços visando a racionalização dos processos, juntamente com a introdução de conceitos já consolidados na engenharia de produção, como Produção Enxuta, Produção Limpa e Sustentável, são introduzidos na indústria da construção civil com a finalidade de reduzir custos e tornar seus produtos mais competitivo neste mercado cada vez mais dinâmico.

No entanto, em muitos casos a satisfação do cliente é sacrificada, em função de sua condição social. Para baratear os empreendimentos, uma das estratégias adotadas é a padronização dos imóveis, muitas vezes com a utilização de tecnologias inadequadas a fatores regionais, como clima; econômico, em função da falta de mão de obra qualificada, disponibilidade de matéria prima, ou excessivo custo em função das distancias com que a mesma necessita ser deslocada; e social, quando a individualidade e as preferências do cliente não são respeitadas. Contudo a utilização de pré-fabricados, mostra-se eficiente quando pretende-se levar este tipo de estrutura a regiões onde os recursos necessários para construir o mesmo é escasso.

Englobar todos estes conceitos e analisá-los de forma simultânea proporcionará uma melhor concepção por parte dos projetistas, uma vez que os interesses de todos os atores envolvidos estarão dispostos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo multicritério para avaliar os sistemas construtivos para fins habitacionais que atendam às especificações previstas em norma.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os diversos sistemas construtivos para fins habitacionais na literatura.
- Identificar critérios para avaliação de sistemas construtivos que atendam entre outros, fatores econômicos, sociais e ambientais.
- Analisar a priorização dos sistemas construtivos.

### 1.3 METODOLOGIA

A presente pesquisa possui características quantitativas, uma vez que a análise baseia-se em valores reais, sejam com relação as previsões de demanda por habitações, custos e quantidades de matérias, equipamentos e mão de obra, visando a aplicação pratica dos conceitos explorados em benefício da sustentabilidade, visando promover a acessibilidade à moradia, e aprimoramento do conhecimento sobre as técnicas construtivas e sua correta utilização. A mesma será viabilizada através de pesquisas de caráter exploratório fomentando um melhor entendimento das problemáticas levantadas.

A elaboração deste trabalho foi realizada através de pesquisas bibliográficas em livros, revistas, sites e periódicos como, WEB of Science e Science Direct, com o objetivo de subsidiar o referencial teórico e a revisão da literatura.

Em uma primeira etapa foram levantados os principais sistemas construtivos encontrados na literatura científica investigada. Foram descritos de forma sucinta os materiais envolvidos e o custo, seja ele relacionado ao Tempo de construção do empreendimento, assim como os custos monetários de construção para a mesma unidade de medida, obtidos através dos fabricantes dos produtos, ou dos órgãos competentes como SINAP e outros, assim como, através da elaboração de composições de custos, através de dados obtidos a partir dos mesmos.

Em uma segunda etapa, realizar-se-á a modelagem do problema, seguindo o seis passos descritos por Hillier e Lieberman (2013), que consistem:

a) Definição do problema e coleta de dados: nesta fase define-se a metodologia de análise multicritério, os sistemas construtivos que atendam aos requisitos da problemática, já comentados anteriormente e os critérios que serão avaliados, obtidos através da coleta de dados.

b) Formulação de um modelo matemático: etapa de modelagem ou formatação matemática, onde após a escolha da metodologia de análise, as alternativas são elencadas e incorporados pesos aos critérios a serem avaliados.

c) Derivação de soluções com base no modelo: etapa que consiste na modelagem do problema de forma que o mesmo possa ser simulado, geralmente através de mecanismos computacionais.

d) Teste do modelo; Etapa em que o modelo é avaliado, com o objetivo de verificar se o mesmo é capaz de apresentar resposta satisfatórias.

e) Preparação para aplicação do modelo: após a aprovação do modelo, o próximo passo é estruturar o modelo com mecanismos que possibilitem que tanto os dados que serão introduzidos como os resultados obtidos sejam manipulados de forma correta.

f) Implementação: etapa que consiste no emprego prático do modelo desenvolvido, com possibilidade de aperfeiçoamento, caso os resultados obtidos não satisfaçam aos interesses do decisor.

Este trabalho foi desenvolvido até a etapa de teste do modelo, uma vez que para implementar seria necessário a incorporação de muitos outros critérios que torne o processo decisório seguro, além da necessidade de um possível investidor interessado em aplicar o método. Neste sentido esta pesquisa resume-se apenas na identificação de um modelo de apoio a decisão aplicado a indústria da construção civil na seleção de sistemas construtivos para construção de edificações para fins habitacionais.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos:

O Capítulo 1 apresenta e contextualiza a problemática do déficit habitacional brasileiro e as medidas governamentais que visam solucionar esse problema, assim como a justificativa, e os objetivos gerais e específicos, focados na identificação de uma estrutura de decisão que auxilie na identificação do sistema construtivo mais vantajoso.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico no qual o trabalho foi estruturado, assim como a revisão da literatura. São abordados os conceitos de produção e sua apropriação na indústria da construção civil, os diversos métodos de apoio a decisão multicritério, assim como os sistemas construtivos abordados nesta pesquisa e o levantamento prévio dos critérios de avaliação.

No Capítulo 3 tem-se a apresentação do modelo de decisão, a definição dos critérios de avaliação, assim como, a apropriação dos índices de desempenho, finalizando com a apresentação do método de apoio a decisão que será utilizado nessa pesquisa.

No Capítulo 4 é realizada a aplicação do método PROMETHEE II para a ordenação dos sistemas construtivos de acordo com o desempenho para os critérios definidos no Capítulo 3, obtendo-se como ganhador o Sistema construtivo em paredes de concreto armado moldadas no local.

Finalmente no Capítulo 5, tem-se a conclusão e a apresentação de sugestões para futuros trabalhos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1.1 Características dos processos construtivos da indústria da construção civil

Segundo Matos (2010) a construção civil é uma indústria composta de atividades complexas, desenvolvida em um ambiente particularmente dinâmico. O produto da construção civil é formado por diversos tipos de serviços, demandando uma grande quantidade de profissionais especializados em diversas áreas, e mesmo em empreendimentos formados por edificações que possuam o mesmo projeto, situações intrínsecas surgirão em seu processo construtivo, sejam estes em função da ação da natureza ou devido à grande influência do elemento humano, que dá ao produto final características únicas.

Com a globalização, surge a necessidade de melhorar o gerenciamento dos recursos e custos de produção, com o objetivo de desenvolver ou pelo menos manter as empresas como um todo, assim como as que atuam no ramo da construção civil num grau relativo de competitividade. Emerge assim o termo “Construção Enxuta”, que segundo Novaes (2004, p.1), “vem sendo usado desde 1993, pelo International Group for Lean Construction, referindo-se à aplicação de táticas do sistema de Produção Enxuta no setor da construção civil”. A produção enxuta, segundo Novaes (2004), pode ser compreendida como um termo genérico para definir o sistema Toyota de Produção, baseado no Total Quality Management e Just in Time.

A construção enxuta, segundo Novaes (2004), possui três objetivos principais: a entrega do produto no prazo, a máxima agregação de valor e a redução do desperdício, sem dúvida, estes constituem os principais desafios dos processos de gerenciamento da construção civil. Estes objetivos visam melhorar a organização do processo produtivo, eliminando a mão de obra ociosa e aumentando o aproveitamento dos recursos disponíveis.

Moreira (2012, p.7) “define como sistema de produção como o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas na produção de bens ou serviços”, sendo o insumo, todo recurso necessário no processo de fabricação do bem, como, matéria prima, mão-de-obra ou equipamento. Neste momento o estudo das diversas formas pelo qual o bem é produzido é de maior importância, que, a depender da sua capacidade produtiva e das variações que o produto pode sofrer em função da flexibilidade da linha de produção, pode ser classificada de diversas formas.

Segundo Moreira (2012), a classificação dos sistemas de produção, ocorre em função do fluxo em que o bem é produzido, o mesmo classifica em três tipos:

- Sistemas de produção contínua ou de fluxo em linha;
- Sistemas de produção por lotes ou por encomenda;
- Sistemas de produção para grandes projetos sem repetição.

No entanto, Slack (2009) utiliza o termo “tipos de processo” para descrever o processo de manufatura, classificando o mesmo em cinco tipos, são eles:

- Processos de projeto;
- Processos de jobbing;
- Processos em lotes ou batelada;
- Processo de produção em massa;
- Processo contínuo.

O processo de projeto, segundo Slack (2009), é aquele que lida com produtos com um alto grau de detalhamento, o produto é bastante personalizado, que torna o processo de produção consideravelmente longo, constituído de diversas atividades, muitas vezes podendo ser mal definidas e incertas, modificadas muitas vezes durante o próprio processo de produção. A indústria naval, aeronáutica e principalmente a da construção civil, são exemplos típicos desse tipo de processo.

O processo de Jobbing, conforme Slack (2009) afirma que “cada produto deve compartilhar os recursos de operação com diversos outros”. Diferente do processo de projeto, onde os recursos estão empenhados na produção de um único bem, apesar de algumas semelhanças com o processo anteriormente citado, como a produção de bens com alto grau de personalização, O processo de jobbing produz itens em quantidade maior e o tamanho físico do mesmo é um tanto quanto reduzido se comparado ao obtido no processo de projeto. Ateliês, oficinas de restauração gráficas são exemplos deste tipo de processo.

A produção seriada de mais de um bem com as mesmas características, pode ser, segundo Slack (2009), classificado como processo de produção em Lote ou Batelada. Uma das principais características desse tipo de processo é a capacidade de produzir de forma seriada um maior volume de bens, podendo mudar para outro totalmente diferente sem grandes alterações na linha de produção. Empresas que trabalham com montagem de equipamentos e de processamento de alimentos, podem ser classificadas como pertencentes a esse tipo de processo de produção.

Processo de produção em massa, afirma Slack (2009), produz bens em alto volume e variedade relativamente reduzida, onde a variação ocorre em função de alguma mudança no

aspecto fundamentais do produto, ou seja, as mudanças não afetam o processo básico de produção. Uma tecelagem, por exemplo, pode fabricar diferentes tipos de tecidos mudando apenas a cor, ou o tipo de fio.

O processo de produção contínua é constituído segundo Slack (2009) de atividades onde a variabilidade é essencialmente baixa e o processo de produção é praticamente interrompido. Para Moreira (2012), este tipo de processo é também caracterizado por uma alta eficiência e acentuada inflexibilidade, ou seja, as indústrias que processam nesta modalidade possuem um alto nível de automação, onde o produto final sofre pouca influência do elemento humano. Pelo alto custo das instalações, grandes volumes de produção devem ser mantidos para se recuperar o capital investido. Refinarias, centrais de abastecimento de água ou energia, são exemplos de indústria que operam nesse sistema.

Analisando o desempenho de cada processo de produção, pode-se identificar uma estreita relação do processo de projeto com os utilizados na indústria da construção civil. Contudo, com o desenvolvimento do setor imobiliário surgiu uma crescente busca em racionalizar os processos construtivos, em função de diversos objetivos como, reduzir ou eliminar o desperdício de insumos, reduzir ao máximo o tempo de produção e aumentar a padronização dos processos, com o intuito de reduzir o valor final do produto. No entanto, se for observado os aspectos da construção civil tradicional, a maior dificuldade é justamente a alta influência do fator humano nos processos construtivos, como também, a diversidade de processos empregados na produção do bem, como ainda, à falta de mão de obra qualificada. Esses aspectos dificultam bastante qualquer forma de controle.

Em função do exposto, técnicas construtivas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de migrar de um sistema típico de “processo de projeto”, para outros com maior capacidade, mesclando pelo menos alguns de seus processos. Ribeiro & Michalka Jr (2003 p.04) afirmam que “para um produto ser considerado industrializado, este deve ter características fundamentalmente diferentes daqueles que se produzem artesanalmente, carece de uma base lógica. Certamente quando se industrializa, altera-se o método de produção”.

Uma das formas encontradas para resolver o problema da falta de organização dos processos construtivos tradicionais é descrito por Machado (2003, p.03) que “no decorrer dos últimos anos a forma com que o trabalho foi organizado na construção recebeu forte influência das práticas da indústria seriada, desenvolvendo um modelo baseado nos fundamentos da teoria da divisão do trabalho”, que consiste na distribuição dos operários em setores conforme a sua habilitação, e alocando-os, conforme a etapa da obra.

Existem hoje, várias tecnologias de construção, contudo aplica-las de forma correta, faz-se necessário uma avaliação contextual do ambiente ao qual o empreendimento se destina, sendo necessário para isso a montagem de uma estrutura racional de apoio a decisão, visando aprofundar o conhecimento em fatores importantes que seriam desprezados se o processo de escolha ocorresse somente em função da percepção do decisor. Neste contexto mecanismos para a resolução de problemas de apoio a decisão multicritério faz-se necessário.

### 2.1.2 Mecanismos e conceitos de análise multicritério

Segundo Almeida (2013) um problema de decisão multicritério, consiste pelo menos na escolha de uma, entre duas alternativas, e essa escolha se dá, em função da análise das consequências que serão obtidas, sendo a alternativa ganhadora a que possibilitar maior rendimento, ou maior quantidade de benefícios com relação aos múltiplos critérios avaliados.

Tanto em função da quantidade de alternativas, como da quantidade de critérios que avaliarão as mesmas, o processo pode tornar-se um tanto quanto complexo, tornando-se necessário o envolvimento de diversos atores no processo de tomada de decisão, onde, segundo Almeida (2013) o ator principal é o decisor, que pode ser um, ou grupo de executivos a quem é conferida a responsabilidade da escolha, mas devido à falta de disponibilidade de tempo, ou domínio sobre a problemática, outros atores são necessários para coleta de informações e construção do problema, como, especialistas assessores e consultores, ficando a estes o papel de alimentar com informações o processo decisório. Neste contexto, ainda há a influência dos Stakeholders, ator afetado pela consequência da decisão, que por sua vez, pode influenciar no processo decisório.

Almeida (2013) descreve o processo decisório em cinco estágios, sendo o primeiro o estágio de Inteligência, responsável por levantar situações que necessitem de uma decisão; a segunda, corresponde a fase de Desenho, dedicando-se em estruturar as alternativas e definir a metodologia de análise; a terceira corresponde ao estágio de Escolha, correspondente a fase de avaliação e escolha da melhor alternativa; Quarto, correspondente a fase de Revisão, onde as etapas anteriores são revisadas, promovendo o processo de aprendizagem, útil na resolução de problemas futuros; e por último a fase de Implementação, que consiste na aplicação da alternativa ganhadora.

Existem vários modelos matemáticos para solução de problemas multicritério, com destaque para três grandes grupos, são eles, aditivo determinístico, sobreclassificação e os métodos interativos. Sendo o método aditivo determinístico, segundo Almeida (2013) um dos métodos mais utilizados, devido a facilidade com que os critérios são manipulados, contudo, o

método aditivo determinístico, é recomendado para resolução de problemas em que os critérios de avaliação possuam valores mesuráveis de forma quantitativa, sendo ganhadora a alternativa que detenha ao final da análise, a maior quantidade de pontos. Entretanto em alguns casos, alguns critérios que compõem a problemática, estão classificados ou quantificados em unidades qualitativas, onde o peso desses critérios pode desvirtuar o resultado final da análise, uma vez que o método possui características compensatórias, ou seja, critérios de menor relevância podem anular outros de maior.

Visando garantir que o resultado da avaliação leve em consideração as preferências do decisor, assim como fatores de maior relevância técnica, incorporou-se ao procedimento a elicitação baseada em trade-offs, que consiste na incorporação de pesos a critérios de maior importância.

Os métodos de sobreclassificação, segundo Almeida (2013), constituem uma das principais escolas de métodos de decisão multicritério. O método não necessita da quantificação dos critérios para comparação entre as alternativas, para isso elas são comparadas par a par, permanecendo a alternativa que melhor satisfaça a preferência do decisor, sendo assim o modelo de sobreclassificação, possui maior vocação para resolução de problemas onde os critérios possuem valor qualitativo. Outra característica importante do método, descreve Almeida (2013), é a não-compensatoriedade, ou seja, uma alternativa, que possua uma estrita preferência para um de seus critérios não compensarão outros de menor relevância, pelo menos, não de forma quantitativa. E os métodos interativos, descrito por Almeida (2013), como um método que alterna etapas de cálculo e consulta as preferências do decisor, em outras palavras, neste processo o decisor participa de forma mais dinâmica do processo de modelagem da estrutura de apoio a decisão.

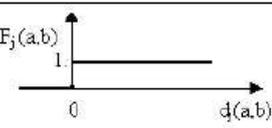
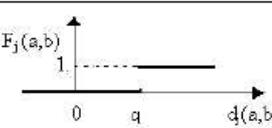
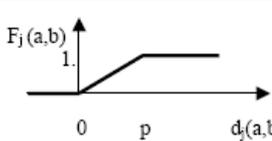
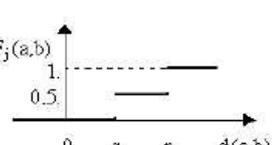
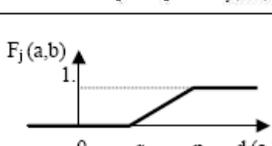
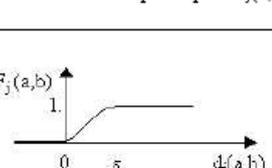
Visando permitir que o resultado da análise reflita os objetivos do decisor, esta pesquisa empregara um método de apoio a decisão não compensatório, mais precisamente, o método de sobreclassificação PROMETHEE II. Almeida (2013) comenta que os métodos da família PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) produzem uma relação de sobreclassificação valorada, com base em elementos que podem ser interpretados de forma física ou econômica. Bastos e Almeida (2002) destacam que o método favorece alternativas bem balanceadas, os mesmos ainda enfatizam que o método PROMETHEE II dispõem de forma ordinal as alternativas ganhadoras, comparando as alternativas a e b, o grau de sobreclassificação  $\pi(a,b)$  conforme a Equação (2.1):

(2.1)

$$\pi(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j \cdot F_j(a,b), \quad \text{onde } W = \sum_{j=1}^n w_j$$

Onde segundo Bastos e Almeida (2002)  $W_j$  corresponde ao peso do critério  $j$ , variando de 1 a  $n$ , e  $F_j(a,b)$  é a função do critério ou a “função preferência”, assumindo valores entre 0 e 1, conforme a preferência do decisor. Segundo os autores Bastos e Almeida (2002), para estimar se a função preferência  $F_j(a,b)$ , é oferecido ao decisor à escolher para cada critério, entre seis formas de curvas, no entanto para esta pesquisa, somente as duas primeiras curvas são necessárias para resolver este problema, conforme Tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Critério Generalizado

1ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imediata Preferência Estrita;</li> <li>• Não há parâmetros a ser definido.</li> <li><math>d_j(a,b) \leq 0, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>d_j(a,b) &gt; 0, F_j(a,b) = 1</math></li> </ul>
2ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe um limiar de indiferença (<math>q</math>), o qual deve ser fixado.</li> <li><math>d_j(a,b) \leq q, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>d_j(a,b) &gt; q, F_j(a,b) = 1</math></li> </ul>
3ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preferência crescente até um limiar de preferência (<math>p</math>) determinado.</li> <li><math>d_j(a,b) &gt; p, F_j(a,b) = 1</math></li> <li><math>d_j(a,b) &lt; 0, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>0 \leq d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = (1/p) * d(a,b)</math></li> </ul>
4ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem limiares de indiferença e preferência, os quais devem ser fixados; entre os dois, a preferência é média.</li> <li><math>d_j(a,b) &gt; p, F_j(a,b) = 1</math></li> <li><math>d_j(a,b) \leq q, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>q &lt; d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = 0,5</math></li> </ul>
5ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem limiares de indiferença e preferência, os quais devem ser fixados; entre os dois, a preferência é crescente.</li> <li><math>d_j(a,b) &gt; p, F_j(a,b) = 1</math></li> <li><math>d_j(a,b) &lt; q, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>q \leq d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = [1/(p-q)] * [d(a,b)-q]</math></li> </ul>
6ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preferência crescente seguindo uma distribuição normal, o desvio padrão deve ser fixado.</li> <li><math>d_j(a,b) \geq 0, F_j(a,b) = 1 - e^{-\frac{d(a,b)^2}{2s^2}}</math></li> <li><math>d_j(a,b) &lt; 0, F_j(a,b) = 0</math></li> <li><math>d_j(a,b) \rightarrow +\infty, F_j(a,b) \rightarrow 1</math></li> </ul>

Fonte: Bastos & Almeida (2002, p. 4)

Segundo Bastos e Almeida (2002), após efetuada a comparação par a par entre os critérios, são formados duas pré-ordens, ou índices de preferência, também denominado por Almeida (2013) como Fluxos de Sobreclassificação, onde a Equação (2.2) representa o Fluxo de Sobreclassificação positiva e Equação (2.3) o Fluxo de Sobreclassificação negativo.

(2.2)

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b)$$

(2.3)

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b)$$

Segundo Bastos e Almeida (2002), o método PROMETHEE II relaciona ações em ordem decrescente dos números de  $\Phi(a)$ , conforme a Equação (2.4):

(2.4)

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a), a \in A.$$

Se  $\Phi(a) > \Phi(b)$ , então a alternativa **a** é preferível à alternativa b.

Se  $\Phi(a) = \Phi(b)$ , então a alternativa **a** é indiferente à alternativa b.

## 2.2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.2.1 Características dos Sistemas construtivos pré-fabricados

Moreira (2008) comenta que, quanto mais vezes repetimos um certo procedimento, mais nos aperfeiçoamos nele, algo que reflete diretamente na redução do tempo gasto para executar o mesmo, fenômeno descrito pelo autor como “Curva de Aprendizagem”, algo que reflete diretamente na redução dos custos de produção, para qualquer tipo de produto. Um grande desafio, mas ao mesmo tempo, um dos objetivos do setor da construção, devido ao tradicionalismo dos métodos construtivos do país. Silva et al (2010) comentam a importância da busca desses objetivos, principalmente quando o projeto destina-se a construção de casas para o público de baixa renda, uma vez que, para se ter sucesso, a empresa precisa construir grandes volumes, ou seja, uma maior quantidade de unidades, para que o investimento dê o

retorno desejado, uma vez que a margem de lucro é menor. Neste aspecto Silva et al (2010) destacam a busca por parte das construtoras por “sistemas construtivos industrializados”, uma vez que as tecnologias construtivas tradicionais não atendem a estes requisitos, pois não têm a produtividade necessária e são altamente dependentes de mão-de-obra.

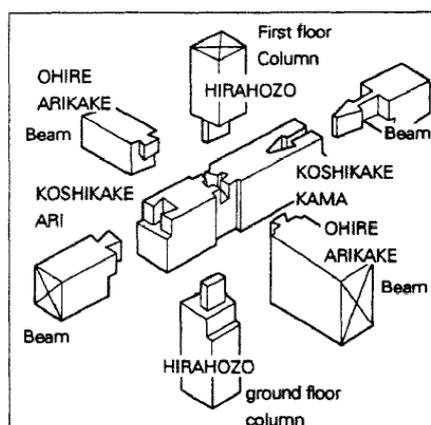
Sendo assim, pode-se levar em conta que existe uma relação de potencial de industrialização para sistemas construtivos, em que o tempo gasto para construir um m<sup>2</sup> é reduzido, assim como a redução do peso das estruturas, algo que está diretamente ligado ao aumento da mobilidade das partes componentes do produto, características marcantes de sistemas construtivos que utilizam elementos pré-moldados.

A proposta de industrializar, ou pré-fabricar, todos os elementos de uma edificação já tem sido proposta em várias partes do mundo a algum tempo.

Scott (1980), descreve os benefícios da mecanização e da utilização de elementos pré-moldados de concreto, dentre os vários benefícios, o autor destaca a confiabilidade no controle de qualidade de execução das peças, da praticidade em dispor dos componentes à medida que são necessários, da redução do tempo de execução da obra e consecutivamente, a redução dos custos.

Matsudome (1990), descreve um sistema construtivo de casas, utilizado no Japão, que consiste na utilização de peças de madeira que se encaixam para constitui a estrutura, conforme a Figura 1, para isso as peças em madeira são previamente processadas, sendo conduzido ao local da obra, somente as peças que compõem a modulação do projeto. Um dos principais benefícios deste sistema é o ganho de produtividade, e a redução da quantidade de mão de obra. Apesar da madeira ser um material com algumas restrições ambientais, outros materiais equivalentes poderiam substituí-la.

Figura 1: Detalhes de encaixe, sistema modular para construções de casas em madeira



Fonte: Matsudome (1990, p. 264)

A necessidade de suprir a demanda habitacional, não é somente um problema de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Howes (2002) descreve as dificuldades do setor da construção civil no Reino Unido, devido a diversos fatores, dentre eles, o acentuado valor da terra, e o tradicionalismo dos sistemas construtivos, utilizados na construção de edificações de interesse social, que se baseia na utilização de alvenarias autoportante, dificultando a introdução de novas tecnologias. Contudo, a necessidade de obter produtos de menor valor, mas de qualidade similar ou superior, tem levado o setor a buscar novas tecnologias. Howes (2002), comenta a utilização de materiais como madeira, e paredes de concreto na confecção das estruturas destas edificações, destacando a utilização de módulos estruturais leves em aço laminado a frio, que podem ser fabricados e facilmente transportados até o local da obra.

Tam, et al. (2002) apontam a utilização de elementos pré-moldados como um dos principais fatores de ganho de desempenho dos empreendimentos construídos em Hong Kong.

Além do ganho de produtividade, a maioria dos autores também comentam os benefícios ambientais, que a utilização de sistemas pré-moldados proporcionam, seja pela redução na produção de resíduos, melhor aproveitamento dos insumos empregados na sua fabricação, assim como a melhora do ambiente de trabalho, em função do aspecto de limpeza que a adoção desses sistemas proporcionam. Outro benefício ligado a este aspecto é a preocupação do cliente em adquirir um produto construído com tecnologias sustentáveis. Sullivan e Ward (2012) comentam o desenvolvimento deste conceito que vai além da utilização de técnicas ou materiais ecológicos, mas abordam a sustentabilidade como algo que necessita estar contido na concepção do projeto, como o correto posicionamento de portas e janelas, visando melhor aproveitamento da luz natural, e aeração da edificação, assim como a introdução de

equipamentos que aproveitem as energias de fontes naturais, para aquecimento ou geração de energia, juntamente com o aproveitamento, tratamento e a correta destinação dos resíduos gerados.

Koebel et al. (2015) comentam o impacto do consumo de energia necessário para manter a demanda por parte das edificações de caráter residencial e comercial nos Estados Unidos, chegando a demandar em até 40% do total disponível, o que fez com que o mercado busque empreendimentos com certificação ambiental, também conhecida como certificação verde, ou seja, empreendimentos que visam a sustentabilidade.

Identificar qual tecnologia de construção é a ideal para atender a todos os objetivos propostos, demanda uma análise interdisciplinar, pois aborda conceitos de engenharia de estruturas e materiais; economia, considerando que não basta ser ecologicamente correto, tem que agradar o cliente e ser acessível para que a ideia possa ser comprada; e ambientalmente sustentável, demandando portanto, uma análise multicritério. Diversos trabalhos científicos desta área já foram feitos no intuito de resolver alguns problemas característicos da indústria da construção civil, como Szajubok et al. (2006), abordam a utilização do método multicritério ELECTRE TRI, como uma ferramenta para melhorar o gerenciamento de estoque de matérias em uma construtora, através da classificação pelo grau de importância para o processo. Os autores comentam a importância da iniciativa, uma vez que os lucros vem diminuindo, em função das disputas do mercado, aumentando a necessidade de dispor de mecanismos que otimizem os recursos e elimine o desperdício. Alencar et al (2007), também utilizam uma estrutura multicritério de apoio a decisão, na seleção de fornecedores. Vários outros artigos empregam a metodologia para resolução de diversos outros problemas ligados as áreas de engenharia, produção, gestão de negócios e saúde.

Portanto a utilização de metodologias de análise multicritério constitui-se numa poderosa ferramenta na determinação do que se propõem este trabalho, que visa promover a identificação de qual sistema construtivo corresponde a melhor alternativa para responder aos anseios de construir de forma industrializada edificações para fins residenciais, respeitando as tendências do mercado, que busca construir de forma racional, mantendo a sustentabilidade e a satisfação do cliente.

### 2.2.2 Iniciativas para o desenvolvimento de técnicas construtivas inovadoras

Zanoni e Sánchez (2012) descreve a iniciativa do SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas) vinculado ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), subordinado ao Ministério das Cidades, em parceria com onze Instituições

brasileiras e apoiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), através da rede INOVATEC-FINEP, para o “desenvolvimento de métodos e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras”, onde seu objetivo é definir critérios de desempenho e métodos de avaliação relacionados à durabilidade e à vida útil, ao desempenho térmico e acústico, ao desempenho ambiental e ao desempenho estrutural de produtos e sistemas construtivos inovadores, bem como propor aprimoramentos na própria sistemática de análise e concessão de documento de avaliação técnica DATEC's, a mesma, aponta os principais sistemas construtivos avaliados e classificados como inovadores em uso no país.

Na página do Ministério das Cidades, o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas, disponibiliza 11 Diretrizes, conforme exposto na Tabela 3, as mesmas tratam de documentos de referência que apontam quais análises devem ser empregadas na avaliação do sistema, assim como os requisitos mínimos de desempenho que os sistemas construtivos avaliados devem apresentar, uma vez que se tratando de sistemas construtivos não convencionais, observa-se por parte dos construtores o desconhecimento de quais normas deveriam ser empregadas. De forma simplificada a diretriz funciona como uma espécie de manual ou memorial descritivo, servindo de roteiro para as empresas interessadas em utilizar o sistema, obtenham a DATEC (Documento de Avaliação Técnica), que funciona como uma espécie de certificação, ou atestado, que o construtor conseguiu atingir os requisitos exigidos pela diretriz. A DATEC também consiste em um documento onde os resultados obtidos são descritos de forma resumida de forma a promover a sua divulgação. O mesmo documento é espedido por uma ITA (Instituição Técnica Avaliadora), devidamente credenciada ao SINAT.

Conforme o regimento geral do SINAT (2016), capítulo VI que trata das condições de concessão do DATEC, no Art. 25 o mesmo possui prazo de validade de dois anos, desde que:

Haja interesse por parte do proponente;

O produto não sofra alterações;

O Proponente mantenha os processos de produção padronizados conforme constatação da ITA responsável pelo controle periódico.

A DATEC poderá ser revogada antes do prazo mediante constatação da não observação dos itens “b” e “c”. Atualmente pode-se encontrar 30 DATECs (Documento de Avaliação Técnica) disponíveis na página do SINAT, sendo que dessas trinta, dez estão vencidas e uma está suspensa.

Tabela 3: Sistemas Construtivos avaliados pelo SINAT

Diretriz SINAT Nº	Revisão	Descrição
001	Revisão 02	Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local
002	Revisão 01	Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais
003	Revisão 02	Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")
004	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas)
005	Revisão 01	Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")
006	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de argamassa inorgânica decorativa para revestimentos monocamada
007	Revisão 01	Diretriz para Avaliação Técnica de telhas plásticas para telhados
008	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de Vedações Verticais Internas em Alvenaria não-estrutural de Blocos de Gesso.
009	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas.
010	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido.
011	Não consta	Diretriz para Avaliação Técnica de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto

Fonte: Ministério das Cidades (2016)

Como descrito no Parágrafo II. Art. 3º da portaria Nº 345, de 3 de agosto de 2007, do Ministério das Cidades, o principal objetivo do programa é reduzir os riscos nos processos de tomada de decisão por parte dos agentes interessados, sejam eles os financiadores como o cliente final.

### 2.2.3 Apropriação dos dados para análise

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) é uma iniciativa de mobilização da comunidade técnica nacional para dar suporte à operacionalização de um conjunto de procedimentos reconhecido por toda a cadeia produtiva da construção civil, com o objetivo de

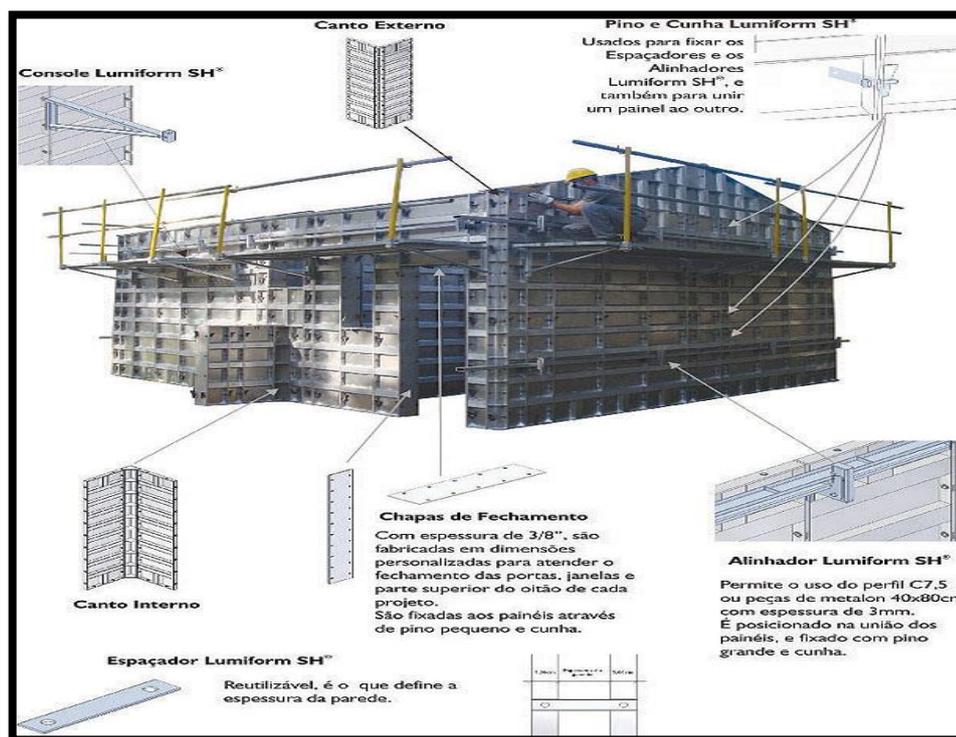
avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção, no entanto, trata e analisa os sistemas de forma individual, não apontando entre eles qual o sistema construtivo mais vantajoso, algo compreensível, pois este não é o objetivo do programa. Fica por conta do investidor (decisor), avaliar as circunstâncias e determinar qual dos sistemas lhe seria mais vantajoso, sendo esse um dos objetivos deste trabalho. No intuito de diminuir a quantidade de sistemas construtivos a serem avaliados, será considerado 7(sete) dos 11 (onze) descritos nas diretrizes do SINAT, uma vez que somente os sistemas que estejam de acordo com essas diretrizes conseguiram financiamento de seus projetos por parte das instituições credoras viabilizadoras de programas habitacionais. Como a iniciativa do Ministério das Cidades tendo como operadora a Caixa Econômica Federal, relação firmada através de acordo de cooperação Técnica realizada em 28 de dezembro de 2006, e as 7(sete) em especial, por apresentarem capacidade de englobar a maioria das etapas do produto, ou seja, o sistema construtivo possui a capacidade de trabalhar tanto com vedações, como estrutura, algo que não ocorre nas diretrizes 6,7,8, e 9, onde as mesmas tratam da avaliação de apenas partes que poderão compor outros sistemas construtivos.

Os sistemas construtivos considerados são descritos a seguir.

- Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local

Os sistemas construtivos descrito pela diretriz 001, correspondem a técnicas de construção em que tanto a estrutura (pilares vigas e lajes), como as vedações (paredes), são concretadas simultaneamente, através da montagem de formas que foram devidamente projetadas e posteriormente concretadas, onde, após a remoção das mesmas, a edificação estará apta a receber acabamento. O que de fato caracteriza esse sistema é a utilização de formas especiais, geralmente em alumínio, mais outros materiais como aço pode ser usado, em geral as formas devem ser de material com resistência superior, uma vez que o que viabiliza esse sistema é o alto reaproveitamento das formas. O processo de produção de forma geral inicia na elaboração do jogo de formas necessárias à execução da edificação, produzida em uma indústria especializada, após essa etapa, levadas ao local da obra, as formas são parcialmente montadas, permitindo a instalação das ferragens e conexões de água, esgoto e elétrica, concluída esta etapa, é efetuada a instalação do restante das formas e posteriormente executada a concretagem de uma só vez toda a edificação, ou todo um pavimento. A Figura 2 esboça de forma simplificada as partes componentes do referido sistema.

Figura 2: Partes componentes do sistema com a utilização de formas de alumínio



Fonte: Téchne (2009)

Uma das principais vantagens deste sistema corresponde a alta produtividade e padronização das edificações, no entanto o sistema só é viável se o mesmo for empregado na construção de várias unidades similares, pois não se permite grandes adaptações ou ajustes nas disposições das formas, assim como, mudanças de layout futuros, uma característica dos sistemas construtivos autoportantes.

- Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais

A diretriz 002 é caracterizada por sistemas construtivos que utilizam painéis (paredes) pré-moldados em concreto armado maciço, ou com a incorporação de elementos vazados com o objetivo de proporcionar leveza ao painel, o mesmo pode ser produzido com características estruturais ou para somente vedação. Conforme as DATECs, em geral os painéis são produzidos em instalações industriais e posteriormente conduzidos ao canteiro de obras para sua montagem.

O processamento deste sistema inicia com a elaboração do projeto de paginação das formas que serviram de molde para a confecção dos painéis (paredes), assim como dos sistemas de fixação entre os painéis, pontos de utilização de água e esgoto, e tubulações para instalação

da rede elétrica. A Figura 3 dá uma ideia do processo de fabricação dos painéis, e da disposição das formas, já a Figura 4, mostra a disposição das ferragens.

*Figura 3: Posicionamento das lajotas cerâmicas*



*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 023 (2014, p.5)*

*Figura 4: Posicionamento das malhas superiores e inferiores das armaduras*



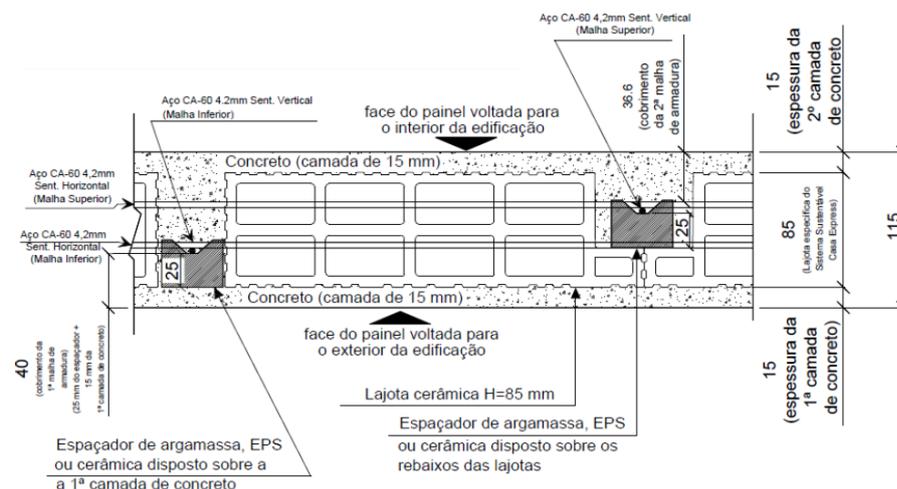
*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 023 (2014, p.5)*

Atualmente estão ativas 9 (nove) DATECs que utilizam essa diretriz construtiva, dessas, 6 (seis) utilizam blocos cerâmicos como elemento de preenchimento, 2 (duas) utilizam painéis massiços, e uma, painéis alveares. A Figura 5 exemplifica o detalhe em corte transversal de um painel de 115mm de espessura composto por blocos cerâmicos, dimensionado para regiões de agressividade ambiental nível III.

Este é mais um exemplo de sistema construtivo autoportante, portanto apresenta as inconveniências anteriormente citadas, como impossibilidade de mudanças futuras do layout.

Outra observação corresponde ao fato dos painéis compostos por blocos cerâmicos, serem utilizados na construção de casas térreas e sobrados, enquanto que, painéis massivos são empregados em edificações de múltiplos pavimentos.

Figura 5: Esquema da seção transversal do painel com 115mm de espessura



Fonte: Ministério das Cidades-DATec 023 (2014 p.7)

- Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")

A diretriz 003, trata dos sistemas construtivos cuja principal característica é ser estruturado por perfis de aço conformados a frio, e vedadas internamente e externamente por painéis delgados, inclusive pisos e coberturas. Segundo Pedroso et al (2014), o sistema surgiu nos Estados Unidos por volta do século XIX, em função de fatores como o processo de ocupação do Oeste, dificuldades na obtenção de madeira como matéria prima, e ao grande desenvolvimento da metalurgia em ocasião da segunda guerra mundial, levaram os americanos a buscar e desenvolver soluções habitacionais de baixo custo que utilizassem os recursos que estavam disponíveis no momento. Pedroso et al (2014) comenta que este tipo de construção oferece vantagens que beneficiam não só a obra, mas o consumidor e o meio ambiente, no que se refere a rapidez da construção, redução da geração de resíduos e dos custos em até 30% se comparado com métodos construtivos tradicionais.

Este sistema como qualquer outro apresenta algumas desvantagens, como descrito na Diretriz 003, que aponta como uma de suas principais restrições, sua utilização em ambientes de agressividade ambiental elevada, como atmosferas industriais e marinhas. Pedroso et al (2014), também aponta como desvantagem do sistema, a restrição com relação a verticalização

das edificações que não devem ultrapassar cinco pavimentos, e a necessidade da previsão dos locais que necessitaram de reforços na estrutura das paredes para futura instalação de objetos, moveis ou equipamentos. Além de ser um sistema autoportante, igualmente aos anteriormente citados.

A DATEC N° 014a, concedida a Saint-Gobain do Brasil Ltda, descreve o processo de construção iniciando a partir das fundações, que de preferência deve ser do tipo radie, como ilustrado na Figura 6, seguido da montagem da estrutura metálica das paredes e do teto, fixação de uma das faces das paredes com a utilização painéis cimentícios nos ambientes externos ou de gesso acartonado nos ambientes internos, permitindo a instalação das tubulações da rede de água e esgoto e elétrica, nesta fase, também é executada a instalação da lã de vidro nos espaços entre os painéis, visando conferir maior isolamento térmico e acústico, seguido da fixação do painel que compõem a segunda face da parede. Em diante segue-se com a execução do acabamento.

Pedroso et al (2014), aponta os três principais métodos de construção, sendo o MÉTODO STICK, caracterizado pela aquisição de todos os materiais necessários, e o processo produção ocorrendo todo no próprio canteiro de obras. O MÉTODO POR PAINÉIS consiste na pré-fabricação de Algumas partes (como painéis estruturais e não estruturais, tesouras do telhado, lajes, etc.) fora da obra, e posteriormente transportadas e montadas no local, e por último o método de CONSTRUÇÃO MODULAR, que consiste na aquisição de todos os componentes necessários para a construção da edificação, inclusive com acabamento. Neste caso, toda a edificação é pré-fabricada, cabendo ao construtor executar apenas sua montagem.

*Figura 6: Montagem dos quadros estruturais das paredes e cobertura constituídos de perfis leves de aço de uma unidade habitacional térrea*



*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 014 (2015, p. 2)*

A Figura 7 ilustra uma edificação com apenas a estrutura metálica e o telhado montados, enquanto que a Figura 2.7 demonstra a mesma edificação com a instalação dos painéis de vedação e das esquadrias.

*Figura 7: Fechamento da face externa dos quadros estruturais com placas cimentícias em uma unidade habitacional térrea*



*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 014 (2015, p. 2)*

- Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas).

Conforme a diretriz 004, integram esse sistema construtivo todos aqueles formados por paredes internas e externas com função estrutural, constituídas por painéis de PVC preenchidos com concreto. Neste sistema os painéis de PVC possuem dupla função, ou seja, forma e acabamento. Segundo Brandão e Melo (2014), o sistema surgiu inicialmente no Canadá com o objetivo de projetar e construir de forma simples e industrializada vários tipos de edificações. Consiste em um sistema de construção modular, que utiliza diferentes tipos de perfis e painéis verticais, que se encaixam, formando um conjunto sólido como ilustrado na Figura 8, é suficientemente capaz de suportar a concretagem interna dos painéis. O processo de construção inicia com a fixação dos perfis guias na fundação, assim como das esperas das ferragens que compõem a estrutura das paredes. As tubulações de água, esgoto e elétrica devem ser previamente instalados no piso, e nos painéis, semelhante aos outros sistemas construtivos já comentados, após a concretagem, as paredes não necessitam de nem um acabamento específico, mas permitem a aplicação de revestimentos cerâmicos, texturas e outros.

Ferrari (2011) destaca como uma das principais vantagens do sistema a fácil adaptação a qualquer projeto, uma vez que seus componentes são de fácil manipulação, além de promover economia de até 75% no consumo de energia e 73% de água na obra. No entanto conforme descrito na DATEC 004, o sistema é restrito à construção de edificações térreas e sobrados,

e apesar do material ser ante propagação de chama, a temperatura de serviço máxima dos perfis de PVC é da ordem de 60°C.

*Figura 8: Esquema de montagem do sistema “Concreto-PVC”*



*Fonte: CONCRETESHOW (2011, p. 4)*

A Figura 8 exemplifica o esquema de montagem dos painéis e principais componentes do sistema, já a Figura 9 dá um exemplo de uma edificação construída nesse sistema.

*Figura 9: Casa popular construída no sistema “Concreto-PVC”*



*Fonte: CONCRETESHOW (2011, p. 41)*

- Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")

A diretriz de N° 005 que trata do referido sistema construtivo, como aquele composto por quadros estruturais, formados por peças de madeira maciça (montantes, travessas, bloqueadores, umbrais, vigas, caibros, ripas e sarrafos), fechados interna e externamente por chapas delgadas podendo ser materiais como OSB (Oriented Strand Board), chapas de madeira compensada ("plywood"), outras chapas de madeira ou, chapas cimentícias. O sistema se assemelha bastante ao "Light Steel Framing", onde os módulos que compõem o esqueleto da estrutura são pré-fabricado e conduzidos ao local da obra. Molina e Junior, apontam o wood frame como o sistema construtivo utilizado na construção de 95% das casas construídas nos EUA, fato relacionado ao excelente isolamento térmico que o material proporciona.

Apesar do constante apelo da sociedade com relação a preservação de recursos naturais, o sistema apresenta uma saída para um melhor aproveitamento desses recursos, uma vez que para obter a DATEC, toda madeira deve ser proveniente de florestas plantadas ou florestas nativas, com desmatamento ou manejo florestal aprovado pelo IBAMA e certificada por órgãos acreditados.

Apesar dos ganhos de produtividade característicos dos sistemas construtivos industrializados, alguns problemas como, inflamabilidade, indisponibilidade de matéria prima e susceptibilidade de ataques de organismos xilófagos que degradam a madeira quando não trada corretamente, diminuindo a vida útil do produto, são alguns inconvenientes do sistema construtivo apontado pela Diretriz N° 005.

A Figura 10 apresenta o processo de montagem de uma unidade habitacional, quando a Figura 11 expõem uma edificação executada no sistema já em fase de acabamento.

*Figura 10: Montagem de unidade habitacional térrea isolada*



*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 020 (2013, p. 2)*

*Figura 11: Unidade habitacional térrea isolada – “Sistema leve em madeira – TECVERDE”*



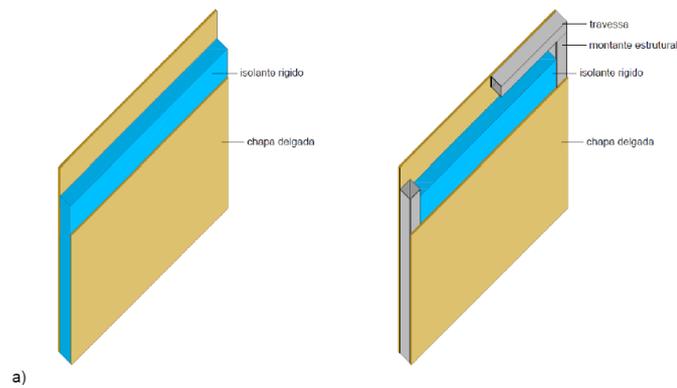
*Fonte: Ministério das Cidades-DATec 020 (2013, p. 2)*

- Sistema Construtivo Formado por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido.

Os sistemas construtivos avaliados pela diretriz de Nº 010, estão relacionados a todos aqueles constituídos por painéis pré-fabricados, formado por placas delgadas de chapas de aço pré-pintadas e chapas de compósito polimérico (resina de poliéster ou resina epóxi reforçada com fibra de vidro), e núcleo de isolante térmico rígido, como poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudado (XPS), poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (poliuretano modificado - PIR). A mesma diretriz clássica os painéis sem função estrutural, como aqueles utilizados somente como vedações ou em sistemas de cobertura. Já o sistema estrutural pode ser obtido de duas formas, primeiro, usado perfis metálicos adequados compondo o módulo de uma parede completa, ou introduzindo estes perfis, na própria estrutura do painel durante sua fabricação, no entanto, para ambos os casos, pode haver necessidade da introdução de perfis de aço (guias

e montantes) para completar a ligação entre os painéis. A Figura 12 demonstra de forma simplificada os painéis de vedação e estruturar do sistema.

*Figura 12: Painéis estruturais, sem reforços; b) painéis estruturais com perfis de reforços integrados na fase de fabricação.*



*Fonte: Ministério das Cidades-DIRETRIS SINAT 010 (2014, p. 4)*

Atualmente não existe DATEC com validade para esse sistema, no entanto, empresas como a Dãnica Zinpcó, e a Isoeste fabricam os diversos tipos de painéis e desenvolvem o sistema no país. Como exemplo, temos a construção de 1236 na vila residencial temporária da Usina de Belo Monte, construída em 18 meses. Destacado pelos fabricantes, temos como vantagem do sistema, a leveza dos painéis, redução em 70% dos colaboradores no canteiro de obra, permite modulação do projeto ou uso dos painéis como vedação em outros sistemas construtivos. A Figura 13 abaixo exemplifica o ciclo construtivo de uma das unidades habitacionais construídas na vila residencial temporária de Belo Monte.

*Figura 13: Ciclo construtivo do sistema*



*Fonte: Dânica Zipco (2016, p. 19)*

As principais desvantagens do sistema relacionadas pela diretriz N° 010, estão relacionadas a restrições como número de pavimentos quando estruturada somente pelas placas, que para este sistema restringe-se somente a edificações térreas, possibilidade de corrosão dos perfis estruturais, inviabilidade o sistema em regiões de agressividade ambiental nível III, necessidade construção de shafts para passagem das tubulações das redes de água, esgoto e elétrica.

- Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto.

A diretriz N° 011 trata de sistemas construtivos de paredes em duas configurações distintas, são elas:

Paredes, moldadas no local, formadas por blocos ou fôrmas de EPS preenchidos com concreto armado;

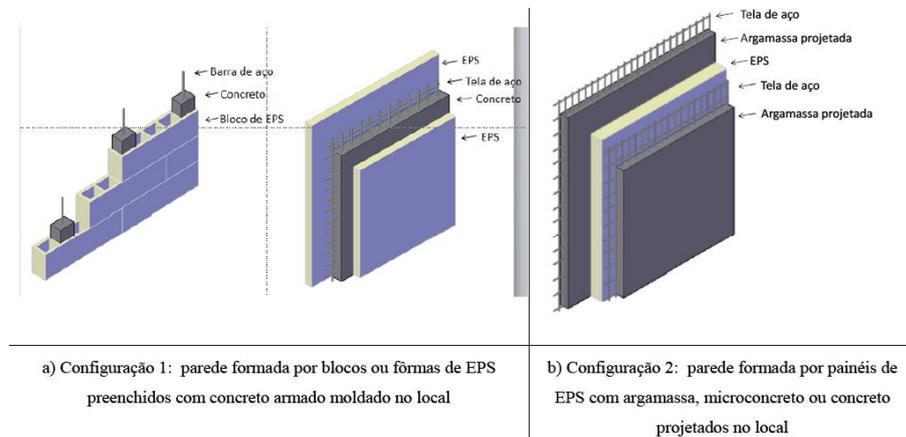
Paredes, moldados no local, formadas por painéis de EPS com argamassa, microconcreto ou concreto projetados sobre painel de EPS.

No entanto a um maior destaque para a segunda configuração, uma vêz que há mais materiais técnicos disponíveis nos meios de comunicação.

Segundo Bertoldi (2007), o sistema surgiu na Itália meados dos anos oitenta, chamado Monolite, difundindo-se por países como: Itália, Portugal, Espanha, Rússia, Turquia, Líbia, Egito, Argentina, Chile, Venezuela, Guatemala, Costa Rica, México e França. Chegando ao Brasil na década de noventa, quanto o sistema foi analisado pelo Instituto de Pesquisas

Tecnológicas (IPT), para avaliar a eficiência da nova tecnologia. A Figura 14 dá uma ideia dos dois processos avaliados pela Diretriz N° 011.

*Figura 14: Tipos de configurações de parede objeto desta Diretriz*



*Fonte: Ministério das Cidades-DIRETRIS SINAT 011 (2014, p. 3)*

Segundo Coelho (2015), os painéis formados por núcleo de EPS, envolvidos por malhas de aço e recobertos por argamassa projetada, formam um conjunto tão resistente chegando a ser comparado à lajes na posição vertical. Os painéis são ligados à fundação através de esperas de aço, e entre si através de telas soldadas. Com a conclusão dos processos, obtém-se uma estrutura íntegra, caracterizando um sistema monolítico.

A leveza dos componentes utilizados conferem agilidade nos processos construtivos, no entanto a necessidade da utilização de argamassa ou concreto projetado conforme ilustrado pela Figura 15, podem gerar consideráveis perdas, e como descrito na própria diretriz de avaliação, este sistema está restrito a construções para fins residenciais térreas e sobrados.

*Figura 15: Método de projeção de argamassa*



*Fonte: Bertoldi (2007, p. 98)*

A Figura 16 ilustra o sistema construtivo na fase de acabamento, quando a Figura 17 apresenta a mesma edificação já concluída.

*Figura 16: Construção do madeiramento do telhado*



*Fonte: Bertoldi (2007, p. 98)*

*Figura 17: Obra concluída*



*Fonte: Bertoldi (2007, p. 99)*

O Manual de Oslo (2004), descreve como a inovação de processo tecnológico, a implantação ou adoção de métodos de produção ou comercialização novos ou significativamente aprimorados, podendo envolver mudanças de equipamentos, recursos humanos, metodologias de trabalho ou uma combinação dos mesmos. Na maioria dos trabalhos pesquisados a inovação e busca com a utilização de algum material sustentável, com a utilização ou aprimoramento de técnicas de gerenciamento de recursos, ou com a incorporação de uma nova tecnologia de construção.

Como se pode observar, a construção civil é composta de vários processos, e de certa forma não existe um sistema construtivo capaz de abranger a execução de todas as partes componentes de uma edificação, sendo necessário a interação de diversos outros sistemas e tecnologias. Este trabalho tem a oportunidade de promover o desenvolvimento de um novo sistema construtivo ou uma nova concepção de construção relacionando os diversos conceitos e sistemas construtivos relacionados.

### 3 MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Este capítulo objetiva a apresentação do modelo multicritério proposto para seleção dos sistemas construtivos que atendam as especificações previstas em norma, possuam maior produtividade e menor geração de resíduos, e principalmente atendam as expectativas do mercado consumidor. Além de descrever todas as etapas do processo de escolha, a pesquisa enfatiza sua importância no sentido de apontar ao decisor o sistema construtivo que proporcionem maiores ganhos.

A análise inicia na definição dos sistemas construtivos não convencionais que serão avaliados. Como já foi citado, existem vários sistemas construtivos, contudo na base do SINAT, encontram-se, somente os sistemas construtivos avaliados e consolidados dentro das práticas de construção brasileiras, sendo estes possíveis de serem financiados com ajuda das linhas de crédito habitacional.

A partir dos diversos sistemas construtivos avaliados pelo SINAT, sete foram escolhidos por de fato corresponderem pela estrutura da edificação. E seguida faz-se necessário o levantamento dos critérios que iram avaliar os mesmos, como os previstos pela norma ABNT NBR 15575 (2013), que trata dos parâmetros de conforto que uma edificação para fins habitacionais deve possuir. Em seguida define-se o método de análise, normalizando os índices de desempenho e incorporando os pesos aos critérios de acordo com a preferência do decisor e a critérios de maior relevância. Partindo deste ponto para simulação, reformulação se for necessário, e posteriormente definição do sistema construtivo ganhador.

O modelo de decisão proposto estrutura-se em três estágios conforme comentador por Almeida (2013), em inteligência, desenho e escolha, conforme se apresenta na Figura 18. Onde a etapa de inteligência compreende a identificação do problema de decisão, em seguida, na etapa de desenho define-se as alternativas e os critérios de avaliação, e qual metodologia será a mais apropriada para efetuar a análise, que levará na fase de escolha a definição da alternativa ganhadora.

*Figura 18: Estrutura do modelo de decisão*



*Fonte: Esta pesquisa (2017)*

### 3.1 INTELIGÊNCIA

Nesta pesquisa a fase de inteligência corresponde na identificação dos sistemas construtivos contidos na base do SINAT com melhor desempenho em uma avaliação multicritério, bastante comentada no capítulo anterior. Nesta etapa uma pré-seleção foi efetuada visando separar para a análise somente os sistemas construtivos que podem ser empregados na construção de toda estrutura da edificação, uma vez que na mesma base encontram-se outros sistemas que não atendem a esse fim, sendo assim, sete sistemas construtivos foram selecionados, são eles:

- Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local;
- Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais;
- Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing");
- Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas);
- Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing");
- Sistema Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido;
- Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto.

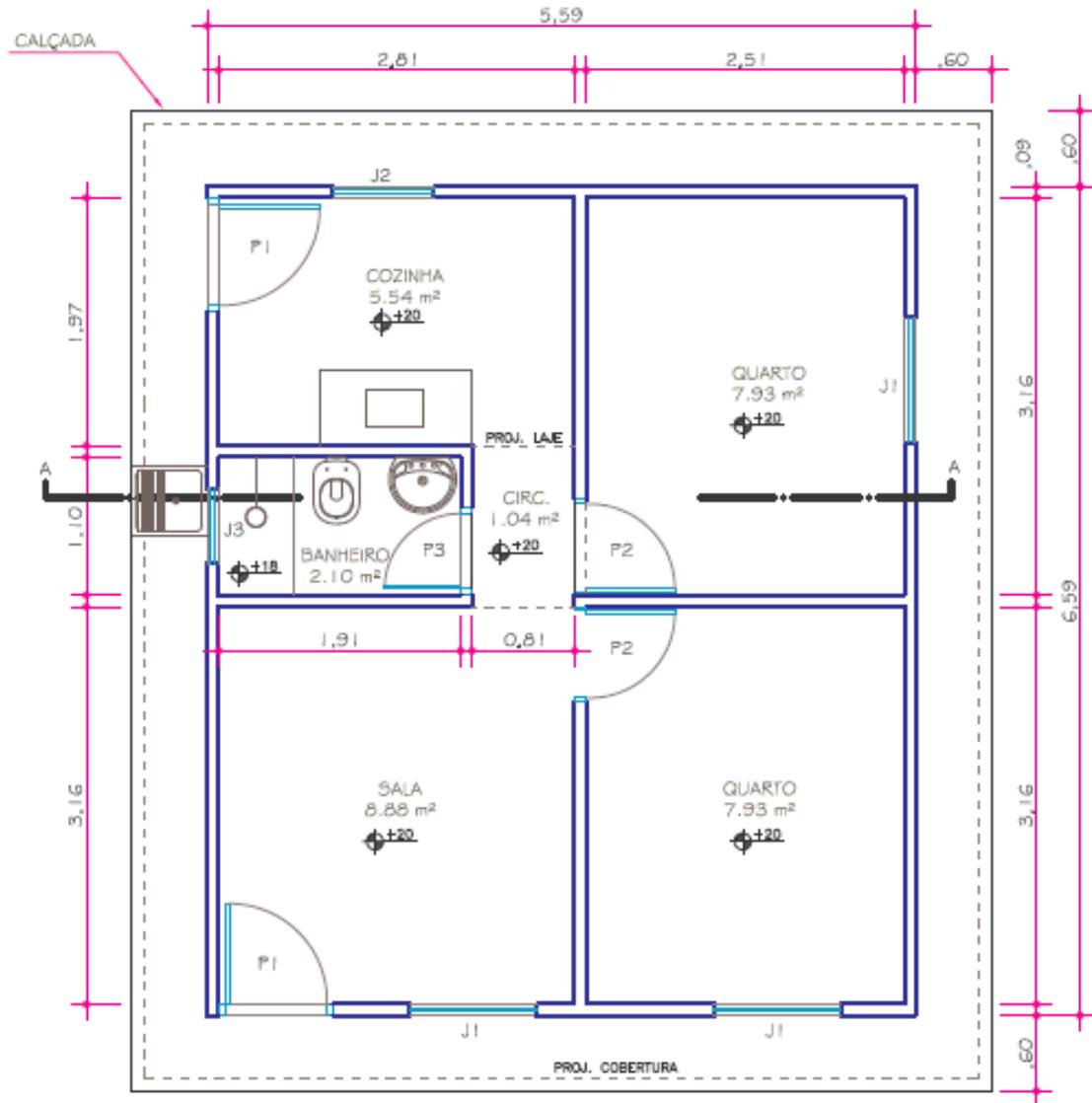
### 3.2 DESENHO

Uma vez definido os sistemas construtivos que serão avaliados, o próximo passo consiste na definição dos critérios de avaliação e na apropriação dos índices de desempenho dos mesmos. Para isso, além de coleta de informações em revistas especializadas, foi realizada cotação com empresas especializadas em cada um dos sistemas construtivos descritos neste trabalho, onde as mesmas deveriam fornecer orçamento para construção de 200 casas populares na região da cidade de Marabá, levando em consideração toda infraestrutura necessária para construção das mesmas, obtendo assim o preço de venda do serviço de construção e o tempo de construção de todo empreendimento, que posteriormente será dividido pela quantidade de casas, obtendo assim os índices necessários para simulação.

Inicialmente foram contactadas 21 empresas, visando obter a média dos índices entre 3 para cada sistema construtivo; porem isso não foi possível, pois a grande maioria não respondeu a solicitação de orçamento. Sendo assim, foram selecionadas 7 empresas das que responderam à cotação. É importante ressaltar que o orçamento só leva em conta a construção das casas, ficando fora outros serviços como pavimentação de ruas, serviços de saneamento e fornecimento de energia elétrica.

Para elaboração do orçamento foi dado como base um projeto de 36,84m<sup>2</sup> de área construída conforme ilustrado na Figura 19 abaixo.

Figura 19: Planta baixa casa popular



Fonte: Cadernos CAIXA (2006)

Para facilitar a apropriação dos dados, as empresas serão organizadas na mesma ordem em que foram abordados os sistemas construtivos contidos nesta pesquisa e identificadas

conforme exposto na Tabela 4, no entanto as empresas  $\alpha$  e  $\mu$  correspondem a uma única que trabalha com os dois sistemas, além de também executar obras no sistema tradicional.

*Tabela 4: Legenda para identificação dos sistemas construtivos*

ID dos sistemas	ID das empresas	Descrição dos sistemas construtivos
A	$\alpha$	Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local
B	$\beta$	Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais
C	$\gamma$	Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")
D	$\delta$	Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas)
E	$\epsilon$	Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")
F	$\lambda$	Sistema Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido.
G	$\mu$	Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto

*Fonte: Esta pesquisa (2017).*

### *3.2.1 Custo de construção unitário ou custo por unidade habitacional construída.*

O principal obstáculo para o acesso a moradia é a renda familiar, fato apontado na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)-IBGE (2014), representado na Tabela 5, revela dados estatísticos sobre o Déficit Habitacional Brasileiro segundo a Fundação João Pinheiro em parceria com o Ministério das Cidades, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), onde praticamente 83% do déficit habitacional compreende as famílias com renda de até 3 salários mínimos. Levando-nos a crer que o custo da edificação é um critério de grande relevância.

*Tabela 5: Distribuição percentual do déficit habitacional urbano por faixas de renda média familiar mensal*

--	--

Especificação	Faixas de renda mensal familiar (em salários mínimos)			
	até 3	mais de 3 a 5	mais de 5 a 10	mais de 10
Região Norte	79,50%	11,80%	6,50%	2,20%
Região Nordeste	88,20%	7,00%	3,50%	1,20%
Região Sudeste	83,70%	10,00%	5,20%	1,00%
Região Sul	78,20%	13,10%	6,40%	2,30%
Região Centro-Oeste	83,90%	8,80%	5,00%	2,40%

Fonte: CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção (2014).

De acordo com a empresa “ $\alpha$ ” se o empreendimento fosse construído no sistema tradicional o custo de construção das 200 casas ficaria em torno de R\$10.315.200,00 (dez milhões, trezentos e quinze mil e duzentos reais), já incluindo toda estrutura necessária, como mão de obra e instalações de apoio ao canteiro de obras, com conclusão prevista em 12 meses, ou seja, cada casa sairia por R\$ 51.576,00 (cinquenta e um mil, quinhentos e setenta e seis reais), nestas condições cada edificação demandaria aproximadamente 43,8 horas corridas, ou seja, sem levar em conta domingos e feriados; para isso seria necessário ao menos 20 frentes de trabalho, ou seja, 20 casas sendo construídas simultaneamente.

Já com a utilização de formas de alumínio, o custo total para construção das mesmas 200 casas ficou em R\$ 6.000.000,00 (seis milhões de reais), e o tempo estimado para a entrega das casas ficou em 8 meses, reduzindo o custo da unidade habitacional para R\$ 30.000,00 (trinta mil reais), o que resulta em uma relação de 28,8 horas para cada edificação. Outro benefício destacado pela empresa “ $\alpha$ ” consiste na redução drástica de mão de obra, pois como o ciclo de montagem, concretagem e desmontagem das formas fica em torno de 4 dias, bastariam 6 frentes de trabalho. Quando questionada sobre o custo das formas, a mesma informou o custo do m<sup>2</sup> varia em função do projeto, ficando em torno de R\$1.200,00. Esse custo é facilmente amortizado se considerarmos a quantidade de reutilizações que as mesmas proporcionam, pois segundo o fabricante das formas podem chegar até 1000 vezes, o que facilmente pode ser comprovado se o valor do metro quadrado da forma de alumínio for dividido pelo da forma de madeira produzida na obra, obtendo assim a quantidade reutilizações necessárias para equiparar os preços dos dois sistemas. Por exemplo, se considerando-se o preço de R\$56,26 referente ao serviço de forma em madeira obtido na base do SINAP-PA de Dezembro de 2017, seriam necessárias 22 reutilizações, como o projeto consta de 6 jogos de forma para construção de 200 casas, cada forma ao menos será reutilizada 33 vezes, justificando o emprego da tecnologia.

A empresa “ $\beta$ ” especializada no sistemas construtivo integrado por painéis pré-moldados, destaca que a principal vantagem do sistema e a rapidez com que as casas são montadas, em média 3 dias para um projeto como o proposto, entretanto o investimento para construção da

infraestrutura básica para acomodar a fábrica dos painéis é relativamente alto, conforme exposto na Tabela 6, onde o custo de construção da casa conforme especificado ficaria em torno de R\$45.000,00. Diluindo-se o custo da infraestrutura nas 200 casas, tem-se R\$50.410,00 por edificação, com prazo de entrega do empreendimento em 9 meses, proporcionando uma relação de 32,4 horas para cada edificação.

Apesar do custo estar bem próximo do sistema tradicional, o mesmo pode ser reduzido com o aumento da quantidade de casas construídas. Segundo a empresa, a estrutura de fabricação pode atender obras a um raio de 200 km.

*Tabela 6: Levantamento da infraestrutura mínima de apoio ao sistema de paredes pré-moldadas*

Descrição	Quantidade	V. Unitário	V. Total
Galpão com 1000m <sup>2</sup>	1,00	800.000,00	800.000,00
Caminhão Munck usado	2,00	120.000,00	240.000,00
Betoneira SRE 600 Litros	2,00	21.000,00	42.000,00
<b>Total</b>			<b>1.082.000,00</b>

*Fonte: CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção (2014).*

A empresa “γ” especializada no sistema construtivo "Light Steel Framing" destaca que a principal vantagem do sistema é a redução da quantidade de mão de obra e a redução do tempo de construção, onde é possível concluir completamente uma edificação do padrão especificado em até 4 dias, com previsão de 6 meses para entrega de todo empreendimento, além de possibilitar alterações durante a construção, algo que não é possível em alguns sistemas construtivos racionais. No entanto o custo de uma unidade habitacional ficou em R\$57.200,00, valor em torno de 10% acima do sistema construtivo tradicional. Nestas condições o sistema possibilita uma relação de 21,6 horas por edificação construída.

Dos sistemas construtivos abordados nessa pesquisa o Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas é o único em operação na região de Marabá. A empresa “δ” onde o custo da unidade habitacional ficou em R\$65.000,00. Quando questionado sobre a viabilidade do negócio, o seu representante enfatizou que apesar do custo maior, o sistema permite o rápido retorno do investimento uma vez que o sistema permite executar uma unidade na metade do tempo necessário para construir no sistema tradicional de construção, nas condições propostas o empreendimento seria entregue em aproximadamente 6 meses, mantendo um índice de 21,6 horas por edificação.

Com relação ao sistema construtivo Light Wood Framing, nem uma das empresas contatadas se dispuseram em fornecer as informações solicitadas, deixando sem parâmetro de comparação esse sistema construtivo.

Apesar “λ” não atuar na construção de projetos habitacionais, a mesma orçou em R\$52.000,00 uma edificação construída no Sistema Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido. A empresa destaca que esse sistema é muito utilizado em construções industriais, mesmo que seja na construção de abrigos provisórios de apoio a grandes empreendimentos, sua principal vantagem consiste no acelerado processo de construção, resistência mecânica e leveza. Onde a mesma alegou ser possível concluir os serviços em 6 meses ou menos.

Os índices do sistema construtivo em paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto, sistema construtivo “G”, foram fornecido pela mesma empresa que apresentou orçamento para o sistema construtivo “A”, porem identificados de forma distinta visando destacar o sistema construtivo e não a empresa que o executa. Segundo a empresa “μ” o projeto todo teria um custo de R\$7.000.000,00 (sete milhões de Reais), resultando em um custo de R\$35.000,00 por unidade construída, levando um período de 5 meses para a entrega do empreendimento proporcionando um índice de 28,8 h para cada edificação. Concluído o levantamento, temos na Tabela 7 a relação dos valores da das unidades habitacionais respectivo ao sistema construtivo utilizado.

*Tabela 7: Custo unitário por edificação*

Sistemas construtivos	Custo
A	30.000,00 R\$
B	45.000,00 R\$
C	57.200,00 R\$
D	65.000,00 R\$
E	XX
F	52.000,00 R\$
G	35.000,00 R\$

*Fonte: Esta pesquisa (2017).*

### 3.2.2 Tempo de construção do empreendimento.

Este critério está diretamente ligado a produtividade dos sistemas avaliados onde o menor tempo de construção implica diretamente na redução de custo com mão de obra. Sistemas construtivos com maior desempenho nesse critério, podem responder mais rapidamente a necessidades emergenciais por habitações em casos de calamidade pública. Em alguns casos o critério custo pode ficar em segundo plano, uma vez que a obra concluída trará

o retorno do investimento mais rapidamente. Na Tabela 8 estão descritos os prazos de entrega respectivos a cada sistema, conforme informado pelas construtoras.

*Tabela 8: Prazo para entrega do empreendimento*

<b>Sistemas construtivos</b>	<b>Tempo de construção em meses</b>
A	8
B	9
C	6
D	6
E	XX
F	6
G	5

*Fonte: Esta pesquisa (2017).*

### 3.2.3 Resistência a agressividade ambiental.

Conforme a ABNT NBR 6118 (2014), a agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que interferem nos elementos que compõem as estruturas de concreto armado. Sendo classificada pela mesma em quatro níveis, variando de fraca, moderada, forte e muito forte. Onde a mesma prevê diferentes espessuras de recobrimento das barras de aço que compõem a estrutura, assim como mudanças na composição do concreto, visando dificultar a penetração dos agentes agressivos, em especial dos sulfatos. Fator que deve ser levado em consideração na definição do sistema construtivo.

Neste sentido a Diretriz SINAT 003 (2012), que descreve os procedimentos de avaliação do sistema construtivo Light Steel Framing, não recomenda a construção neste sistema em ambientes de elevada agressividade ambiental, como atmosferas industriais ou marinhas.

No sentido de facilitar posteriormente a avaliação entre os sistemas, a Tabela 9 classifica os sistemas construtivos em uma escala compatível com o nível de agressividade que o sistema pode suportar.

Tabela 9: Classificação dos sistemas construtivos quanto sua capacidade de suportar a agressividade ambiental.

Sistemas construtivos	Critério - Resistência a agressividade ambiental	
	Resistência a agressividade ambiental	Fonte
A	3	Diretriz SINAT 001 (2011)
B	3	Diretriz SINAT 002 (2012)
C	2	Diretriz SINAT 003 (2012)
D	3	Diretriz SINAT 004 (2010)
E	3	Diretriz SINAT 005 (2011)
F	2	Diretriz SINAT 010 (2014)
G	3	Diretriz SINAT 011 (2014)
<b>Níveis de agressividade ambiental segundo a NBR 6118 (2014)</b>		
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto
<b>1</b>	<b>Fraca</b>	<b>Rural</b>
<b>2</b>	<b>Moderada</b>	<b>Urbana</b>
<b>3</b>	<b>Forte</b>	<b>Marinha</b>
<b>4</b>	<b>Muito Forte</b>	<b>Respingos de maré</b>

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118 (2014).

### 3.2.4 Resistência ao fogo.

Os sete sistemas construtivos avaliados, descritos na base de dados do SINAT, são compostos de diversas tecnologias com o emprego de diversos materiais, com características físicas e químicas bem peculiares, diferenciando-se também as reações dos mesmos quando expostos ao fogo. Os materiais de construção podem ser classificados em Materiais não-combustíveis ou incombustíveis, Materiais semi-combustíveis e Materiais fogo-retardantes a Tabela 10 classifica os materiais segundo Mitidieri e Ioshimoto (1998). É importante ressaltar que todos os sistemas construtivos contidos na base de dados do SINAT atendem as condições mínimas de segurança de desempenho previstos na NBR 15575, para elementos estruturais, paredes, pisos e cobertura, e atestada por ensaios de resistência ao fogo conforme NBR 5628.

Mesmo os Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas “Light Wood Framing” quando utilizado conforme as

especificações, atendem aos requisitos de segurança. No caso de unidade habitacional unifamiliar, isolada, até dois pavimentos, é requerida resistência ao fogo de 30 minutos para o sistema de vedação vertical externa e interna que limitam cozinha e ambiente fechado que abrigue equipamento de gás.

Com relação aos elementos estruturais, conforme Morales et al (2011), o concreto mantém suas características quanto a resistência mecânica praticamente inalterada em situações em que a temperatura não supere os 300°C, no entanto, segundo Pinto e Junior (2004) as peças estruturais de madeira, quando expostas ao fogo, tem a sua resistência reduzida pela diminuição da seção, em função da degradação pelo fogo de suas camadas externas, mantendo praticamente intactas as características das camadas mais internas. Dependendo da situação e das dimensões do elemento estrutural, a madeira pode superar materiais como o concreto e o aço em uma situação de incêndio.

A incorporação desse critério justifica-se pelo fato de que, mesmo com a utilização de materiais fogo-retardantes, ou seja, materiais combustíveis que sofreram algum tratamento para retardar os efeitos do fogo sobre o mesmo, ainda é consideravelmente maior do que as que empregam materiais com resistência superior. Para isso, classificou-se os mesmos em ordem decrescente, quanto a sua capacidade em resistir a propagação de fogo, conforme apresentado na Tabela 10 abaixo.

*Tabela 10: Classificação dos Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo*

<b>Descrição</b>	<b>Classificação do material</b>	<b>Características</b>	<b>Exemplo</b>
Materiais não-combustíveis ou incombustíveis	3	Aqueles que, quando submetidos a uma combustão, não apresentam rachaduras, derretimento, deformações excessivas e não desenvolvem elevada quantidade de fumaça e gases. Os materiais enquadrados nesta categoria geralmente são inorgânicos	Concreto, tijolo, cobertura para telhado, placa de amianto, aço, alumínio, vidro, argamassas ou outros
Materiais semi-combustíveis	2	Aqueles que apresentam baixa taxa de queima e pouco desenvolvimento de fumaça ou gases, quando submetidos a um processo de combustão. Também não apresentam rachaduras, derretimentos ou deformações excessivas.	Painéis de gesso e os revestimentos metálicos que contêm quantidade mínima de madeira, papel ou plástico

Materiais fogo-retardantes	1	Aqueles que sofreram tratamentos químicos para melhorar suas características de reação ao fogo, ou aqueles protegidos com superfícies incombustíveis ou com produtos que apresentem dificuldade de queima, quando expostos a um processo de combustão.	Madeira, papel e plástico
----------------------------	---	--	---------------------------

Fonte: Adaptado de Mitidieri e Loshimoto (1998)

Baseado na classificação dos materiais apresentada na tabela acima, pode-se efetuar a classificação dos sistemas construtivos abordados nessa pesquisa em função de seus componentes, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Classificação dos Sistemas Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo

Descrição dos sistemas construtivos	Classificação quanto a resistência ao fogo
Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local	3
Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais	3
Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")	2
Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas)	2
Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")	1
Sistema Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido.	2
Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto	2

Fonte: Esta pesquisa (2017)

### 3.2.5 Tempo estimado para a primeira manutenção.

Similar ao critério comentado anteriormente, não é possível encontrar parâmetros de comparação entre os sistemas construtivos abordados, pois todos atendem as mesmas especificações normativas. Ou seja, considera-se que os elementos dos sistemas construtivos tenham vida útil de projeto (VUP) no mínimo igual aos períodos sugeridos na NBR 15575-1 e transcritos na Tabela 12, se submetidos a manutenções preventivas (sistemáticas) e, sempre que necessário, a manutenções corretivas e de conservação previstas no manual de operação, uso e manutenção.

Tabela 12: Vida útil de projeto mínima

Sistema	VUP anos
	Mínimo
Estrutura (paredes e lajes de piso objeto desta Diretriz)	≥ 40
Vedação vertical externa (paredes formadas por quadros estruturais em peças de madeira e chapas delgadas)	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Pisos internos (revestimentos e acabamentos)	≥ 13
Cobertura	≥ 20

Fonte: ABNT NBR 15575-1(2013)

Desempenho térmico e acústico. Igualmente aos dois últimos critérios citados, estes dois critérios também serão retirados do modelo. Uma vez que todos os sistemas construtivos descritos na base SINAT, atendem as condições mínimas previstas em norma, para construções com fins residências.

### 3.2.6 Potencial de Verticalização.

Lima e Lima (2014) comentam que nos últimos 50 anos, o crescimento populacional dos grandes centros urbanos, vem promovendo o adensamento no formato horizontal como no vertical, forçando mudanças no comportamento de aproveitamento e ocupação do solo. Quando a acomodação das populações urbanas, não ocorre com a expansão das fronteiras no perímetro urbano, ou seja de forma horizontal, a saída é readequar os espaços já ocupados através da verticalização das habitações. Neste sentido o critério potencial de verticalização ou aumento da altura do gabarito é considerado nessa pesquisa, visando fornecer ao decisor a capacidade de identificar quais dos sistemas podem ser utilizados nesta condição.

As diretrizes de avaliação técnica (DATECs) para os sistemas construtivos especificam conforme a Tabela 13, a capacidade máxima de verticalização que os mesmos podem atingir para se manter de acordo com os requisitos normativos, sendo necessário para qualquer

implementação, submeter o sistema novamente a análise. De forma geral, todos os sistemas construtivos contidos na base SINAT, estão limitados a cinco pavimentos.

*Tabela 13: Capacidade máxima de verticalização*

Sistemas construtivos	Critério - Potencial de Verticalização	
	Nº de pavimentos	Fonte
A	5	Diretriz SINAT 001 (2011)
B	5	Diretriz SINAT 002 (2012)
C	5	Diretriz SINAT 003 (2012)
D	2	Diretriz SINAT 004 (2010)
E	2	Diretriz SINAT 005 (2011)
F	1	Diretriz SINAT 010 (2014)
G	2	Diretriz SINAT 011 (2014)

*Fonte: ABNT NBR 15575-1(2013)*

### 3.2.7 Resíduo gerado /m<sup>2</sup>

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 307 de 2002, mais precisamente, o Art. 1º, estabelece que os geradores de resíduos da construção civil, devem ser responsabilizados em dar o devido destino a estes, atendendo a critérios e procedimentos para a gestão dos mesmos, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Florim e Quelhas (2004), enfatizam que em uma habitação de qualidade devem ser concebidas de forma a não comprometer os eco-sistemas existentes. No entanto os autores complementam que existe uma relevante carência de literatura acerca da aplicação da sustentabilidade em políticas habitacionais.

De fato, apesar dos sistemas construtivos racionais, apresentarem uma elevada redução na geração de resíduos, quando comparados aos métodos construtivos tradicionais, não existe informação que quantifique essa relação, forçando a desconsiderar este critério na modelagem.

A Tabela 14 relaciona os sistemas construtivos e os critérios de avaliação, critérios estes escolhidos visando relacionar critérios comuns a todos os sistemas construtivos abordados, de forma simplificada visando facilitar a compreensão do decisor.

Tabela 14: Matriz de Avaliação

Critérios de avaliação	Custo				Resistencia e Durabilidade			Características ambientais			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Sistema construtivo</b>											
Sistemas construtivo “A”											
Sistemas construtivo “B”											
Sistemas construtivo “C”											
Sistemas construtivo “D”											
Sistemas construtivo “E”											
Sistemas construtivo “F”											
Sistemas construtivo “G”											
Critérios de avaliação											
Custo		Resistencia e Durabilidade				Características ambientais					
Custo da unidade abitacional	1	Potencial de Verticalização				5	Desempenho térmico				8
Tempo de construção do	2	Resistência ao fogo				6	Desempenho acústico				9
Disponibilidade de Mão de obra	3	Tempo estimado para a primeira manutenção				7	Resistência a agressividade ambiental				10
Disponibilidade de insumos	4						Resíduo gerado /m <sup>2</sup>				11

Fonte: Esta pesquisa (2017)

### 3.3 ESCOLHA

Nesta pesquisa a fase de escolha compreende a identificação do método de apoio a decisão a ser adotado, ficando para o próximo capítulo a aplicação do método e a obtenção dos resultados.

Dentre os métodos de apoio a decisão já comentados nesta pesquisa, o escolhido foi o PROMETHEE II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), visando não compensar o resultado da análise em função de critérios de menor relevância para o decisor, algo possível em métodos compensatórios como o aditivo determinístico. Segundo Doan e Smet (2016), o método têm sido amplamente aplicado em finanças, cuidados de saúde, esporte, transportes, meio ambiente gestão, etc., em função da sua simplicidade e facilidade de aplicação.

Segundo Lima et al (2014), este método efetua uma ordenação das alternativas com base na intensidade de preferência do decisor atribuída conforme o peso estipulado a cada um dos critérios, o mesmo destaca que a partir da definição dos pesos é possível determinar o índice de preferência. Este índice é um parâmetro que mede a intensidade de preferência de uma alternativa sobre outra levando em consideração todos os critérios, definindo uma relação de preferência valorada que pode ser utilizada na ordenação das alternativas.

#### 4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DECISÃO

Nesta etapa será mostrada em síntese os valores e índices obtido no capítulo anterior assim como a implementação do modelo baseado no método PROMETHEE II, demonstrado e comentando os resultados obtidos durante a análise.

Como vimos, dos onze critérios inicialmente levantados, restaram somente quatro critérios, que estão relacionados na Tabela 4.1 que apresenta a matriz de consequência para a seleção de sistemas construtivos.

##### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E DOS CRITÉRIOS DE DECISÃO

Nesta pesquisa os critérios de avaliação estão divididos em dois grupos, um de minimização, como os critérios custo da unidade habitacional e o critério Tempo de construção do empreendimento, enquanto que, os critérios, potencial de verticalização, resistência ao fogo, e o de resistência a agressividade ambiental, fazem parte do grupo de maximização, uma vez que quanto maior os valores dos mesmos melhor, na Tabela 15, podemos ver a relação dos critérios apresentados os valores, possibilitando uma pré-análise.

Tabela 15: Matriz consequência para a seleção de sistemas construtivos

Critérios de avaliação	Custo		Resistência e Durabilidade		Carac. Ambient
	I	II	III	IV	V
<b>Sistema construtivo avaliados</b>					
Sistemas construtivos "A"	R\$ 30.000,00	8	5	3	3
Sistemas construtivos "B"	R\$ 45.000,00	9	5	3	3
Sistemas construtivos "C"	R\$ 57.200,00	6	5	2	2
Sistemas construtivos "D"	R\$ 65.000,00	6	2	2	3
Sistemas construtivos "E"	xx	xx	2	1	3
Sistemas construtivos "F"	R\$ 52.000,00	6	1	2	2
Sistemas construtivos "G"	R\$ 35.000,00	5	2	2	3
<b>Critérios de avaliação</b>					
I	Custo da unidade habitacional				
II	Tempo de construção do empreendimento				
III	Potencial de Verticalização				
IV	Resistência ao fogo				
V	Resistência a agressividade ambiental				
Obs. Os critérios I e II são de minimização e o III, IV e V são de maximização					

Fonte: Esta pesquisa (2017).

## 4.2 DEFINIÇÃO DOS PESOS E APLICAÇÃO DO PROMETHEE 2

Dependendo do cenário em que o processo decisório se desenvolve, alguns critérios, são de maiores relevância do que outros, sendo necessário encontrar formas de destacar a preferência do decisor, ou levar em conta a importância de um determinado critério em função de uma situação específica, sendo para isso necessário a incorporar pesos que levem o método a considerar esses fatores.

Segundo Almeida (2013), desde a fase de inteligência, onde são identificados os problemas de decisão, até a fase de implementação, vários atores estão envolvidos no processo decisório, onde dependendo da complexidade do problema de decisão, podemos ter além do Decisor (Investidor), a participação de Assessores, Especialistas e Analistas. Nesta pesquisa, com exceção do assessor, profissional que representa o decisor, quando o mesmo não possui disponibilidade. O decisor tem o auxílio do analista que identifica o problema de decisão, e propõem alternativas para solução do mesmo, assim como do especialista, quando atua na identificação dos critérios e na apropriação dos índices de desempenho técnico. O decisor dessa pesquisa é o diretor proprietário de uma construtora e uma pequena fábrica de pré-moldados de gesso instalado da cidade de Marabá, que pretende expandir seu negócio no ramo da construção de casas populares e deseja dispor dos resultados dessa pesquisa para investir na tecnologia mais adequada para região. Depois de esclarecidas as dúvidas e apresentadas as tecnologias abordadas nessa pesquisa o mesmo definiu os seguintes pesos levando em consideração que a soma dos mesmos deve ser igual a 1 ou 100%.

Para o decisor os sistemas construtivos que propiciem edificações com menor custo deve receber maior peso, no caso o critério custo da unidade habitacional ficará com maior peso, seguido pelo critério menor tempo de construção, capacidade de verticalização, resistência ao fogo e agressividade ambiental, utilizando as seguintes constantes de escala nas seguintes proporções:

- 0,4 ou 40% para o critério Custo da unidade habitacional;
- 0,2 ou 20% para o critério Tempo de construção do empreendimento;
- 0,1 ou 10% para o critério Resistência ao fogo;
- 0,2 ou 20% para o critério Potencial de Verticalização
- 0,1 ou 10% para o critério Resistência a agressividade ambiental

O critério generalizado do tipo I foi escolhido para todos os critérios, uma vez que qualquer diferença na avaliação das alternativas implica em uma preferência estrita.

Segundo Lima et al (2014), O método inicia com a construção da matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios, onde para cada critério  $j$ , deve ser definida uma função de preferência  $P_j$ , que assume valores entre 0 e 1, conforme podemos ver através da Tabela 16, para o critério I (Custo da unidade habitacional).

*Tabela 16: Intensidade de preferência para o critério custo da unidade habitacional*

I	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	1	1	1	1
B	0	0	1	1	1	1	0
C	0	0	0	1	1	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	1	1	1	0	0
G	0	1	1	1	1	1	0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Diferente dos métodos aditivos, o PROMETHEE, não necessita que os valores dos critérios sejam normalizados, pois na avaliação par a par efetuada entre as alternativas, vence ou sobreclassifica a outra à que possuir melhor desempenho, assumindo valor 1, ou 0 em situações em que a alternativa seja sobreclassificada ou quando as duas alternativas possuam valores muito próximos (critério generalizado do tipo II) ou iguais, situação em que se estabelece a indiferença. A baixo temos a avaliação para os critérios II, III, IV e V, sendo a Tabela 17 a que representa a avaliação das alternativas para o critério Tempo de construção do empreendimento (critério II).

*Tabela 17: Intensidade de preferência para o critério: “Tempo de construção do empreendimento”*

II	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	0	0	1	0	0
B	0	0	0	0	1	0	0
C	1	1	0	0	1	0	0
D	1	1	0	0	1	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0
F	1	1	0	0	1	0	0
G	1	1	1	1	1	1	0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Podemos descrever estes dois primeiros critérios como problema de minimização, uma vez que tanto o custo da unidade habitacional como o Tempo de construção do empreendimento, são critério em que quando menor apresentar-se seus valores melhor é o

desempenho da alternativa. Já os critérios III e IV, são exemplos de problema de maximização, pois quanto maior o potencial de verticalização, assim como a maior resistência do sistema construtivo à agressividade ambiental, são fatores almejados pelo decisor. A Tabela 18 apresenta o resultado da avaliação realizada para o critério III.

*Tabela 18: Intensidade de preferência para o critério Potencial de Verticalização*

III	A	B	C	D	E	F	G
A	0	0	0	1	1	1	1
B	0	0	0	1	1	1	1
C	0	0	0	1	1	1	1
D	0	0	0	0	0	1	0
E	0	0	0	0	0	1	0
F	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A Tabela 19 abaixo temos o resultado da análise para o critério resistência ao fogo para os sistemas construtivos avaliados.

*Tabela 19: Intensidade de preferência para o critério “Resistência ao fogo”*

IV	A	B	C	D	E	F	G
A	0	0	1	1	1	1	1
B	0	0	1	1	1	1	1
C	0	0	0	0	1	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	1	0	0
G	0	0	0	0	1	0	0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Por último a avaliação do critério V (Resistência à agressividade ambiental), conforme apresentado na Tabela 20.

*Tabela 20: Intensidade de preferência para o critério “Resistência a agressividade ambiental”*

V	A	B	C	D	E	F	G
A	0	0	1	0	0	1	0
B	0	0	1	0	0	1	0
C	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	1	0	0	1	0
E	0	0	1	0	0	1	0
F	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	1	0	0	1	0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Concluída a primeira etapa, inicia-se o segundo calculando a matriz conforme Bastos e Almeida (2002), através da Equação (4.1).

(4.1)

$$\pi(a, b) = \frac{1}{W} w_j \cdot F_j(a, b), \text{ onde } W = \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

Com a introdução dos pesos temos a Equação (4.2).

(4.2)

$$\pi(a, b) = 0,4 \cdot F_I(a, b) + 0,3 \cdot F_{II}(a, b) + 0,2 \cdot F_{III}(a, b) + 0,1 \cdot F_{IV}(a, b)$$

A Tabela 21 apresenta a matriz com o resultado dos fluxos de sobre classificação positiva ( $\Phi^+$ ) e negativa ( $\Phi^-$ ), obtidas através das equações (4.3), conforme Bastos e Almeida (2002).

(4.3)

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in a} \pi(a, b) \text{ e } \Phi^-(a) = \sum_{b \in a} \pi(b, a)$$

Tabela 21: Fluxos de sobre classificação

	A	B	C	D	E	F	G	$\Phi^+$	$\Phi$	RANKING	$\Phi/6$
A	-	0,60	0,70	0,70	0,90	0,80	0,70	4,4	3,6	1º	0,6
B	-	-	0,70	0,70	0,90	0,80	0,30	3,4	1,6	3º	0,266667
C	0,20	0,20	-	0,50	0,90	0,10	0,10	2	-0,7	4º	-0,11667
D	0,20	0,20	0,10	-	0,80	0,20	-	1,5	-1,4	6º	-0,23333
E	-	-	0,10	-	-	0,20	-	0,3	-4,8	7º	-0,8
F	0,20	0,20	0,40	0,40	0,80	-	-	2	-0,9	5º	-0,15
G	0,20	0,60	0,70	0,60	0,80	0,80	-	3,7	2,6	2º	0,433333
$\Phi^-$	0,8	1,8	2,7	2,9	5,1	2,9	1,1			$\Sigma$	0,0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O resultado da análise é obtido através da diferença entre o fluxo de sobreclassificação positiva ( $\Phi^+$ ) e o fluxo de sobreclassificação negativa ( $\Phi^-$ ), conforme a Equação (4.4), onde o ranking é obtido em ordem decrescente em relação ao desempenho das alternativas.

(4.4)

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a), a \in A.$$

O resultado da análise pode ser melhor visualizado através da Figura 20, onde o mesmo é representado graficamente.

*Figura 20: Ranking resultante da análise*



*Fonte: Esta Pesquisa (2017)*

### 4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Segundo Chang et al (2007), a análise de sensibilidade objetiva verificar até que ponto podemos variar o peso de um determinado critério sem afetar o resultado da análise, ou mesmo verificar a partir da variação dos pesos, cenários que mudaram o ranking das alternativas analisadas.

A análise de sensibilidade portanto fornece informações sobre a estabilidade do ranking. Se o ranking é altamente sensível a pequenas mudanças nos pesos dos critérios, recomenda-se uma revisão cuidadosa dos mesmos, assim como, critérios de decisão adicionais devem ser incluídos. Um ranking altamente sensível aponta para um fraco potencial de discriminação do atual conjunto de critérios. Para esse fim, os pesos dos critérios importantes são alterados separadamente, simulando pesos entre 0% e 100%.

Com uma variação de 10% no peso dos dois principais critérios (I e II), ou seja, igualando-os em 30%, ocorre o empate entre o sistema construtivos “A” e “G”, como observado na Tabela 22, que além do resultado do fluxo de sobreclassificação, mostra o novo ranking gerado.

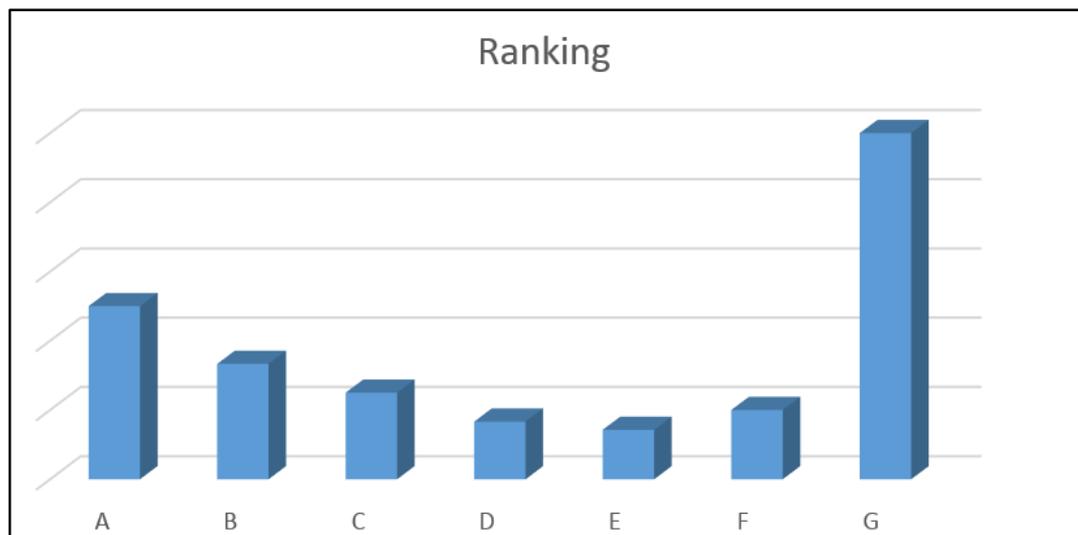
Tabela 22: Fluxo de sobreclassificação obtido com a variação do peso dos critérios I e II.

	A	B	C	D	E	F	G	$\Phi$	$\Phi$	RANKING	$\Phi/6$
A	-	0,60	0,60	0,60	0,90	0,70	0,60	4	2,8	1º	0,4666
B	-	-	0,60	0,60	0,90	0,70	0,30	3,1	1	3º	0,1666
C	0,30	0,30	-	0,40	0,90	0,10	0,10	2,1	-0,3	4º	-0,05
D	0,30	0,30	0,10	-	0,80	0,20	-	1,7	-0,8	6º	-
E	-	-	0,10	-	-	0,20	-	0,3	-4,8	7º	-0,8
F	0,30	0,30	0,30	0,30	0,80	-	-	2	-0,7	5º	-
G	0,30	0,60	0,70	0,60	0,80	0,80	-	3,8	2,8	1º	0,4666
$\Phi$	0,8	1,8	2,7	2,9	5,1	2,9	1,1			$\Sigma$	0,0

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Como podemos observa na Figura 21, com exceção do sistema construtivo “A” e “G” a colocação das demais alternativas se mantem estável, contudo, um aumento de 1% no peso do critério tempo de construção do empreendimento de 30% para 31%, provoca a inversão do ranking somente entre os sistemas construtivos.

Figura 21: Ranking resultante da mudança dos pesos dos critérios I e II.

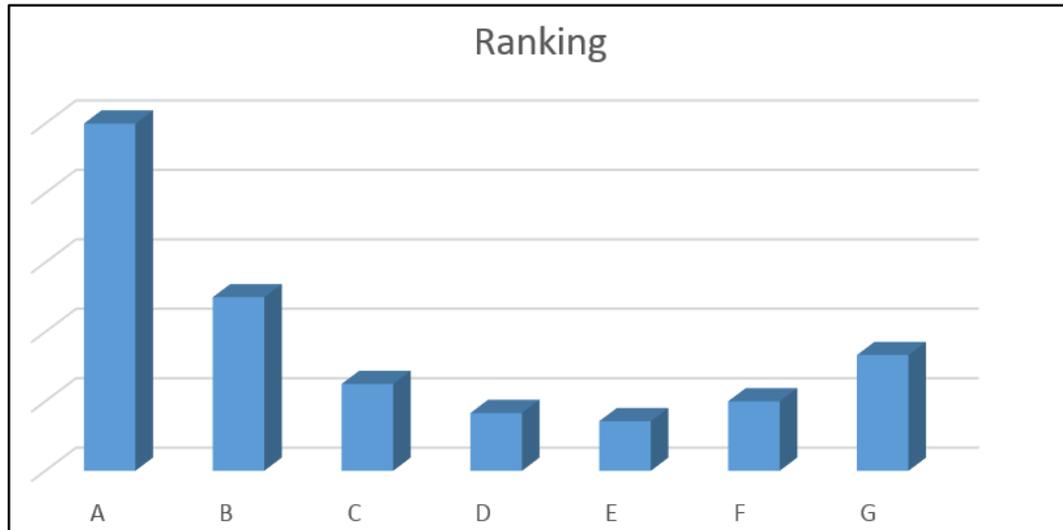


Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Apesar da sensibilidade apresentada pelo modelo, essa situação pode ser evitada utilizando a segunda curva, que estabelece uma relação de indiferença entre o desempenho de alternativas com valores muito próximos. Neste caso, o sistema construtivo “A” apresenta uma diferença de três meses para sua conclusão, quando comparado ao sistema construtivo “G”. Um período muito curto, se tratando de uma previsão baseada apenas em levantamentos, para a construção de um empreendimento desse porte, utilizando uma tecnologia sem muita mão de obra especializada. Sendo assim, estipulando um limiar de indiferença de três meses temos a

estabilização do ranking, apontando o sistema construtivo “A” como primeira alternativa mesmo sob uma extensa faixa de variação dos pesos dos critério, como pode ser observado na Figura 22.

*Figura 22: Ranking resultante da mudança dos pesos dos critérios I e II com a utilização da segunda curva para o critério Tempo de construção do empreendimento.*



*Fonte: Esta Pesquisa (2017)*

#### 4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado obtido com a utilização do método de apoio a decisão PROMETHEE II, atende ao esperado, no sentido de fornecer como resposta o sistema construtivo que atende ao interesse do decisor, sem desprezar critérios que de forma direta ou indiretamente podem inviabilizar o emprego do sistema construtivo escolhido, em contrapartida valores absolutos de um critério de menor importância, não viciam o resultado da análise, todas estas características típicas dos métodos não compensatórios.

Como pode-se observar, nesta pesquisa a alternativa ganhadora é o sistema construtivo em paredes de concreto armado moldadas no local, alcançando o primeiro lugar do ranking por ter o melhor desempenho na maioria dos critérios, em especial no critério Custo da unidade habitacional.

De forma geral, o conteúdo da análise efetuada é relativamente simples, podendo até de certa forma ser realizada de forma sensível, contudo, a medida que os critérios de avaliação vão aumentando a definição da alternativa ganhadora, ou elencar as alternativas de melhor desempenho torna-se mais difícil. Neste sentido, o principal ganho obtido com essa pesquisa

consiste na estruturação do processo decisório para seleção do sistema construtivo habitacional, além da compreensão e aplicação do método, possibilitando melhorar o processo decisório em situações futuras. Outro ponto importante a destacar, uma vez estruturado o modelo de apoio a decisão, a possibilidade de simular diversos cenários de decisão, conferindo maior segurança ao decisor no momento da escolha.

Esta pesquisa visou avaliar o desempenho dos sistemas construtivos inovadores com possibilidade de financiamento por meio do levantamento de índices de desempenho em vários aspectos, dentre eles, econômico, social, ambiental e técnico. Contudo percebeu-se que os índices levantados de certa forma não são suficientes para afirmar que um sistema construtivo específico é a melhor solução para todos os empreendimentos, no entanto, este fato não impede que a pesquisa avance na definição e aplicação de um método de apoio a decisão multicritério, tornando esta segunda etapa o elemento de maior importância deste trabalho, uma vez que, relacionar e analisar simultaneamente informações tão complexas e divergentes, seria uma tarefa impossível de ser realizada somente pela sensibilidade humana. Neste sentido pode-se destacar como maior retorno a compreensão do método de análise, e suas infinitas aplicações nos processos gerenciais sejam eles qual for. Se tratando de retorno financeiro, o mesmo vira com a diminuição do cenário de incerteza proporcionado pela aplicação adequada do método na definição de qual sistema construtivo é o mais apropriado para um determinado empreendimento.

Para uma aplicação prática, no entanto, além do que já foi comentado, o cenário deve ser montado de forma mais específica, com uma melhor definição do mercado que se pretende atender, com a regionalização dos índices levantados in loco e com a incorporação de critérios que levem em consideração a preferência da população a qual o empreendimento se destina; como aceitação das características estéticas do sistema, valor médio do imóvel para que o sistema seja aceito, dentre outros. No entanto, apropriar-se de informações como essas não é fácil, ou mesmo prever com base em problemas similares, fazendo-se necessário investir em divulgação, esclarecimentos técnicos, ou mesmo construção de protótipos. Vencido esses obstáculos, o método de apoio a decisão abordado nesta pesquisa pode ser perfeitamente empregado, uma vez que o PROMETHEE II tem como principal característica ranquear as alternativas de maior compromisso com os critérios considerados, evitando que na impossibilidade do emprego da primeira proposta, seja necessário remodelar o problema.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo se designa a apresentar as principais conclusões resultantes do estudo desenvolvido, demonstrando o que se obteve dos objetivos antes propostos e as limitações encontradas na elaboração deste trabalho, assim como propor algumas sugestões para a realização de trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Inicialmente este trabalho tinha como principal identificar os sistemas construtivos com potencial de industrialização, e de fato isso foi alcançado, contudo, ao deparar com as metodologias de análise, foi necessário proceder a exclusão de alguns sistemas, não pela complexidade do método de avaliação, mas pela dificuldade em obter dados palpáveis, que possibilitassem uma análise coerente. Neste sentido a pesquisa restringiu-se somente aos sistemas construtivos já avaliados pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas), uma vez que a plataforma fornece todas as informações técnicas sobre os sistemas construtivos nela contidos, e para estes, se dispor de linhas de financiamento.

Após a identificação dos sistemas construtivos a serem avaliados, definiu-se os critérios de avaliação, partindo-se do princípio que os mesmos deveriam englobar três grandes pontos:

- Custo;
- Resistência e durabilidade;
- Conforto e sustentabilidade;

Com relação aos quesitos custo, resistência, durabilidade e conforto, existe muita informação disponível na literatura. Porém, tratando-se do aspecto ambiental, as pesquisas nem os fabricantes informam o quanto cada sistema gera de resíduo, no máximo fazem uma comparação entre o seu sistema com os sistemas construtivos tradicionais de forma percentual, em diferentes condições de trabalho. No entanto, neste ponto qualquer um dos sistemas construtivos abordados nesta pesquisa são superiormente mais sustentáveis do que os métodos tradicionais de construção.

O próximo passo consistiu na busca pela metodologia de análise multicritério, que possibilita-se a definição da alternativa de maior desempenho. Muitos são os métodos ou modelos de análise multicritério, alguns mais apropriados para situações de escolha específica. Em função da não compensatoriedade dos critérios, por fornecer uma pré-ordem completa e pela facilidade de entendimento do método, o método multicritério escolhido foi o

PROMETHEE II, que não fornece uma solução de menor custo, mas sim uma de melhor compromisso dentre os objetivos considerados na aplicação.

Após definido os critérios de avaliação e o método multicritério a ser utilizado, partiu-se para a definição dos pesos e a aplicação do método. Com a realização da análise de sensibilidade apontou uma alternância do resultado da análise, uma vez que o sistema construtivo “A” (Sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local) tem sua colocação alterada se os pesos dos critérios I e II forem invertidos, dando ao sistema construtivo G (Sistema de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto) a primeira colocação na análise. Outro ponto importante a ser considerado é o fato da análise de sensibilidade proporcionar uma visão mais ampla do cenário de decisão.

De forma geral, a pesquisa atendeu a seu propósito, no fato de revelar o sistema construtivo que proporciona uma construção com o menor custos de construção, maior capacidade de verticalização, inclusive maior que o descrito pela diretriz de avaliação, e resistir a qualquer nível de agressividade ambiental. Contudo em um cenário prático, em que o decisor, deve levar em conta o custo de utilização do sistema, como aquisição de formas, e a quantidade de produtos a serem produzidos. Outros sistemas construtivos podem constituir uma melhor opção.

Como todo modelo de decisão, este possui os seus vícios, seja na própria formulação, ou no processo de obtenção e manipulação dos dados, ou mesmo na desconsideração de critérios importantes, como a preferência do cliente final, que neste caso está diretamente ligada às características dos elementos que compõem o sistema construtivo. Contudo a essência do processo foi compreendido, possibilitando, numa próxima oportunidade, avançar numa análise mais apurada e precisa, e na resolução de problemas de decisão mais complexos.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Atualmente diversos ramos da ciência já utilizam nos seus processos de tomada de decisão metodologias de análise multicritério. E a medida que a pesquisa concentrou-se neste levantamento, várias possibilidades foram fomentadas, principalmente na área de engenharia civil, que é a de atuação do pesquisador. Nesta pesquisa a quantidade de critérios analisados restringiu-se somente a 5, portanto uma das primeiras sugestões para trabalhos futuros seria a incorporação de mais critérios, como expectativa de venda do produto, custo de aquisição de

tecnologia e a quantidade de empreendimentos construídos necessários para viabilizar o emprego da tecnologia.

Outra possibilidade seria a aplicação do modelo para outros tipos de empreendimentos da construção civil, ajustando os fatores e parâmetros para o caso a ser analisado.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA. **Processo de decisão nas organizações**. São Paulo, Atlas, 2009, 231.

ALENCAR, LUCIANA HAZIN; ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA; MOTA, CAROLINE MARIA DE MIRANDA. Sistemática proposta para seleção de fornecedores em gestão de projetos. *Gest. Prod*, São Carlos, 14(3):, 477- 487, Dez/2007.

BERTOLDI, RENATO HERCÍLIO. Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis. Florianópolis, 2007. 144p. (Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina / UFSC)

BASTOS, LILIANE NEVES VIEIRA; ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA DE. Utilização do método PROMETHEE II na análise das propostas de preços em um processo de licitação. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., Curitiba, 2002. ABEPRO. p. 1-8.

CHANG, CHE-WEI; WU, CHENG-RU; LIN, CHIN-TSAI; CHEN, HUANG-CHU. An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, 52:., 296-307, Nov./2006.

CONCRETESHOW 2011. Habitação econômica: Sistemas industrializados à base de cimento para habitação. “Concreto – PVC” A Utilização do Sistema Royal para construção de casas populares. São Paulo, setembro 2011. Disponível em: < <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/63/anexo/royaldobra.pdf>>. Acessado em: 5 de julho de 2016.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção. CADERNO DE CASOS DE INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Fôrmas de alumínio**. Salvador/BA - Agosto 2011. Disponível em: < <http://cbic.org.br/pagina/publicacoes-comat>>. 5 de março de 2017.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção. **Casas olé - fabricação e montagem de habitações, através de painéis pré-moldados de alvenaria com tijolo cerâmico e argamassa vibrada**. Fortaleza/CE, Outubro 2008. Disponível em: < <http://cbic.org.br/pagina/publicacoes-comat>>. 5 de março de 2017.

CASA.COM.BR. **Casa pré-fabricada de madeira: preços e prazos**. Disponível em: < <http://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/casa-pre-fabricada-de-madeira-precos-e-prazos/>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção. **Banco de dados 2014**. Disponível em: < <http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>>. Acessado em: 26 de março de 2017.

CONSTRUÇÃO MERCADO. **Custo de habitação com parede de concreto.** Edição 98 – Setembro 2009. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/98/artigo298835-1.aspx>>. Acessado em: 26 de março de 2017.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção. **Sistema construtivo casa express de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes e lajes.** Banco de dados 2014. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/premioinovacaoesustentabilidade/baixar6.php?file=SISTEMA%20CONSTRUTIVO%20CASA%20EXPRESS%20DE%20PAIN%20C3%89IS%20PREMOLDADOS%20MISTOS%20DE%20CONCRETO%20ARMADO%20E%20BLOCOS%20CER%20MICOS%20PARA%20PAREDES%20E%20LAJES.pdf>>. Acessado em: 05 de março de 2017.

CONSTRUÇÃO MERCADO. **Quanto custa: habitação popular em steel frame.** Edição 103 - Fevereiro/2010. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/artigo299009-1.aspx>>. Acessado em: 26 de março de 2017.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da construção. 2º CADERNO DE CASOS DE INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Concreto PVC.** Salvador/BA - Abril 2014. Disponível em: <<http://cbic.org.br/pagina/publicacoes-comat>>. 5 de março de 2017.

DOAN, N.A.V; SMET, Y. DE. On the Use of Reference Profiles to Compute Alternative PROMETHEE II Rankings: A Preliminary Study. *Department of Computer and Decision Engineering, Université libre de Bruxelles, 978(1):, 326-330, Mar./2016.*

DIFFER Construção PVC Concreto. **Sistema construtivo limpo e rápido PVC concreto.** Julho/2014. Disponível em: <<http://www.differ.com.br/>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

EVANGELISTA, PATRICIA PEREIRA DE ABREU; COSTA, DAYANA BASTOS; ZANTA, VIVIANA MARIA. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. *Ambiente Construído, Porto Alegre 10(3):, 23-40, Set./2010.*

FLORIM, LEILA CHAGAS; QUELHAS, OSVALDO LUIZ GONÇALVES. Contribuição para a construção sustentável: Características de um projeto habitacional eco-eficiente. *ENGEVISTA, 6 (3):, 121-120, Dez/2004.*

HOWES, R. Industrialized housing construction - the uk Experience. **Advances in Building Technology.** ELSEVIER SCIENCE Ltd, 1(1). 383 – 390, 2002.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional. 9.ed.** Porto Alegre: AMGH EDITORA LTDA, 2013, 1005p.

KOEBELA, C. THEODORE; MCCOYB, ANDREW P.; SANDERFORDC, ANDREW R.; FRANCKD, CHRISTOPHER T.; KEEFED, MATTHEW J. Diffusion of green building

technologies in new housing construction. *Energy and Buildings*. ELSEVIER, (97):, 175–185, 2015.

LIMA, JOSÉ DANTAS DE; JUCÁ, JOSÉ FERNANDO THOMÉ; REICHERT, GERALDO ANTÔNIO; FIRMO, ALESSANDRA LEE B. Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, SciELO, 19(1): 33-42, Mar./2014.

LIMA, RENATA ROSA BERNARDES; LIMA, ELIOMAR ARAÚJO DE. A (In) Sustentabilidade das Edificações Verticalizadas: Estudo de caso em Águas Claras. Arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva. In: III ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 3., São Paulo, 2014. *III ENANPARQ*. P. 1-14.

MATOS, ALDO DÓREA. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo, Pini, 2010, 420p.

MACHADO, RICARDO LUIZ. A sistematização de antecipações gerenciais no planejamento da produção de sistemas da construção civil. Florianópolis, 2003. 282p. (Doutorado - Programa de pós-graduação em engenharia de produção “Florianópolis” / UFSC)

MOREIRA, DANIEL AUGUSTO. **Administração da Produção e Operação**. 2.ed. São Paulo, Cengage Learning, 2012, 624p.

MATSUDOME, SHM-ICHIRO. Japanese Prefabricated Timber House Construction. *HAEITATINTL*. Great Bntam, 14(213):, 263-266, 1990.

MVC soluções em plástico. **CasaPrática MVC recebe homologação nacional da Caixa Econômica Federal**. Disponível em: < <http://www.mvcplasticos.com.br/pt/noticias/177/casapratca-mvc-recebe-homologacao-nacional-da-caixa-economica-federal.html>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 001 - Revisão 02**: sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, agosto/2011. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **DATec nº 005-B**: Paredes maciças moldadas no local de concreto leve com polímero e armadura de fibra de vidro protegida com poliéster – HOBRAZIL. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, Junho/2014. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 002 - Revisão 01**: Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-

H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, julho/2012. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **DATEC n° 21** - Sistema construtivo: Casas olé - painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, janeiro/2014. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **DATEC n° 23** - Sistema construtivo: Painéis estruturais pré-moldados Casa Express, mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas – Tipo A. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, setembro/2014. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat n° 003 - Revisão 01**: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”). Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, dezembro/2012. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **DATEC n° 14a** - Sistema construtivo a seco Saint-Gobain - Light Steel Frame. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, julho/2015. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat n° 004**: Sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas). Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, setembro/2010. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat n° 005**: Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, setembro/2011. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **DATEC n° 20** - Sistema construtivo TECVERDE: sistema leve em madeira. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, outubro/

2013. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 010**: Sistemas construtivos formados por painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, fevereiro/2014. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 011**: Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, junho/2014. Disponível em: < [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acessado em: 5 de março de 2017.

MORALES, GILSON; CAMPOS, ALESSANDRO; FAGANELLO, ADRIANA M. PATRIOTA. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS, Londrina, 2011. SEMINA. p. 47-55.

MITIDIARI, MARCELO LUIS; LOSHIMOTO, EDUARDO. **Proposta de Classificação de Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo - Reação ao Fogo. 1998**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

**Manual de Oslo**. Traduzido por Paulo Garchet em 2004. sob a responsabilidade da FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos. Disponível em: < [www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual\\_de\\_oslo.pdf](http://www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual_de_oslo.pdf)> 5 de julho de 2016..

OLIVEIRA, Giovani. **Encontro performance e sustentabilidade na indústria da construção**. Sistema construtivo industrializado alinhado aos critérios da norma de desempenho para empreendimentos habitacionais. Dânica Zipco. Disponível em: <http://www.isolamentonaconstrucao.com/wpcontent/uploads/2015/11/Sistemaconstrutivoindustrializadoalinhadoaoscrit%C3%A9riosdanormadedesempenhoparaempreendimentoshabitacionais.pdf>>. Acessado em: 5 de julho de 2016.

PAMPLONA, BRUNO LIMA; FREITAS, FELIPE FONSECA TAVARES DE. Aplicação do método AHP na escolha do tipo de concreto a ser utilizado na construção civil. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., Bento Gonçalves, 2012. *Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção*. p. 1-15.

PORTALBRASIL. **ÍNDICE GERAL DE PREÇOS DO MERCADO - IGP-M**. Fundação Getúlio Vargas – FGV. Disponível em: < <https://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

PEDROSO, SHARON PASSINI; FRANCO, GUILHERME AUGUSTO; BASSO, GUILHERME LUIZ; BOMBONATO, FABIELE APARECIDA. Steel frame na construção civil. In: ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL., 12. Local, 2014. *ECCI*. p.1-14.

PAC 2. **10º balanço**. junho 2014. Disponível em < <http://www.pac.gov.br/pub/up/pac/10/10PAC2>>. Acesso em 15 abril 2015.

PINTO, EDNA MOURA; JUNIOR, CARLITO CALIL. Resistência mecânica de estruturas de madeira em situação de incêndio: proposta para a inclusão em anexo da NBR 7190. MADEIRA: ARQUITETURA E ENGENHARIA, quadrimestral, maio a agosto, 2004.

RIBEIRO, MARCELLUS SEREJO; MICHALKA JR, Camilo. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no brasil. *VÉRTICES*, 5(3):, 89-107, Dez/2003.

SLACK, NIGEL. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009, 703p.

SMET, Y. DE. About the Computation of Robust PROMETHEE II Rankings: Empirical Evidence. *Department of Computer and Decision Engineering*, Université libre de Bruxelles, 978(1):, 1116-1120, Mar./2016.

SOUZA, ANGELA CRISTINA ALVES GUIMARÃES DE. Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares. Recife, 2009. 158p. (Mestrado em Engenharia Civil - Pró-reitora de ensino, Pesquisa e Extensão “Universidade Católica de Pernambuco” UNICAP)

SANTOS, VIVIANE ALVES PEREIRA DOS ANJOS; LUGO, SINNDY DAYANA RICO; ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA. Decisão multicritério por critério único de síntese: aplicação a uma compra de tecnologia. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Fortaleza, 2015. *ENEGEP*. p.1-24.

SINAP - **sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br/download/asp/download.asp>>. Acesso em 11 abril 2015

SULLIVAN, Esther; WARD, Peter M. Sustainable housing applications and policies for low-income self-build. *Habitat International*, Elsevier, 36:, 312 – 323, 2012.

SCOTT, D.; SRIDURANGKATUM, SANTI. A Comparative Study of Housing Construction Methods. *Building and Environment*. Pergamon Press, 15:, 27 – 31, 1980.

SZAJUBOK, NADIA KELNER; ALENCAR, LUCIANA HAZIN; ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA. Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério. *Produção, SciELO*, 16:, 303-318, Ago./2006.

SILVA, FERNANDA B.; KATO, CAMILA S.; SABBATINI, FERNANDO H.; BARROS, MÉRCIA M. S. B. Sistemas construtivos industrializados para a construção habitacional:

análise do canteiro experimental Heliópolis. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUTIVO, 13., Canela, 2010. ENTAC 2010. 13.

TAM, C.M.; DENG, Z.M.; ZENG, S.X. Evaluation of construction methods and performance for high rise public housing construction in Hong Kong. *Building and Environment*, Elsevier, 37:, 983 – 991, Set./2002.

ZANONI, VANDA ALICE GARCIA; SÁNCHEZ, JOSÉ MANOEL MORALES. Sistemas construtivos inovadores: uma abordagem analítica a partir das diretrizes e dos documentos de avaliação técnica do SINAT. In: XIV ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. p.719-724.

STACZUK, Maria Emilia. Curitiba testa sistema construtivo, inédito no país, para habitações de interesse social. **Usabilidade de casas construídas com painéis de fibra em vidro, resinas epóxicas e poliisocianurato serão avaliadas por empresa que detém a patente da tecnologia.** PINI WEB. Novembro/2014. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/Parana/curitiba-testa-sistema-construtivo-inedito-no-pais-para-habitacoes-de-330231-1.aspx>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

TÉCHNE. **Light wood frame.** Edição 148 - Julho/2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/148/artigo286608-3.aspx>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

TÉCHNE. Casas instantâneas - **Sistemas construtivos rápidos para residências térreas utilizam materiais como concreto celular, madeira, plástico e dry-wall.** Edição 79 - Outubro/2003. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/79/artigo286255-2.aspx>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

TÉCHNE. Sistemas Construtivos. **Wood frame - construções com perfis e chapas de madeira.** Edição 161 - Agosto/2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/161/sistemas-construtivos-286726-1.aspx>>. Acessado em: 5 de março de 2017.

TÉCHNE. Sistemas Construtivos. Fôrmas de alumínio para paredes estruturais de concreto armado moldadas no local. Edição 153 – Dezembro/2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/153/artigo286659-1.aspx>>. Acessado em: 5 de março de 2017.