



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL:**  
**ESTRUTURA E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**FRANCISCO RÉGIS RIBEIRO FÉLIX**

**MODELO DE TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SISTEMA**  
**CONSTRUTIVO PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

**FORTALEZA**

**2017**

FRANCISCO RÉGIS RIBEIRO FÉLIX

MODELO DE TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SISTEMA CONSTRUTIVO  
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Ribeiro Campos.

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F36m Félix, Francisco Régis Ribeiro.  
Modelo de tomada de decisão para seleção de sistema construtivo para habitação de interesse social /  
Francisco Régis Ribeiro Félix. – 2017.  
105 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Profa. Dra. Vanessa Ribeiro Campos.  
Coorientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini .
1. Apoio à decisão multicritério. 2. Seleção de tecnologia. 3. Sistema construtivo. 4. Construção de  
edifícios. 5. PROMETHEE II. I. Título.

CDD 624.1

---

FRANCISCO RÉGIS RIBEIRO FÉLIX

MODELO DE TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SISTEMA  
CONSTRUTIVO PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Aprovada em: 25/08/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Ribeiro Campos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Mahlmann Heineck  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Ao Poder Superior.

Aos meus pais e à minha família.

## AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha gratidão ao Poder Superior, fonte de todo o bem que recebemos e ao Mestre José Gabriel da Costa, pelos brilhantes ensinamentos sobre a ciência universal, uma luz especial que serve de guia no caminho valioso do conhecimento.

Expressar minha gratidão aos meus pais, à minha família e em especial às minhas filhas, que são fonte de inspiração e motivação em minha vida.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de estar em seu seio, mais uma vez e, receber a luz da ciência acadêmica. Ao Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil e aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Vanessa Campos pela compreensão, disponibilidade e por me mostrar a direção a ser seguida, nos momentos necessários.

Ao meu coorientador Prof. Alexandre Bertini pelo apoio, disponibilidade e presteza. Ao Prof. Eduardo Cabral pelas indicações de profissionais que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Eng.º Ivo Almino pela atenção e disponibilidade em auxiliar.

Ao Eng.º André Montenegro, Presidente do SIDUSCON-CE pela amizade, atenção e apoio ao atender às solicitações.

Aos engenheiros Walner Bezerra, Reginaldo Parente, Julien Souto, Carlos Junior, Juan Frías e Valni.

À Gerência de Habitação/Fortaleza da CEF nas pessoas do Eng.º Rodrigo Quental e à Coordenadora Ivy Doiko.

Aos colegas do mestrado pela boa convivência, amizade e aprendizado, durante a jornada que empreendemos juntos.

“O homem querendo, tudo ele pode, basta querer.” (Mestre Gabriel)

## RESUMO

Na Construção Civil durante o planejamento das edificações é necessário decidir qual o tipo de sistema construtivo a ser utilizado na execução da obra, tendo em vista, o desejo de conseguir-se um bom desempenho técnico e econômico no empreendimento. A Construção Civil precisa moderniza-se em seus processos de gestão com o propósito de enfrentar os desafios técnicos e econômicos, que lhes são impostos pelo atual contexto político e econômico do país. Os clientes requerem produtos com qualidade, preços acessíveis e que satisfaçam às suas necessidades. A busca por metodologias mais eficientes para apoiar a tomada de decisão é objeto deste estudo, de modo, que venha suprir a carência de ferramentas e métodos sistematizados que auxiliem no processo de decisão. O objetivo principal deste estudo é propor um modelo de apoio à tomada de decisão para hierarquizar os sistemas construtivos destinados à Habitação de Interesse Social (HIS). O procedimento metodológico utilizado consiste na realização de entrevistas com os envolvidos no processo decisório e do levantamento bibliográfico, por meio de consultas à artigos, periódicos, teses, dissertações e livros. A pesquisa desenvolve-se em três etapas: definição do contexto de decisão, estruturação do modelo multicritério e aplicação do modelo. Utiliza-se no apoio à decisão o método multicritério PROMETHEE II. O resultado da aplicação do modelo depende de forma direta das informações e preferências do decisor. Como conclusão da aplicação do modelo, obteve-se uma hierarquização dos sistemas construtivos considerados, com a seguinte ordenação: paredes de concreto; *steel frame*; alvenaria estrutural e alvenaria tradicional. O modelo contribui para melhoria do processo de decisão.

**Palavras-chave:** Apoio à decisão multicritério. Seleção de tecnologia. Sistema construtivo. Construção de edifícios. PROMETHEE II.



## ABSTRACT

In the Civil Construction during the planning of the buildings it is necessary to decide which type of construction system to be used in the execution of the work, in view of the desire to achieve a good technical and economic performance in the project. Civil Construction needs modernization in its management processes in order to face the technical and economic challenges imposed on them by the current political and economic context of the country. Customers require products that are quality, affordable and meet their needs. The search for more efficient methodologies to support decision making is the object of this study, so that it can overcome the lack of systematized tools and methods that aid in the decision process. The main objective of this study is to propose a support model for the decision-making to hierarchize the construction systems for Social Interest Housing (HIS). The methodological procedure used consists of interviews with those involved in the decision-making process and the bibliographical survey, through consultations with articles, periodicals, theses, dissertations and books. The research is developed in three stages: definition of the decision context, structuring of the multicriteria model and application of the model. The PROMETHEE II multicriteria method is used in decision support. The result of the application of the model depends directly on the information and preferences of the decision maker. As a conclusion of the application of the model, a hierarchy of the constructive systems considered was obtained, with the following ordering: concrete walls; Steel frame; Structural masonry and traditional masonry. The model contributes to improved decision making.

**Keywords:** Support for multicriteria decision. Technology selection. Construction system. Construction of buildings. PROMETHEE II.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Obra em alvenaria simples em Algarve, Portugal .....	33
Figura 2.2 - Sistema construtivo com paredes de concreto .....	36
Figura 2.3 - Instalações embutidas nas paredes de concreto .....	37
Figura 2.4 - Pintura externa em textura na cor clara .....	37
Figura 2.5 - Sistema construtivo <i>wood frame</i> .....	38
Figura 2.6 - Condomínio do MCMV em Curitiba.....	40
Figura 2.7 - Sistema construtivo <i>steel frame</i> para casa popular .....	42
Figura 2.8 - Casa pronta no sistema construtivo <i>steel frame</i> .....	42
Figura 2.9 - Sistema construtivo em painéis de alvenaria e concreto armado.....	44
Figura 4.1 - Etapas da pesquisa .....	71
Figura 4.2 - Tipos de problemática.....	72
Figura 4.3 - Estruturação do modelo .....	74
Figura 4.4 - Aplicação do modelo .....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Metodologia de cálculo do déficit habitacional - Brasil - 2013 .....	25
Quadro 3.1 - Situações básicas de preferência .....	53
Quadro 3.2 - Situações consolidadas de preferências .....	54
Quadro 4.1 - Critérios para seleção de sistema construtivo para HIS .....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1- Composição do déficit habitacional por regiões – Brasil – 2013 .....	26
Gráfico 3.1 - Função de preferência tipo I .....	61
Gráfico 3.2 - Função de preferência tipo II .....	61
Gráfico 3.3 - Função de preferência tipo III.....	62
Gráfico 3.4 - Função de preferência tipo IV.....	62
Gráfico 3.5 - Função de preferência tipo V .....	63
Gráfico 3.6 - Função de preferência tipo VI.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Matriz de decisão.....	50
Tabela 5.1 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério satisfação com fornecedor.....	82
Tabela 5.2 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério resíduos gerados .....	83
Tabela 5.3 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério isolamento térmico .....	83
Tabela 5.4 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério isolamento acústico .....	84
Tabela 5.5 - Legendas de alternativas .....	84
Tabela 5.6 - Legendas dos critérios .....	85
Tabela 5.7 - Matriz de avaliação dos sistemas construtivos para HIS .....	85
Tabela 5.8 - Modelagem de preferência do agente de decisão para o PROMETHEE II .....	86
Tabela 5.9 - Conversão de escala: critério satisfação com fornecedor.....	87
Tabela 5.10 - Conversão de escala: critério resíduos gerados.....	88
Tabela 5.11 - Conversão de escala: critérios isolamento térmico e acústico .....	88
Tabela 5.12 - Matriz de avaliação numérica dos sistemas construtivos para HIS.....	88
Tabela 5.13 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C1 .....	89
Tabela 5.14 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C2 .....	89
Tabela 5.15 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C3 .....	89
Tabela 5.16 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C4.....	90
Tabela 5.17 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C5 .....	90
Tabela 5.18 - Diferença $\delta_{ik}$ da alternativa $x_i$ com a alternativa $x_k$ para o critério C6.....	90
Tabela 5.19 - Função de preferência relativa para cada critério.....	91
Tabela 5.20 - Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos .....	95
Tabela 5.21 - Ordenação das alternativas de acordo com os fluxos netos .....	95
Tabela 5.22 - Função de preferência relativa para cada critério e variação dos pesos.....	96
Tabela 5.23 - Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos .....	97
Tabela 5.24 - Ordenação das alternativas (Pesos 02) .....	97
Tabela 5.25 - Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos .....	97
Tabela 5.26 - Ordenação das alternativas (Pesos 03) .....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Método de Análise Hierárquica
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
BNH	Banco Nacional da Habitação
CCA	Cobre-Cromo-Arsênio
CCB	Cobre-Cromo-Boro
CEF	Caixa Econômica Federal
COHAB	Companhia Habitacional
DATEc	Documento de Avaliação Técnica
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant la Réalité
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FJP	Fundação João Pinheiro
HIS	Habitação de Interesse Social
ITAs	Instituições Técnicas Avaliadoras
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MDO	Mão de Obra
Mpa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
PVC	Policloreto de vinila
RATP	Régie Autonome des Transport Parisiens
SBPE	Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo
SFH	Sistema Financeiro da Habitação
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
TIR	Taxa interna de retorno
VPL	Valor presente líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Conjunto de alternativas
$A_i$	Alternativa $i$
I	Indiferença
P	Preferência estrita
Q	Preferência fraca
R	Incomparabilidade
$g_j$	Critério $j$
$a_{ij}$	Avaliação da alternativa $i$ em relação ao critério $j$
$P.\alpha$	Problemática de referência de seleção
$P.\beta$	Problemática de referência de classificação
$P.\gamma$	Problemática de referência de ordenação
$P.\delta$	Problemática de referência de descrição
H	Relação binária
$\forall$	Qualquer
$\in$	Pertence
$\sim$	Não-preferência
$(>)$	Preferência
J	Presunção de preferência
S	Sobreclassificação
q	Limite de indiferença
p	Limite de preferência
$\delta_{ik}$	Diferença de desempenhos das avaliações de alternativas
$u_j(x_i)$	Avaliação da alternativa $x_i$ para o critério $j$
$P_j(x_i, x_k)$	Função de preferência relativa para o critério $j$
$s_{ik}$	Índice de preferência entre as alternativas $x_i$ e $x_k$
$w_j$	Peso do critério $j$
$\phi_i^+$	Fluxos de superação positivos
$\phi_i^-$	Fluxos de superação negativos
$\phi_i$	Fluxo neto da alternativa $i$
s	Desvio padrão
m	Quantidade de alternativas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>Justificativa da pesquisa</b> .....	17
<b>1.2</b>	<b>Questão de pesquisa</b> .....	19
<b>1.3</b>	<b>Objetivos da pesquisa</b> .....	20
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i> .....	20
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i> .....	20
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	20
<b>2</b>	<b>HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS)</b> .....	22
<b>2.1</b>	<b>Déficit habitacional brasileiro</b> .....	24
<b>2.2</b>	<b>Cenários e questões habitacionais internacionais</b> .....	26
<b>2.3</b>	<b>Sistemas construtivos para HIS</b> .....	29
<b>3</b>	<b>APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO</b> .....	45
<b>3.1</b>	<b>Elementos do apoio multicritério à decisão</b> .....	48
<b>3.2</b>	<b>Modelagem das preferências</b> .....	52
<b>3.3</b>	<b>Métodos multicritérios</b> .....	56
<b>3.4</b>	<b>PROMETHEE II</b> .....	59
<b>3.5</b>	<b>Análise de sensibilidade</b> .....	64
<b>3.6</b>	<b>Aplicação de métodos multicritérios na Construção Civil</b> .....	65
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	69
<b>4.1</b>	<b>Planejamento da pesquisa</b> .....	69
<b>4.2</b>	<b>Etapas da pesquisa</b> .....	70
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	78
<b>5.1</b>	<b>Método de decisão</b> .....	78
<i>5.1.1</i>	<i>Identificação da problemática</i> .....	78
<i>5.1.2</i>	<i>Tipologia da edificação</i> .....	78
<b>5.2</b>	<b>Resultados do modelo</b> .....	79
<i>5.2.1</i>	<i>Identificação dos atores</i> .....	79
<i>5.2.2</i>	<i>Alternativas de decisão</i> .....	80
<i>5.2.3</i>	<i>Definição dos critérios</i> .....	81
<i>5.2.4</i>	<i>Matriz de avaliação</i> .....	84
<i>5.2.5</i>	<i>Modelagem de preferência</i> .....	85
<i>5.2.6</i>	<i>Aplicação do método PROMETHEE II</i> .....	87



<i>5.2.7 Análise de sensibilidade</i> .....	95
<b>6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS</b> .....	99
<b>6.1 Conclusões</b> .....	99
<b>6.2 Sugestões para futuros estudos</b> .....	100
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	101

## 1 INTRODUÇÃO

Os empreendimentos na área de Construção Civil são desenvolvidos por etapas constituídas das seguintes fases: análise de viabilidade do empreendimento; elaboração de projetos e produção do empreendimento.

O desenvolvimento do produto consiste em um processo no qual o produto é idealizado, projetado e colocado no mercado, considerando as etapas de produção e uso. Inicia-se com a visualização da oportunidade de mercado, sendo necessário identificar os requisitos dos clientes e traduzi-los em: especificações de projeto, desenvolvimento de conceitos, no projeto do produto e na sua disponibilidade para o mercado. Requer ainda uma variedade de componentes entre os quais: pessoas, disciplinas e organizações envolvidas (ULRICH; EPPINGER, 2000).

O desenvolvimento de um empreendimento de edificação assemelha-se ao processo de desenvolvimento do produto. É formado pelas atividades necessárias para idealizar e projetar a edificação, planejar a produção e elaborar um modelo real do produto, que será disponibilizado para o mercado consumidor levando em consideração os requisitos dos clientes. Os requisitos dos clientes traduzem-se pelas suas necessidades e expectativas em relação ao produto da Construção Civil e constituem importantes informações para conceber uma edificação alinhada com os reais interesses do cliente.

O projeto do sistema de produção contribui para elevar o desempenho do planejamento e controle da produção e proporcionar a melhoria do sistema produtivo (SLACK *et al.*, 2007). Com isso, será possível fazer a antecipação de decisões em relação ao sistema de produção do empreendimento, com o objetivo de assegurar a sua operacionalização antes de iniciar a execução. Permite ainda, reduzir as incertezas e variabilidade no decorrer da execução.

Em todas as fases a tomada de decisão é uma função de gestão com elevada importância, pois é necessário fazer escolhas para definir o empreendimento, afetando todo o processo. Na Construção Civil durante o planejamento de edificações, ainda nas etapas iniciais de concepção, é necessário decidir qual o tipo de sistema construtivo a ser utilizado na obra, tendo em vista, o desejo de se conseguir um bom desempenho técnico e econômico. Porém, a escolha do sistema construtivo inadequado, poderá ocasionar uma série de limitações em todo o ciclo de vida do projeto.

O cenário brasileiro da Construção Civil de edifícios é caracterizado pela falta ou postergação de decisão, com destaque nas fases iniciais de elaboração do projeto, em relação

aos aspectos referentes às características do produto e às decisões sobre as tecnologias construtivas a serem utilizadas. Como consequência, temos um elevado nível de desperdícios, com erros e retrabalhos para toda a equipe de projeto, sendo um dos principais gargalos que ocasionam reflexos negativos na qualidade do produto a ser entregue, segundo Fontenelle e Melhado (2000).

Em face da complexidade da habitação de baixa renda, as agências de habitação pública são ineficazes e precisam tirar lições do desenvolvimento informal de habitação e fornecer habitação acessível e com várias formas de posse, modelos e métodos construtivos, que sejam flexíveis e adaptáveis e busque atender às necessidades e recursos dos usuários finais (YAP, 2015).

A tomada de decisão embasada por métodos racionais é uma forma de melhoria na organização administrativa dos empreendimentos de construção, pois vários setores industriais passaram por significativas modificações na organização de suas atividades produtivas, o que ocasionou um novo paradigma de gestão da produção (FORMOSO, 2003).

Esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um modelo de apoio à tomada de decisão para a seleção de sistema construtivo para Habitação de Interesse Social (HIS), de modo que venha a suprir a carência de ferramentas e métodos sistematizados, que auxiliem no processo de decisão neste segmento da Construção Civil. A busca por metodologias mais eficientes para apoiar a tomada de decisão é objeto deste estudo.

Realizou-se uma aplicação numérica do modelo desenvolvido para seleção de sistemas construtivos para edificações verticais destinadas à HIS, na cidade de Fortaleza. Com os resultados do estudo, objetiva-se que o modelo seja usado para apoiar a tomada de decisões em cenários que envolvam a escolha de sistemas construtivos.

A Construção Civil precisa modernizar-se em seus processos de gestão com o propósito de enfrentar os desafios técnicos e econômicos, que lhe são impostos pelo atual contexto político e econômico do país. Os clientes requerem de forma mais consciente produtos com qualidade, preços mais acessíveis e que satisfaçam às suas necessidades. A melhoria do processo de tomada de decisão é fundamental para o desenvolvimento de um empreendimento e contribui para o seu sucesso de forma significativa.

## **1.1 Justificativa da pesquisa**

A urbanização e a globalização ocasionaram um rápido desenvolvimento na indústria da construção. Muitas estratégias têm sido propostas para melhorar a relação custo-

eficácia neste setor. Durante a última década, as preocupações de custos foram amenizadas com um crescente debate sobre a necessidade de práticas de construção sustentável (GOVINDAN; SHANKAR; KANNAN, 2016).

Segundo Lengen (2003) o homem não pode fugir de sua responsabilidade mesmo procurando o progresso acelerado, pois as consequências são severas para o meio ambiente natural. Essas intervenções devem buscar o menor impacto possível, visando a adoção equilibrada de novas possibilidades de uso de materiais de baixo impacto. Conforme Ferreira (2009): “é necessário intensa busca para aquisição de tecnologias que venham solucionar os diversos problemas ocasionados pelo aumento na produção de resíduos [...]”, essas ações podem ser exploradas em nossa própria produção tradicional.

Os resíduos gerados em uma obra durante a construção, também devem ser considerados, pois estes valores atingem uma parte significativa do valor total do empreendimento (FORMOSO; FRANCHI; SOIBELMAN, 1993).

A produção consiste no fluxo de atividades que se inicia com a matéria prima, que sofre transformações e processamentos até chegar ao produto final, passando por etapas de movimento, espera e inspeção. Todas essas atividades geram custos e consomem tempo, mas somente as que agregam valor ao produto devem permanecer no processo, as que não agregam valor são chamadas de desperdícios e devem ser evitadas (KOSKELA, 1992).

O plano para elevar o investimento e a construção de habitação pública, pode proporcionar um aumento da oferta de habitação a preços acessíveis para famílias de baixa renda, mas a disponibilização de um sistema de financiamento para habitação com preços acessíveis é fundamental. Contribui para a expansão da casa própria, desenvolvimento dos mercados de habitação e emprego, crescimento econômico, produção de riquezas, estabilidade social e política (SHI; CHEN; WANG, 2015).

A Indústria da Construção Civil mantém uma relação direta com o cenário político-econômico do país, ou seja, sofre diretamente os impactos conjunturais da política econômica implementada e possui uma considerável sensibilidade ao humor do mercado. Esse cenário normalmente representa um ambiente de incertezas e variabilidades, porém o grande diferencial está associado à sua capacidade produtiva.

A Indústria da Construção Civil, subsetor edificações, enfrenta vários tipos de problemas dentre os quais, nós podemos destacar a falta de sistematização nos processos de decisão com a inexistência de metodologias estruturadas e baseadas em técnicas de decisão, que possam apoiar o processo de tomada de decisão no setor. Nesse contexto, muitas decisões são tomadas, respaldadas apenas pela intuição e experiências, sem o apoio de critérios e

procedimentos técnico e científicos. Gera-se com isso, um cenário de incertezas e consideráveis riscos aos investimentos.

A escolha do sistema construtivo para construção de HIS é uma decisão importante a ser tomada para permitir a obtenção de resultados que melhorem o desempenho da edificação em todo o seu ciclo de vida. A seleção adequada de um sistema construtivo que possibilite uma maior produtividade e a redução do desperdício, contribui para a sustentabilidade dentro do setor da Construção Civil. Portanto, a utilização de métodos racionais baseados em técnicas de tomada de decisão, constitui em uma importante medida para melhoria dos processos na Construção Civil.

O desenvolvimento de um modelo de decisão multicritério para apoiar a seleção de sistemas construtivos para HIS vem suprir a necessidade de melhorias dos processos decisórios na Construção Civil. O volume de informações e de critérios conflitantes de natureza quantitativa e qualitativa, que fazem parte do cenário decisório desse setor produtivo, favorece a utilização de metodologia multicritério.

A Construção Civil constitui um importante e estratégico setor produtivo para o desenvolvimento de uma nação, pois agrega importantes valores para a economia com os seus empreendimentos. Gera uma grande quantidade de empregos, considerável movimentação financeira em toda a sua cadeia produtiva e, melhorias na infraestrutura do país com a construção de estradas, portos, saneamento, bem como, melhorias sociais com a construção de casas, escolas e hospitais.

## **1.2 Questão de pesquisa**

Na Construção Civil durante o planejamento de um empreendimento de edificações, ainda nas etapas iniciais de concepção, é necessário decidir qual o tipo de sistema construtivo a ser utilizado na fase de execução da obra, tendo em vista, o desejo de se conseguir um bom desempenho técnico e econômico dos empreendimentos. Porém, a escolha do sistema construtivo inadequado, poderá ocasionar uma série de limitações em todo o ciclo de vida do projeto, gerando insatisfação dos clientes no desenvolvimento de todo o processo.

A questão principal desta pesquisa consiste em: Como escolher qual o sistema construtivo com o melhor desempenho para a construção de edificações destinadas para Habitação de Interesse Social (HIS)?

## **1.3 Objetivos da pesquisa**

### ***1.3.1 Objetivo Geral***

A presente pesquisa tem como objetivo geral, propor um modelo de apoio à tomada de decisão para hierarquizar os sistemas construtivos destinados à construção de Habitações de Interesse Social (HIS).

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Este estudo apresenta os seguintes objetivos específicos, apresentados a seguir:

- a) Definir a tipologia de edificação a ser empreendida;
- b) Conhecer os sistemas construtivos e suas características para produção de HIS;
- c) Definir os critérios a serem utilizados na proposição do modelo de apoio à tomada de decisão, na seleção do sistema construtivo para construção de HIS;
- d) Escolher o método de decisão que será empregado no apoio à tomada de decisão para solucionar o problema proposto;
- e) Realizar a análise de sensibilidade para o resultado encontrado com a aplicação do modelo de apoio à tomada de decisão.

## **1.4 Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em seis capítulos: 1 Introdução; 2 Habitação de Interesse Social (HIS); 3 Apoio Multicritério à Decisão; 4 Metodologia da pesquisa; 5 Resultados e discussões; 6 Conclusões e sugestões para futuros estudos.

O primeiro capítulo apresenta o cenário da Construção Civil, em relação ao processo de tomada de decisão, com a justificativa da necessidade da pesquisa, questão e objetivos do estudo realizado. O capítulo dois da dissertação apresenta o referencial teórico da pesquisa relativo à Habitação de Interesse Social com dados sobre o déficit habitacional brasileiro e os sistemas construtivos destinados à HIS. O capítulo três desenvolve a base conceitual sobre a metodologia de apoio multicritério à decisão, define seus elementos, classifica os métodos e apresenta aplicações dos métodos multicritérios na resolução de problemas no setor de Construção Civil.

O quarto capítulo descreve o planejamento da pesquisa e suas três etapas, detalhando a segunda e a terceira, que consistem na estruturação do modelo e na sua aplicação, respectivamente. Define e justifica a escolha do método multicritério PROMETHEE II para ser utilizado no apoio à decisão. O capítulo cinco faz a descrição do modelo multicritério proposto neste estudo e apresenta uma aplicação na hierarquização de sistemas construtivos para HIS. Realiza-se neste capítulo, a discussão dos resultados encontrados com a aplicação do modelo.

No capítulo seis, apresenta-se as principais conclusões desta dissertação e as recomendações para futuros estudos.

## 2 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS)

A função principal da habitação é servir de abrigo ao ser humano, e necessita ser durável para atender ao seu objetivo. Mesmo com o desenvolvimento tecnológico a função da habitação permanece a mesma, que é proporcionar proteção ao ser humano em relação às intempéries e aos intrusos (ABIKO, 1995).

A habitação desenvolve três funções distintas: social, ambiental e econômica. A função social, consiste em servir de abrigo para a família e constitui um dos fatores do seu desenvolvimento. A função ambiental pode ser traduzida pela inserção no ambiente urbano, que é fundamental para assegurar os serviços básicos de infraestrutura, saúde, educação, transportes lazer, dentre outros, e determinar o impacto sobre os recursos naturais. A função econômica da habitação está associada a sua produção, com a geração de emprego e renda, mobilização da cadeia produtiva do setor de Construção Civil, incremento do mercado imobiliário e de serviços.

Abiko (1995), afirma que a habitação é o espaço ocupado após as jornadas de trabalho, onde se desenvolvem as necessidades primárias de alimentação, repouso, convívio social e fisiológicas. Portanto, a habitação deve atender as condições básicas de habitabilidade, salubridade e segurança. Em determinadas situações, na habitação se desenvolvem atividades de trabalho em forma de pequenos negócios.

Segundo Freitas (2001) HIS consiste em uma intervenção com finalidade habitacional direcionada à população de baixa renda com condições de habitabilidade precária, podendo ser planejada para o parcelamento do solo ou a construção de edificações.

Os empreendimentos habitacionais de interesse social, em geral, são de iniciativa pública e visam a redução do déficit de oferta de habitação residencial de baixo custo, providas de acessibilidade e infraestrutura, como energia elétrica, rede de água e de esgoto. Conforme Abiko (1995), a expressão Habitação de Interesse Social (HIS) é utilizada para definir várias opções de moradia para população de baixa renda e destaca-se nos estudos sobre gestão habitacional junto com outros termos:

- habitação de baixo custo - utilizado para habitação com preço acessível sem que seja estritamente para população de baixa renda;
- habitação para população de baixa renda - significa o mesmo que habitação de interesse social, fazendo-se necessário definir a renda máxima da família a ser atendida;



- habitação popular - termo geral para todas as soluções que atendam às necessidades habitacionais.

Abiko (1995) diz que na abordagem de gestão habitacional, a habitação popular deve ser compreendida como um processo de produção que tem a sua dimensão física, com fatores políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos, tecnológicos e não somente, como um produto. O conceito do autor define que habitação não se limita somente à unidade habitacional, de modo, que cumpra as suas funções, pois além de apresentar um espaço confortável, salubre e seguro, deve ser mais abrangente em:

- serviços urbanos - no âmbito urbano as atividades atendam às necessidades de abastecimento de água, coleta de esgotos, de energia elétrica e transporte;
- infraestrutura urbana - incluindo as redes de distribuição de água e coleta de esgotos, redes de drenagem, redes de distribuição de energia elétrica, comunicações, sistema viário;
- equipamentos sociais - as edificações e instalações destinadas às atividades de educação, saúde, lazer.

Segundo Abiko (1995) o termo interesse social utilizado para habitação no Brasil foi usado nos programas habitacionais voltados para população de menor renda no extinto Banco Nacional da Habitação (BNH). A Constituição Federal de 1988 estabelece o princípio da função social no uso do solo urbano como diretriz de políticas públicas. Logo, o termo interesse social foi inserido às políticas habitacionais para população de baixa renda.

A criação do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1964, foi de grande relevância para a política habitacional brasileira, com um considerável montante de recursos para a habitação. O BNH tinha como função gerir as operações de crédito para financiamento por meio dos recursos vindos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), e das cadernetas de poupança, formando o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE), dentro do Sistema Financeiro da Habitação (SFH). O mercado foi classificado de acordo com os níveis de renda dos clientes em: popular, econômico e médio, onde seria criada as Companhias Habitacionais (COHAB) nos estados e município, para gestão das habitações destinadas às faixas populares.

O Governo Federal lançou o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) no ano de 2007, em sua primeira fase, que teve como objetivo a implementação de planos e ações para incrementar o desenvolvimento econômico, através de investimentos em grandes obras de

infraestrutura, nas áreas de saneamento básico, habitação, transporte, energia e outros. A segunda fase foi lançada em 2010 (PAC 2) (BRASIL, 2012).

O programa habitacional Minha Casa Minha Vida (MCMV) instituído pelo Governo Federal no ano de 2009, sob a gestão do Ministério das Cidades e tendo como operadora financeira a Caixa Econômica Federal (CEF). É um dos principais programas habitacionais já lançados no país. O programa MCMV tem como objetivo a produção e aquisição de novas unidades de habitação ou a requalificação de imóveis urbanos, e a construção das unidades habitacionais, do tipo casas ou apartamentos, acontece por meio de empreendimentos em forma de condomínios ou loteamentos.

Na primeira fase (MCMV 1) do programa entre os anos de 2009 e 2010, foram contratadas mais de 1 milhão de unidades habitacionais superando a meta inicial e, na segunda fase (MCMV 2) entre 2011 e 2014 foi estabelecida uma meta de 2,75 milhões de habitações, figura 2.6. O programa já beneficiou mais de 10 milhões de pessoas com o acesso a casa própria, e até abril de 2016 já foram contratadas mais de 4 milhões de unidades, entregues mais de 2,5 milhões de habitações, e falta ainda entregar 1,6 milhões de unidades da segunda fase (MCMV 2), com um investimento total que ultrapassa R\$ 294 bilhões de reais. A terceira fase do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV 3), foi lançada em março de 2016 com uma meta de 2 milhões de unidades habitacionais até 2018, o que totalizará 6 milhões de unidades nas três fases do programa (PORTAL BRASIL, 2016).

## **2.1 Déficit habitacional brasileiro**

A Fundação João Pinheiro (FJP) criou em 1995 a série de estudos conhecida como Déficit Habitacional no Brasil, tendo como objetivo a elaboração de uma metodologia que represente a realidade habitacional no país (FJP, 2015). É adotada pelo Governo Federal e reconhecida como referência pelos que estudam a questão habitacional e vem sendo utilizada por várias esferas de governos, pesquisadores e sociedade civil, como instrumento de análise e elaboração de políticas públicas ligadas à habitação.

O déficit habitacional é calculado considerando a soma de quatro componentes: (a) domicílios precários; (b) coabitação familiar; (c) ônus excessivo com aluguel urbano e (d) adensamento excessivo de domicílios alugados. A seguir, apresenta-se um resumo da metodologia no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Metodologia de cálculo do déficit habitacional – Brasil – 2013.

ESPECIFICAÇÃO	COMPONENTES
<b>Déficit habitacional</b>	<p><b>(1) Habitações precárias:</b></p> <p>(1.1) Domicílios rústicos;</p> <p>(1.2) Domicílios improvisados;</p> <p><b>(2) Coabitação familiar:</b></p> <p>(2.1) Cômodos alugados, cedidos e próprios;</p> <p>(2.2) Famílias conviventes secundárias com intenção de constituir domicílio exclusivo;</p> <p><b>(3) Ônus excessivo com aluguel urbano;</b></p> <p><b>(4) Adensamento excessivo de moradores em domicílios alugados.</b></p>

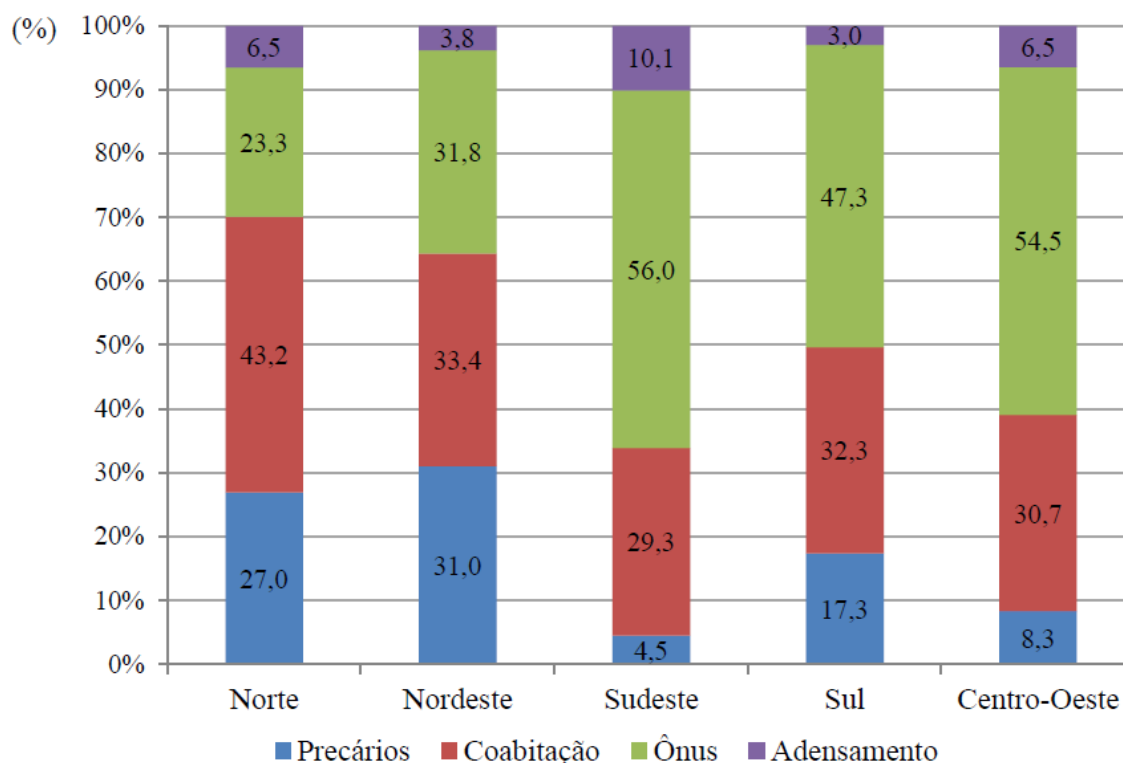
Fonte: Fundação João Pinheiro (FJP), Centro de Estatística e Informações (CEI).

O déficit habitacional no Brasil em 2013, corresponde a 5,846 milhões de domicílios, o que representa 9,0% dos domicílios particulares permanentes e improvisados. Analisando os resultados, temos que as regiões com maior déficit habitacional absoluto é a Sudeste e Nordeste, respectivamente com 2,246 e 1,844 milhão de moradias em 2013. Depois, as regiões Norte com 653 mil, a Sul com 628 mil e a Centro-Oeste com 474 mil domicílios (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2015).

O déficit habitacional brasileiro em 2013 apresentou o ônus excessivo com aluguel, como o item de maior valor com 2,553 milhões de unidades (43,7% do déficit), seguido pela coabitação com 1,905 milhão de domicílios (32,6%), habitação precária com 997 mil unidades (17,1%) e adensamento excessivo em domicílios alugados com 390 mil domicílios (6,7% do total do déficit).

Nas regiões o ônus excessivo com aluguel perfaz 56% do déficit no Sudeste, 54,5% no Centro-Oeste e 47,3% na região Sul. A coabitação apresenta a maior participação nas regiões Norte (43,2%) e Nordeste (33,4%). No Nordeste o déficit se distribui de forma equivalente entre ônus com aluguel (31,8%), coabitação (33,4%) e habitação precária (31%). No Sul o adensamento é o menor componente (3,0%), assim como nas regiões Norte e Centro-Oeste, ambas com 6,5%. A maior parcela do adensamento é no Sudeste com 10,1%. No Sudeste o item de menor peso na composição do déficit (4,5%) é a habitação precária, conforme valores apresentados no gráfico 2.1.

Gráfico 2.1- Composição do déficit habitacional por regiões – Brasil – 2013.



Fonte: Dados básicos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2013. Elaboração: Fundação João Pinheiro (FJP), Centro de Estatística e Informações (CEI)

Segundo a FJP (2015) o resultado do déficit habitacional brasileiro é fundamental para a tomada de decisão e desenvolvimento das políticas públicas habitacionais. A análise das estimativas do déficit habitacional no Brasil de 2013 mostra um pequeno crescimento no déficit habitacional total e relativo, em comparação aos anos anteriores 2011 e 2012.

## 2.2 Cenários e questões habitacionais internacionais

Aborda-se a importância da habitação e sua interface com diversos aspectos, como econômico, social, político e urbano, estabelecendo relações de interdependência que requerem soluções criativas e que possam responder às crescentes demandas por moradias, sem ocasionar danos a outros setores. A seleção de tecnologias para habitações que atenda aos desafios em cenários muitas vezes críticos, é de grande relevância para o sucesso dos programas habitacionais.

Reed e Ume (2015) ao analisarem a crise financeira que aconteceu nos Estados Unidos em 2008, causada pela crise imobiliária e que gerou uma crise financeira global, identificaram a existência de consideráveis conexões entre o mercado imobiliário e o

desempenho do mercado de trabalho, passando a examinar como o mercado de trabalho influencia as atividades do mercado imobiliário, e como o mercado de habitação afeta o resultado do mercado de trabalho.

Os mercados imobiliários podem causar efeitos significativos a diversos setores da economia. Portanto, a elaboração de políticas voltadas para habitação, devem ser realizadas com o máximo de cuidado, pois influenciam a economia em sua totalidade, principalmente o mercado de trabalho (REED; UME, 2015).

A experiência francesa, de acordo com Wong e Goldblum (2016), com habitação social abrange muitos beneficiários e sofre influência do poder eleitoral e das ideias sociais. Com o aumento nos preços dos terrenos, foi gerada uma distribuição desigual de habitação social em toda a França, com proliferação nas periferias urbanas e subúrbios, onde os terrenos tem preços mais acessíveis. A crise suburbana com imigrantes e etnias, com motins e agitação social, mostrou que os problemas sociais e econômicos decorrentes de altas taxas de desemprego, trabalhos desqualificados e a questão habitacional, em face de reduzidos rendimentos, foram subestimados.

A globalização ocasiona recessões econômicas que reduzem os recursos públicos e aumenta o desemprego. O governo francês tem realizado ações de combate aos problemas sociais, através de renovação urbana, redução da exclusão e formação profissional, mas com o risco da migração internacional, a situação está mais crítica, principalmente em relação às taxas de desemprego e a falta de moradia (WONG; GOLDBLUM, 2016).

Na Espanha o distrito de inovação de Barcelona, cujo conceito envolve a atração de pessoas com talentos, empresários, que queiram viver e trabalhar no distrito, é modelo para outras cidades. A oferta de habitações que atendam às necessidades de vários grupos de pessoas, inclusive para moradores de baixa renda que vivem na área a ser revitalizada, evitando a segregação social. As novas construções são oportunidades de se utilizar materiais eficientes em termos energéticos, e com tecnologia que não estava disponível na era industrial, de modo sustentável. No planejamento do distrito de inovação os princípios do novo urbanismo são considerados, sendo compactos, voltados ao pedestre e de uso misto, residencial e comercial (GRIFFITH, 2015).

Segundo Griffith (2015), as casas passivas tem inovação e tecnologia, ao utilizarem 70 a 90% menos energia para aquecimento e arrefecimento. Foram construídas na Europa mais de 6.000 casas passivas, porém nos Estados Unidos ainda está iniciando o uso deste conhecimento. A cidade de Frankfurt na Alemanha requer esta tecnologia em todos os seus edifícios.

Casas passivas são edificações com altos níveis de isolamento e selagem térmica, projetados para reduzir as perdas ou os ganhos de calor para níveis reduzidos. Este conceito foi projetado por dois arquitetos europeus, um alemão (Wolfgang Feist) e outro sueco (Bo Adamson), nos fins dos anos oitenta do século passado.

Conforme Yap (2015) a urbanização na Ásia foi alavancada pelo crescimento econômico, surgindo uma crescente classe média. A política econômica de livre mercado ocasionou um crescimento de renda e desigualdades, mas não reduziu a demanda por habitação, e a globalização aumentou a pressão sobre os terrenos urbanos.

Os programas de habitação para baixa renda na Coreia do Sul, são formados por programas do lado da oferta e programas do lado da procura, mas o principal tipo de programa do lado da oferta é o arrendamento público, sendo permanente desde 1989. Em 2004 a habitação pública tinha 1.150.054 unidades, o que corresponde a 8,9% do parque habitacional do país com 12.989.000 de unidades. O censo de 2000 mostra que 23,4% das famílias, viviam em habitações que não atendiam às normas de espaço e instalações básicas, e o governo fez um plano de oferta de habitação pública para construir 1 milhão de moradias para baixa renda, entre 2003 e 2012 (HA, 2008).

Ha (2008) considera que as autoridades de habitação devem observar as necessidades das famílias em relação à manutenção, participação popular no planejamento das habitações e na elaboração de programas de habitação pública.

Shi, Chen, e Wang (2015) dizem que o programa de habitação pública da China, tem como objetivo estimular a demanda doméstica e reduzir a variação do mercado imobiliário, consistindo em uma extensão da política econômica. O governo chinês retomou os investimentos em habitação social, com um programa de 36 milhões de unidades para o período entre 2011 e 2015. Vários objetivos políticos são realizados através da política de habitação, mas a garantia de acesso à habitação é a prioridade, sendo o programa habitacional público programado para contribuir com o crescimento econômico estável, geração de emprego e estabilidade social e política, diante da escassez de habitação de baixo custo, elevada inflação e crescente desigualdade.

De acordo com o Bureau Nacional de Estatísticas da China, a população do país em 2016 é de 1.375.137.837 habitantes, com uma taxa de crescimento de 0,53%.

Na América Latina, o Chile desenvolveu uma política habitacional modelo, iniciada com o neoliberalismo, que defendia a minoração da intervenção do estado. Consistia em financiamento para habitação, subsidiado pelo governo, com a execução feita por empresas

privadas (RUBIN, 2013). Foram construídas em torno de 1,9 milhões de unidades entre os anos 1980 e 2000, com pleno sucesso, que conseguiu reduzir o déficit habitacional.

De acordo com Rubin (2013), ao permitir que as empresas privadas pudessem decidir onde e como construir as habitações de interesse social, teve como consequência o desenvolvimento de espaços urbanos de baixa qualidade, pois as empresas priorizavam as margens de lucro.

Percebe-se que não se pode tratar o tema habitação de forma isolada, pois suas interligações com as questões econômica, social, política e principalmente com o mercado de trabalho, podem definir o êxito de um programa habitacional. Os programas de habitação são estratégicos para o desenvolvimento econômico, movimentando vários setores produtivos, gerando emprego e renda. A tomada de decisão no setor habitacional deve ser bem fundamentada, desde a definição de sua inserção urbana até a escolha do sistema construtivo a ser utilizado e a questão ambiental precisa ser considerada nas definições dos programas, bem como a participação dos futuros usuários.

### **2.3 Sistemas construtivos para HIS**

Sistema construtivo é um conjunto de elementos e intervenientes que se relacionam na produção e se integram para construir uma edificação. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define sistema construtivo como um conjunto de elementos e instalações devidamente integrados, que deve satisfazer o programa de necessidades estabelecido e atender as exigências do usuário ao longo da vida útil prevista para a edificação. Um subsistema é considerado uma parte da edificação, que pode assegurar a definição de uma função técnica. Como exemplos de subsistemas podemos citar: estrutura, alvenaria, coberta, instalações, outros.

A racionalização é passível de ser utilizada para todo método, processo ou sistema construtivo, porém terá que se estabelecer na fase de projeto a padronização de componentes, materiais e simplificar as operações, o que elevará a produtividade com possível redução de custos. Apresenta-se os conceitos básicos de alguns termos técnicos da área de Construção Civil com o objetivo de melhor definir e esclarecer os seus significados. Então temos de acordo com o que define Sabbatini (1989):

- técnica construtiva - É definida como um conjunto de atividades usadas por um profissional de ofício na produção de uma parte da construção;
- método construtivo - Consiste em um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e organizadas, utilizado na construção de parte de uma edificação;

- processo construtivo - Constitui-se em um conjunto de métodos construtivos organizados e bem definidos, empregados na construção da estrutura e das vedações da edificação (verticais e horizontais);
- sistema construtivo - Define-se como um processo construtivo com altos níveis de industrialização e organização, formado com um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e integrados pelo processo;
- industrialização da construção - É um processo de evolução que visa aumentar a produtividade e melhorar o desempenho da atividade construtiva, por meio da organização e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle;
- racionalização construtiva - Constitui-se em um processo formado pelo conjunto de ações, com o intuito de otimizar o uso dos recursos (tecnológico, energético, organizacional, temporal, financeiro, materiais, humanos) disponíveis na construção;
- tecnologia construtiva - Consiste em um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e práticos, pertencentes a uma forma de construir uma edificação e utilizados na criação, produção e difusão dessa forma de construir;
- inovação tecnológica na construção - Diz-se que um produto, método, processo ou sistema construtivo lançado no mercado, é uma inovação se apresentar uma nova ideia e significar em melhoria na tecnologia existente quanto ao desempenho, qualidade ou custo do edifício, ou de sua parte.

A implementação do programa habitacional brasileiro destinado à população de baixa renda, Minha Casa Minha Vida - MCMV, com metas construtivas de grande escala, motivou o desenvolvimento de sistemas construtivos inovadores, que possibilitam uma maior produtividade.

O Ministério das Cidades com o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat / PBQP-H, por meio do programa Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), avalia novos produtos a serem usados nos processos construtivos, que devem atender aos requisitos e critérios técnicos mínimos, estimulando a inovação tecnológica, de modo a dispor de mais alternativas técnicas para produção habitacional. O SINAT avalia novos produtos para construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas que possam ser aplicadas ao produto, definindo procedimento para assegurar os aspectos relevantes ao comportamento em uso, de um produto de construção (PBQP-H, 2016).



A análise do produto é feita por Instituições Técnicas Avaliadoras (ITAs), que são credenciadas para realizar a avaliação técnica, auditoria de qualidade e os ensaios de desempenho. Os requisitos exigidos pela norma de desempenho para edificações habitacionais, a NBR 15.575-2013, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são verificados quanto ao desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade, segurança ao uso e operação, desempenho térmico, acústico e luminoso. Com a provação do produto a ITA elabora o Documento de Avaliação Técnica (DATEc), que garante ao construtor e aos consumidores uma segurança. A Caixa Econômica Federal (CEF) para financiar construção com novas tecnologias exige que a mesma seja avaliada e apresente o DATEc.

Apresentamos a seguir um levantamento dos principais DATEc emitidos pelo SINAT e ITAs com sistemas construtivos utilizados para HIS:

- DATEc nº 008-A - Painéis JETCASA pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes;
- DATEc nº 009-B - Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes - CASA EXPRESS;
- DATEc nº 014-A - Sistema Construtivo a seco SAINT-GOBAIN - Light Steel Frame;
- DATEc nº 021A - Sistema Construtivo Casas Olé - Painéis Pré-moldados em Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Concreto Armado;
- DATEc nº 026 - Paredes estruturais Tecnometta de concreto leve armado moldadas no local;
- DATEc nº 028 - Painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado para paredes da PREMIERE.

Muitos sistemas construtivos estão sendo utilizados na construção de Habitação de Interesse Social no Brasil. Aborda-se os seguintes sistemas construtivos: Sistema em alvenaria tradicional; sistema em alvenaria estrutural; sistema com paredes de concreto; sistema *wood frame*; sistema *steel frame* e sistema com painéis de alvenaria e concreto armado.

### **Sistema construtivo em alvenaria tradicional**

A definição de sistema construtivo convencional, conforme Sabbatini (1989) está fundamentada na produção artesanal das edificações com a utilização de intensiva mão de obra, reduzida mecanização e um alto grau de desperdício.

Segundo Gouveia, Lourenço e Vasconcelos (2007) a edificação em alvenaria deve assegurar requisitos de comportamento mecânico adequado quando submetidas às ações, bem como garantir as condições de habitabilidade em relação às exigências térmicas e acústicas (figura 2.1).

A construção em alvenaria se constitui em uma tradicional técnica construtiva utilizada desde a antiguidade, mas vem obtendo significativos desenvolvimentos em seus materiais e componentes. Nas habitações de interesse social o sistema construtivo mais utilizado é o de alvenaria convencional, sendo constituída por tijolos cerâmicos ou blocos de concreto rejuntados com argamassa, possuindo propriedades mecânicas capazes de formar elementos estruturais, conforme Nascimento (2004).

No sistema construtivo convencional são utilizadas estruturas de concreto armado para estruturação e sustentação das edificações verticalizadas, empregando elementos estruturais como fundações, pilares, vigas e lajes. Os serviços executados na fase estrutural da edificação, requerem uma variedade de materiais e uma grande quantidade de operários, pois em geral muitos dos serviços são elaborados no próprio canteiro de obra e necessitam de espaço para armazenagem, e para a organização dos postos de trabalho como carpintaria, preparação de concreto e ferragens. Em virtude de uma maior quantidade de serviços necessários neste tipo de sistema construtivo, temos um custo elevado em materiais, equipamento e mão de obra, bem como uma maior quantidade de tempo é necessário o que aumenta os prazos executivos como um todo, elevando os custos fixos do empreendimento.

Na região nordeste do Brasil é bastante empregada em face do seu reduzido custo, quando comparada com outros sistemas construtivos, e também pela tradição cultural e fácil acesso a essa tecnologia construtiva. A principal função da alvenaria é a definição dos ambientes como paredes divisórias e de vedação.

A história mostra uma evolução na utilização de paredes em alvenarias. Atualmente existem motivações de natureza econômica para o desenvolvimento de uma tecnologia mais racional e baseada na simplicidade construtiva, justificando-se a atenção da comunidade técnica e científica (GOUVEIA; LOURENÇO; VACONCELOS, 2007).

Figura 2.1 - Obra em alvenaria simples em Algarve, Portugal.



Fonte: Gouveia, Lourenço e Vasconcelos (2007).

### **Sistema construtivo em alvenaria estrutural**

A definição de sistema construtivo em alvenaria estrutural consiste em um sistema onde se utilizam as paredes da construção para receber as cargas, em substituição a estrutura de sustentação formada por pilares e vigas empregados nos sistemas de concreto armado, aço e madeira (ROMAN; ARAÚJO; MUTI, 1999).

A alvenaria estrutural utiliza as paredes da edificação como elementos de vedação e como elementos estruturais para resistir aos carregamentos verticais, às cargas laterais resultantes da ação do vento e da imprecisão do prumo.

Uma das características importantes na construção com o sistema de alvenaria estrutural, considerando a produção, é a redução do número de etapas executivas, que pode ocasionar uma redução nos custos da obra em virtude da simplificação das atividades nas fases de estrutura e alvenaria de vedação. Na alvenaria estrutural a atividade de elevação das alvenarias, constitui as duas atividades de estrutura e de vedação que são utilizadas no sistema de construção com estrutura de concreto armado ou de estruturas em aço.

Os processos construtivos usados na alvenaria estrutural favorecem a racionalização da obra, sendo a coordenação modular uma forma de melhorar os processos de projeto. A modulação utiliza um reticulado modulado de referência e constitui a base do sistema de medidas utilizados nos empreendimentos em alvenaria estrutural, de modo que a malha modular de projeto se baseia nas medidas dos componentes da alvenaria. Portanto, a alvenaria

estrutural oferece uma facilidade para que se utilize a coordenação modular nos planos horizontais e verticais, durante a fase de projeto e posteriormente na fase executiva da obra.

A alvenaria estrutural pode ser desenvolvida com blocos cerâmicos especialmente fabricados para esta finalidade, e com blocos de concreto que são bastante utilizados pela sua padronização. Com a alvenaria estrutural teremos uma simplificação na concepção do projeto de arquitetura, facilitando a padronização dos materiais e a normalização de componentes. Teremos uma redução do desperdício em função da padronização e da melhor precisão dimensional, e a redução dos erros executivos o que vem melhorar a qualidade e a produtividade, pois não teremos retrabalho. Existe a possibilidade do uso de elementos pré-fabricados, que agregaram valor ao empreendimento.

Nos projetos de edificações em alvenaria estrutural é comum a organização do planejamento da execução dos panos de paredes, tendo em vista a coordenação modular. São confeccionados desenhos de cada vista das paredes, onde são mostradas os detalhamentos executivos das fiadas de tijolos, bem como as aberturas de portas e janelas com a posição das vergas e contravergas. A esse detalhamento das alvenarias estruturais denominamos de paginação da alvenaria, que melhora a produtividade dos operários e obtemos uma alvenaria com mais qualidade e um menor desperdício de recursos.

A implantação de coordenadas modular nas alvenarias estruturais, constitui em um dos principais motivos que favorecem a racionalização do processo executivo da obra, de acordo com Franco (1992). Esta racionalização pode ocorrer na fase de projeto e de execução da obra, pois durante estas etapas do desenvolvimento do empreendimento podemos ter uma padronização nos seus processos.

O uso da alvenaria estrutural tem se desenvolvido nos últimos anos no país, em face às vantagens econômicas que este processo construtivo apresenta em relação aos sistemas construtivos tradicionais (FRANCO; AGOPYAN, 1994).

As vantagens da alvenaria estrutural em relação ao método construtivo, segundo Roman (1996):

- é bastante versátil e adequada a vários usos funcionais;
- apresenta bons resultado técnicos e econômicos em relação as estruturas de concreto e de aço estruturais;
- facilidade na fase de projeto e permite um bom detalhamento construtivo;
- facilidade executiva da construção;
- reduz os subcontratos e os tipos de materiais na obra;

- facilita a fiscalização da obra;
- possui grande durabilidade com baixa manutenção;
- boas características de isolamento térmico e acústico;
- permite a contratação de mão de obra com melhor qualificação profissional.

O sistema construtivo em alvenaria estrutural apresenta algumas limitações e desvantagens, de acordo com Roman e Mohamad (1999):

- deficiência do ensino de alvenaria estrutural;
- menor resistência à compressão;
- há limitações quando existem grandes vãos.

Uma outra limitação deste sistema construtivo é a falta de flexibilidade em relação a retirada de paredes da edificação, por terem função estrutural. Esta limitação gera dificuldades na fase de uso e ocupação da edificação pelo proprietário, que fica impossibilitado de fazer modificações, adaptações e reformas.

### **Sistema construtivo com paredes de concreto**

O sistema construtivo é destinado à construção de edificações residenciais com até cinco pavimentos sendo formado por paredes estruturais maciças em concreto com a espessura de 10 cm, moldadas na obra e armadas com telas metálicas 10 x 10 cm com diâmetro de 4,2 mm, colocadas no centro das paredes (figura 2.2). A fundação é definida de acordo com o local da obra de acordo com o tipo de solo, e as lajes são do tipo maciça em concreto armado moldadas na obra com 10 cm de espessura. A cobertura é com estrutura de madeira e telhas cerâmicas.

O sistema construtivo se constitui pela moldagem de paredes e lajes maciças de concreto armado com telas metálicas centralizadas. A estrutura é calculada e dimensionada para cada projeto de arquitetura. O processo de produção do sistema construtivo permite o controle geométrico dos componentes construtivos e superfícies prontas para receberem acabamento. A resistência à compressão do concreto aos 28 dias é de 25 MPa, e a resistência mínima para retirada das formas após 15 horas é de 1,8 MPa. As fôrmas são de chapas de madeira compensada e plastificada, estruturadas com perfis de aço fixados com parafusos passantes nos fusos que definem o espaço entre as faces das fôrmas.

Figura 2.2 - Sistema construtivo com paredes de concreto.



Fonte: Revista Técnica editora PINI

A concretagem das paredes é realizada através de caçambas transportadas por guias. O concreto especificado não necessita de adensamento mecânico, exceto em locais bem específicos, e é dosado e misturado na obra em betoneiras, podendo ser fornecido por usinas.

É aplicado desmoldante à base de óleo mineral nas faces internas das fôrmas e a desmontagem das formas é realizada após 15 horas da concretagem, depois de ser verificado o resultado da resistência à compressão do concreto. O preenchimento dos furos nas paredes, resultantes da passagem dos fusos para travamento das fôrmas, é feito com a inserção de argamassa de cimento e areia média (traço 1:3), antes do acabamento das paredes.

Quanto aos revestimentos, são formados pela colocação de cerâmicas nas paredes internas dos ambientes das áreas molhadas, aplicadas com argamassa colante sobre o concreto, e nas paredes e tetos de áreas secas é aplicada camada de revestimento de gesso (ou massa) e pintura. Os pisos são em revestimento com cerâmica nas áreas molhadas, e nas áreas secas são em cerâmica ou cimentado liso. As instalações prediais são embutidas nas formas das paredes (figura 2.3) e as tubulações acima de 40 mm de diâmetro são colocadas em *shafts* executados em alvenaria, com a inserção de tela metálica nos encontros entre os *shafts* e as paredes de concreto. As paredes externas são pintadas com textura de cores claras (figura 2.4).

O sistema construtivo passou por avaliação técnica no Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), com o Documento de Avaliação Técnica nº 002 - DATec nº002 em dezembro de 2010.

Figura 2.3 - Instalações embutidas nas paredes de concreto.



Fonte: Revista Técnica editora PINI.

Figura 2.4 - Pintura externa em textura na cor clara.



Fonte: Revista Técnica editora PINI.

### **Sistema construtivo *wood frame***

Molina e Junior (2010) definem que sistema *wood frame* para edificações, consiste em um sistema construtivo industrializado com boa durabilidade, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e revestidos com outros materiais, com o objetivo de melhorar o conforto térmico e acústico, protegendo a edificação das intempéries e do fogo. O sistema pode ser usado para construção

de casas com até cinco pavimentos com controle das despesas desde a fase de projeto, em razão da industrialização do sistema.

Nos Estados Unidos 95% das casas construídas é com o sistema construtivo *wood frame*. Em países como Canadá, Japão e Alemanha são utilizados sistemas em *woo frame* de excelente qualidade, sendo que na Alemanha a tecnologia desenvolvida consiste na industrialização de painéis de paredes, piso e cobertura com elevado controle de qualidade e permite a construção de casas com mais de 200 m<sup>2</sup> em 60 dias e usando apenas um dia para montagem da casa. O Chile e a Venezuela aplicam com êxito este sistema em casas populares com 40 a 65 m<sup>2</sup> (MOLINA; JUNIOR, 2010).

A diretriz n° 005 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2011), define os sistemas leves tipo *light wood frame* como sistemas construtivos onde sua característica principal é ter como estrutura peças serradas de madeira maciça com fechamentos em chapas delgadas. O sistema leve com estrutura de madeira na figura 2.5.

Figura 2.5 - Sistema construtivo *wood frame*.



Fonte: Portal Virtuhab da Universidade Federal de Santa Catarina.

De acordo com Molina e Junior (2010), no Brasil os projetos com o sistema *wood frames* utilizam como matéria prima o pinus e o eucalipto de reflorestamento, que crescem de modo rápido. A preferência é pelo pinus em função da sua elevada permeabilidade ao tratamento em autoclave, para evitar o ataque de organismos xilófagos. No Brasil o tratamento utiliza produtos hidrossolúveis, em especial o CCA (Cobre-Cromo-Arsênio) e o CCB (Cobre-Cromo-Boro).



Segundo Santos (2013) o sistema *wood frame* reduz em até 85% o desperdício na obra em virtude das peças serem produzidas e dimensionadas em processo industrializado, evitando ajustes na obra. O sistema tem um baixo impacto ambiental no canteiro de obra, pois consiste em uma montagem da edificação.

Conforme Molina e Junior (2010), as etapas construtivas e a montagem das edificações no sistema *wood frame*, são da seguinte maneira:

- fundação - A estrutura utilizada nas edificações em *wood frame* é de madeira e distribui as cargas nos comprimentos das paredes. Por ser uma estrutura leve e com cargas distribuídas ao longo das paredes, uma solução para a fundação é o *radier* ou a sapata corrida;
- pisos - Os pavimentos superiores de edificações em *wood frame* utiliza placas de chapas em OSB (*Oriented Strand Board*) sobre vigas de madeira com seções retangulares ou em forma de I, e nas áreas úmidas os pisos são em chapas cimentícias coladas sobre contrapiso de OSB, com uma impermeabilização do tipo membrana acrílica impermeável;
- paredes - Compostas por montantes verticais de madeira, dispostos de acordo com os painéis de OSB, com as ligações entre os elementos estruturais no painel, feitas com o uso de pregos galvanizados, permitindo ter uma longa vida útil;
- sistema elétrico e hidráulico - São semelhantes às instalações de uma construção convencional, porém em comparação com as construções em alvenaria, o sistema *wood frame* oferece praticidade e agilidade em caso de reparos, pois possibilita embutir as instalações nos vãos internos dos painéis entre os montantes;
- revestimentos - As paredes podem ser revestidas com painéis de aço, madeira e PVC, mas podem ser utilizados outros materiais como placas cimentícias, tijolos aparentes e argamassa armada. Nos banheiros e cozinha são utilizadas placas cimentícias com selador acrílico anti-fungo e pintura de resina acrílica pura, ou placas de gesso acartonado revestidas com cerâmica. Deve-se utilizar nas paredes mecanismos para a estanqueidade do sistema, e para melhorar o desempenho térmico e acústico, são utilizadas mantas de lã de vidro no interior dos painéis;
- telhado - As paredes do último piso da edificação recebem treliças industrializadas de madeira, com espaçamento entre 60 cm e 120 cm, de acordo com o tipo de telha utilizada. Alguns tipos de telhas como as *shingle*, precisam de placas de OSB para servir de base sobre as treliças. Para as telhas cerâmicas são utilizadas ripas sobre

as treliças, sendo necessário aplicar uma manta de sobcobertura antes do ripamento para garantir a estanqueidade. Podem ser utilizadas telhas metálicas, de fibrocimento e asfálticas.

O comportamento estrutural do sistema *wood frame*, de acordo com Molina e Junior (2010) é superior ao da alvenaria estrutural em peso, resistência, conforto térmico e acústico. As casas são consideradas de alta tecnologia produzidas com controle de qualidade e com as seguintes vantagens: velocidade, flexibilidade, conforto térmico e acústico, preço e sustentabilidade.

O Condomínio Moradias Nilo com 66 casas, localizado na cidade de Curitiba-Paraná, é o primeiro residencial do programa MCMV que utilizou o sistema construtivo *wood frame* (figura 2.6). Foi entregue no dia 23 de março de 2015 (CEF, 2015).

Figura 2.6 - Condomínio do MCMV em Curitiba.



Fonte: Agência Caixa de notícias – CEF.

### **Sistema construtivo *steel frame***

Segundo Freitas e Crasto (2006) o sistema construtivo *steel frame* é constituído em um sistema industrializado com rápida execução e construção a seco. Sua estrutura é formada por painéis de perfis de aço galvanizado a frio compor painéis estruturais, constituindo vigas, tesouras e outros componentes.

O sistema *steel frame* é formado pela estrutura em perfis de aço (figura 2.7) com as placas de OSB, cimentícias e placas de gesso, que são usadas no fechamento dos painéis, que podem ser estruturais ou não estruturais (figura 2.8).

O sistema *steel frame* é derivado do sistema *wood frame*, pois com o desenvolvimento da indústria de aço nos Estados Unidos em 1933, foi lançado um protótipo de uma residência em *steel frame* utilizando perfis de aço em substituição a estrutura de madeira, durante a Feira Mundial de Chicago.

De acordo com Penna (2009) em países como Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Japão e Canadá, onde a construção civil é industrializada o *steel frame* é utilizado há mais de três décadas. No Brasil o sistema *steel frame* foi utilizado a partir de 1998 em edificações de médio e alto padrão.

O conforto térmico e acústico das edificações é obtido com o uso de lã de rocha mineral ou lã de vidro, aplicadas no interior dos painéis entre os montantes da edificação.

As principais vantagens no uso do sistema *steel frame* em edificações, de acordo com o Guia de Sistemas para Produtos Planos (2011), são as seguintes:

- os materiais que formam o sistema são produzidos industrialmente com rigoroso controle de qualidade sendo padronizados;
- o aço possui elevada resistência e alto controle de qualidade, permitindo uma maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura;
- facilidade de aquisição dos perfis formados a frio;
- durabilidade e longevidade da estrutura;
- facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza;
- construção a seco reduzindo o uso de recursos naturais e o desperdício;
- facilidade na execução das instalações elétricas e hidráulicas;
- bons níveis de desempenho termoacústico;
- fácil execução das ligações;
- rapidez de construção pois na obra temos somente a montagem;
- o aço é incombustível;
- o aço é reciclável.

Figura 2.7 - Sistema construtivo *steel frame* para casa popular.



Fonte: Empresa PlacLux fabricante de placas cimentícias.

Figura 2.8 - Casa pronta no sistema construtivo *steel frame*.



Fonte: Empresa PlacLux fabricante de placas cimentícias.

### **Sistema construtivo em painéis de alvenaria com concreto armado**

Estão registrados no SINAT através de DATec (s), sete sistemas construtivos que utilizam painéis pré-fabricados em alvenaria com concreto armado. Aborda-se o sistema construtivo Casas Olé, formado por painéis estruturais pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado, destinado à produção de unidades habitacionais térreas, isoladas ou geminadas (DATec nº 021A, 2016).

Os painéis são formados por camada de concreto armado, blocos cerâmicos e argamassa, e são produzidos no canteiro de obras de acordo com o projeto executivo, utilizando perfis metálicos para delimitarem os painéis de paredes e os vãos de portas e janelas. As paredes são estruturais com 122 mm de espessura e, somente as paredes de geminação recebem pilares pré-moldados de concreto armado com resistência de 25 MPa, com rebaixos laterais para ligação entre painéis. As instalações hidráulicas e sanitárias são externas e posicionadas em *shafts*, e as instalações elétricas são previamente embutidas nas paredes. O sistema de cobertura é constituído por telhado cerâmico sobre estrutura de madeira ou metálica, utiliza uma manta de polietileno aluminizada em uma face e o forro da casa é de PVC. A fundação é executada de acordo com o tipo de solo do local do empreendimento.

As faces internas e externas dos painéis das paredes recebem pintura em textura acrílica, as paredes do box do banheiro, pia de cozinha e tanque da área de serviço são revestidas com cerâmica até uma altura de 1,50 m.

A interface entre painéis é realizada por dispositivo metálico em três pontos distintos de suas laterais e após a montagem dos painéis no local definitivo, os dispositivos são soldados e protegidos com primer epóxi rico em zinco. É feita a aplicação de graute nos vãos entre os painéis, e as juntas são tratadas com a aplicação de tela de poliéster e argamassa.

Os painéis são moldados sobre pistas de concreto e delimitados com perfis metálicos devidamente fixados entre si. São dispostas as armaduras (tela eletrossoldada Q61, treliça TR06644 e armaduras de reforço) sobre espaçadores plásticos que permitem o seu cobrimento mínimo, e mestras com altura de 37mm para permitir a obtenção da espessura da camada de concreto. Nesse momento são dispostos os eletrodutos e as caixas elétricas. Após regularização da camada de concreto, são colocados os blocos cerâmicos, previamente umedecidos, distanciados entre si em 15mm. Em seguida os blocos cerâmicos são recobertos com uma camada de 15mm de argamassa de consistência plástica (figura 2.9). O adensamento e acabamento da argamassa são feitos com régua vibratória, o manuseio e transporte dos painéis é realizado com o uso de caminhão munck. Os painéis são cobertos com lona plástica para cura após adensamento, sendo feita aspersão de água três vezes ao dia, durante três dias após a desenforma, que ocorre 24 h depois da moldagem.

As unidades habitacionais podem ser ampliadas horizontalmente, desde que não se faça abertura ou rasgos nas paredes, e eventuais aberturas de portas podem ocorrer nos locais definidos pelo Manual de Operação, Uso e Manutenção (Manual do Proprietário).

Figura 2.9 - Sistema construtivo em painéis de alvenaria e concreto armado.



Fonte: DATec nº 021-A. SINAT/ PBQP Casas Olé.

### 3 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Este capítulo apresenta os fundamentos principais das técnicas de apoio multicritério à decisão, os conceitos básicos utilizados e exemplos de aplicações de métodos multicritérios de apoio à decisão empregados na área de Construção Civil. Os exemplos permitirão compreender melhor os problemas de decisão e servirão de referência no desenvolvimento deste trabalho.

A palavra decisão vem do latim, sendo formada por *de* (que em latim quer dizer parar, extrair, interromper) e pela palavra *caedere* (que se traduz por cindir, cortar). Pela origem o significado da palavra decisão é: "parar de cortar" ou "deixar fluir" (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002). Os autores consideram ainda a necessidade de uma decisão ser tomada quando estamos diante de um problema que apresente mais de uma possibilidade para sua solução. Mesmo que um problema possua uma única solução, temos as alternativas de tomar ou não essa solução.

Percebe-se que a tomada de decisão requer um estudo mais aprofundado de todos os fatores e aspectos intervenientes buscando compreender melhor o processo decisório, desde o problema a ser analisado até a busca de alternativas de soluções, em face das complexas situações que envolvem as decisões. Nas situações complexas considera-se os aspectos subjetivos na tomada de decisão a serem explicitados e quantificados.

No processo de análise da tomada de decisão, pode-se levar em conta os fatores quantitativos como custo, tempo, área, e os fatores qualitativos como fatores ambientais, organizacionais, de conforto, satisfação, o que possibilita analisar as influências nas alternativas existentes em relação aos objetivos. A busca de apoio à tomada de decisão não consiste em definir as soluções a serem adotadas pelo tomador de decisão, mas gerar recomendações que atendam aos valores e interesses dos que estão envolvidos no processo de decisão.

De acordo com Ensslin, Neto e Noronha (2001), as metodologias monocritérios por utilizarem um único critério na avaliação das alternativas e ao considerar como melhor a que apresentar uma avaliação otimizada, não levam em conta os vários aspectos considerados pelos que participam do processo decisório ao se deparar com situações complexas. Para considerar estes aspectos é necessário o uso de metodologias multicritério. Os métodos multicritérios utilizam mais de um aspecto, avaliando as ações com um conjunto de critérios, otimizando-os, simultaneamente.

Apoio multicritério à decisão pode ser definido, de acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), como sendo a atividade de quem se baseia em modelos nitidamente

apresentados, porém não obrigatoriamente formalizados, isto colabora para conseguir elementos que respondam às questões de um agente de decisão ao longo de um processo. Os elementos possuem como objetivo esclarecer as decisões, recomendando-as ou favorecendo-as. É um comportamento natural que melhora o alinhamento entre a avaliação do processo, os objetivos e o sistema de valores que o agente de decisão apresenta.

Gomes, Gomes e Almeida (2002), afirmam que o Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é definido como um conjunto de métodos e técnicas para apoiar a tomada de decisões por organizações ou pessoas, com múltiplos critérios. A tomada de decisões complexas é uma das mais difíceis a serem realizadas por um indivíduo ou por um grupo de indivíduos, pois devem atender a múltiplos objetivos. A tomada de decisão utilizando parâmetros quantitativos e qualitativos, é empregada em vários ambientes como em grupos empresariais, médias e pequenas empresas, governos e por militares.

Os autores afirmam ainda que no apoio multicritério à decisão, a abordagem do problema não tem como objetivo apresentar uma solução para o problema do decisor, indicando uma única verdade. Seu propósito é apoiar o processo decisório através da recomendação de ações ao agente de decisão. Portanto, os métodos de apoio multicritério buscam compreender o processo de decisão, inserindo o julgamento de valores dos decisores, monitorando a dinâmica das preferências e percebendo o processo decisório como aprendizagem.

De acordo com Bana e Costa e Almeida (1990), o apoio multicritério à decisão é um conjunto de métodos e técnicas para apoiar organizações e pessoas na tomada de decisão, quando influenciadas por múltiplos critérios. O objetivo do decisor deve ser definido antes da aplicação de um método de análise multicritério ao querer comparar várias alternativas de decisão utilizando a multiplicidade de critérios.

No mercado globalizado e bastante competitivo vem requerendo tomar decisões rápidas, corretas e abrangentes, buscando minimizar perdas, maximizar ganhos e criar situações em que o decisor perceba que houve melhorias entre o estado atual e o estado futuro, após a implementação da decisão.

Nos cenários competitivos e de rápidas transformações onde as empresas estão inseridas, qualquer erro pode representar a perda de competitividade. Portanto, a utilização de modelos que tornem a situação de decisão clara para o decisor é de grande valia, implicando na tomada de decisão rápida e de modo eficiente (GONDIM, 2007).

A análise de decisão multicritério vem sendo aplicada em diversos segmentos do conhecimento, onde podemos citar como exemplos as seguintes áreas: ambiental, financeira, industrial, de energia, de transportes, de economia e de gestão. Muitos problemas dessas áreas



estão utilizando modelos multicritérios de apoio à tomada de decisão. Os métodos de apoio multicritério à decisão colaboram na solução de problemas complexos e possibilitam ao agente de decisão várias ferramentas que o capacita a resolver problemas em situações contraditórias e conflitantes (VINCKE, 1992).

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002), as decisões econômicas, industriais, políticas e sociais, constituem exemplos de decisões multicritério. Uma empresa para comprar um equipamento não se baseia somente no preço, mas a qualidade e outros critérios são levados em consideração.

A aplicação de um método multicritério de apoio à decisão pode apresentar importantes vantagens no tratamento de um problema, considerando que se pode inserir no modelo vários pontos de vistas, até as preferências dos atores do processo de decisão. Na estruturação de um problema a ser resolvido é fundamental definir os seguintes elementos do modelo multicritério de decisão: os principais atores; os critérios de avaliação e o tipo de problemática (CAMPOS; ALMEIDA, 2006).

Bana e Costa (1992) considera que a estrutura do modelo é muito importante no processo de apoio à decisão e que a estruturação é uma mistura de ciência e arte, de maneira que torna-se impossível criar um procedimento geral de estruturação, onde sua aplicação garanta a unidade e validade do modelo.

Os métodos multicritérios são desenvolvidos com o propósito de apoiar e orientar os decisores na avaliação e seleção das alternativas que possam solucionar os problemas. Os problemas de decisão podem ser discretos, quando possuem uma quantidade finita de alternativas, ou podem ser contínuos quando a quantidade de alternativas é infinita, de acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002).

Como métodos multicritérios discretos tem-se Utilidade Multiatributo de Keeney e Raiffa, o Método de Análise Hierárquica conhecido como método AHP de Saaty, desenvolvidos pela escola americana. Tem-se ainda o método da escola francesa Método Electre, Roy (1968). Os métodos contínuos são conhecidos como métodos de otimização multicritério ou métodos interativos.

De acordo com Campos (2011), é preciso conhecer o efeito do ambiente externo, as incertezas e os valores dos agentes de decisão na estruturação de um problema. Devem ser analisadas as alternativas e os objetivos desejados. Na construção do modelo são considerados os critérios, repercussões das alternativas, os valores e as preferências.

O apoio multicritério à decisão tem uma visão prescritivista, quando são desenvolvidos modelos que são apresentados ao decisor, que os aceita ou os recusa, e tem uma

visão construtivista, quando são construídos modelos usando o processo de decisão. A estruturação se desenvolve de maneira interativa e coerente com os objetivos e valores do agente de decisão.

### **3.1 Elementos do apoio multicritério à decisão**

#### **Atores**

Pessoas, instituições ou conjunto de pessoas, que estão interessadas no resultado da decisão, pois possuem um envolvimento de forma direta ou indireta nas implicações do que for decidido. Os atores em decisões públicas são formados pelos cidadãos, o governo, dentre outros (CAMPOS, 2011). Segundo Roy (1996), um indivíduo ou um grupo é um ator de um processo de decisão, quando influencia com seu sistema de valores, de forma direta ou indireta na decisão.

#### **Decisor ou agente de decisão**

Indivíduo ou conjunto de indivíduos que de forma direta ou indireta, emite juízo de valor conclusivo a ser utilizado na avaliação das alternativas consideradas, visando a identificação da melhor opção. A alternativa selecionada depende da informação colocada pelo decisor no processo, sendo estas informações de natureza subjetiva e atende às preferências internas do decisor (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

Segundo Gomes, Gomes e Almeida (2002), o decisor intervém no processo decisório em função do juízo de valor que representa e as relações que se estabeleceram, devendo estas relações possuírem dinamismo, pois podem ser modificadas no decorrer do processo decisório. O decisor pode ser definido como aquele ou aqueles ao qual o processo de decisão se destina, tendo a capacidade e responsabilidade de corrigir uma decisão, assumindo as suas consequências.

#### **Analista**

Desenvolve o trabalho de formulação do problema, auxiliando os participantes do processo a ter uma visão do mesmo. Analisa e colabora na estruturação do problema e na identificação dos fatores do meio ambiente, que intervém no desenvolvimento, solução e descrição do problema. As funções desenvolvidas pelo decisor e pelo analista se complementam, muito embora a responsabilidade das decisões sejam do decisor. O analista consiste em uma pessoa ou equipe de pessoas que tem um papel objetivo, tem a função de

modelar o problema e fazer as recomendações para a seleção, captando as posições do decisor, tratando-as de forma objetiva e inserindo-as ao modelo que será utilizado (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

### **Critério**

As características das alternativas são representadas por suas propriedades ou capacidades para satisfazer às necessidades e desejos, em diferentes quantidades e intensidades, são denominadas de atributos. Critério é definido por uma função que manifesta as preferências do agente de decisão em relação a um atributo, podendo indicar se um par de alternativas pertence ao conjunto dos pares indiferentes (não comparáveis), ou ao conjunto onde a primeira alternativa é preferível à segunda. A função que define critério, estabelece uma correspondência entre todos os pares ordenados de alternativas (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

Segundo Campos (2011), existem vários problemas de decisão com mais de um objetivo a ser alcançado, sendo designados de critérios, que são utilizados como referência na avaliação do conjunto de alternativas.

### **Pesos**

Também denominada de ponderação, peso é a medida definida pelo decisor em função de suas preferências, para a importância relativa dos atributos. A importância de um atributo poderá ser maior do que a de outros (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

### **Ação e Ações Potenciais**

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002), ação ou alternativa é uma das opções disponíveis para escolha do agente de decisão, podendo ser identificada no início ou ao longo do processo de decisão e poderá ser uma solução para o problema estudado. Pode ser definida como:

- real - são as relacionadas a um projeto totalmente desenvolvido, que pode ser executado;
- fictícia - quando corresponde a um projeto idealizado, não totalmente elaborado ou uma construção mental;
- realista - quando corresponde a um projeto viável de ser executado;
- irrealista - quando está relacionada a um projeto não viável.

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002), o conjunto de ações potenciais em relação às quais o apoio à decisão trabalha em uma fase do estudo, pode ser um conjunto finito sendo o problema de decisão denominado discreto, ou pode ser um conjunto infinito de ações, onde o problema de decisão é contínuo. Os autores destacam ainda que uma ação potencial pode ser global ou fragmentada, sendo uma ação potencial denominada de global quando não exclui necessariamente as demais, e do contrário a ação é dita fragmentada.

Roy (1996) define ação potencial como uma ação real ou fictícia, julgada por um decisor como um projeto cuja implementação pode ser prevista, sendo realista. O processo de apoio à decisão acontece sobre o conjunto de ações potenciais.

### Matriz de decisão

Consiste em uma matriz também denominada por matriz de consequências (tabela 3.1), onde cada linha registra as medidas de avaliações da alternativa "i" em relação aos "n" critérios escolhidos. As colunas registram as medidas das avaliações das "m" alternativas em relação ao critério "j" (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002).

Tabela 3.1 - Matriz de decisão.

Critério→	$g_1$	$g_2$	.....	$g_j$	.....	$g_n$
Alternativas↓						
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	.....	$a_{1j}$	.....	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	.....	$a_{2j}$	.....	$a_{2n}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$A_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	.....	$a_{ij}$	.....	$a_{in}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	.....	$a_{mj}$	.....	$a_{mn}$

Fonte: Adaptado de Gomes; Gomes; Almeida (2002).

Segundo Campos (2011), a matriz de decisão ou matriz de avaliação tem como objetivo apresentar na forma de tabela, a relação entre as alternativas e os critérios de avaliação, consistindo no resultado conclusivo da estruturação do problema multicritério, e possibilitando a identificação de modo simples dos desempenhos das alternativas para cada critério.

### **Problemáticas de referência**

Segundo Gomes, Gomes e Almeida (2002) o resultado que se deseja em um problema, considerando o apoio à decisão, está inserido entre quatro tipos de problemáticas de referência, definidas a seguir:

- problemática  $P.\alpha$  - Este tipo de problemática possui como objetivo esclarecer a decisão com a seleção de um subconjunto restrito, de modo a escolher uma única alternativa. O conjunto conterá as melhores alternativas ou as satisfatórias, tendo como resultado uma escolha ou um procedimento de seleção;
- problemática  $P.\beta$  - Seu objetivo é esclarecer a decisão realizando uma classificação das alternativas, alocando cada ação a uma categoria ou classe. O resultado desejado é uma triagem ou classificação;
- problemática  $P.\gamma$  - Consiste como seu objetivo esclarecer a decisão com um arranjo conseguido por um reagrupamento das alternativas em classes de equivalência, sendo as mesmas ordenadas de forma completa ou parcial, de acordo com as preferências. O resultado que se quer é um arranjo ou ordenação;
- problemática  $P.\delta$  - Tem por objetivo esclarecer a decisão mediante uma descrição das alternativas e de suas consequências em uma linguagem adequada. Pretende como resultado uma descrição ou procedimento cognitivo.

Os autores destacam que as problemáticas de referência não são independentes entre si, pois em particular a problemática de ordenação das alternativas  $P.\gamma$ , serve de base para resolução de um problema de uma problemática de seleção  $P.\alpha$ , ou uma de classificação  $P.\beta$ . Vários métodos multicritérios desenvolvidos nos anos 70 e princípio dos anos 80, focalizaram na problemática de ordenação  $P.\gamma$ .

De acordo com Ensslin, Neto e Noronha (2001), a escolha do tipo de problemática de referência depende do tipo de problema dos decisores e gera influências no processo de estruturação do modelo multicritério, podendo intervir na definição dos critérios a serem utilizados.

### 3.2 Modelagem das preferências

Para manifestar as preferências do agente de decisão na comparação entre duas alternativas potenciais, faz-se necessário algumas condições serem estabelecidas, considerando o objetivo de apoiar o processo de decisão. Estas condições são representadas através de relações binárias (ROY, 1996).

Gomes, Gomes e Almeida (2002), estabelece que em face da importância das relações binárias para a modelagem das preferências do agente decisor, apresenta as propriedades clássicas de uma relação binária  $H$  sobre um conjunto de alternativas  $A$ :

- reflexividade -  $\forall a \in A, aHa$ ;
- irreflexividade -  $\forall a \in A, \text{não } aHa$ ;
- simetria -  $\forall a,b \in A, aHb \rightarrow bHa$ ;
- assimetria -  $\forall a,b \in A, aHb \rightarrow \text{não } bHa$ ;
- transitividade -  $\forall a,b,c \in A, [aHb \text{ e } bHc] \rightarrow aHc$ .

#### Sistemas de relações de preferências

De acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), para termos uma representação realista das preferências do agente de decisão, são definidas quatro situações fundamentais e mutuamente excludentes, quando compara-se duas alternativas.

Roy (1996) considera que as preferências do decisor são modeladas por sistemas de relações de preferências, onde os mais importantes são: sistema básico de relações de preferência e o sistema consolidado de relações de preferência.

O decisor define suas preferências entre duas alternativas "a" e "b" de um conjunto  $A$  de ações, com as seguintes situações conforme o sistema básico: Indiferença(I); Preferência estrita(P); Preferência fraca(Q) e Incomparabilidade(R), mostradas no quadro 3.1.

Quadro 3.1– Situações básicas de preferência.

Situação	Definição	Propriedades
Indiferença (I)	Existência de razões claras e positivas que justificam a equivalência entre duas ações.	I: relação reflexiva e simétrica
Estrita Preferência (P)	Existência de razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa em favor de uma das duas ações identificadas .	P: relação assimétrica (não reflexiva)
Fraca Preferência (Q)	Existência de razões claras e positivas que invalidam a estrita preferência em favor de uma das duas ações identificadas, mas que são insuficientes para deduzir uma estrita preferência em favor da outra ação ou indiferença entre as duas ações, não permitindo, deste modo, diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Q: relação assimétrica (não reflexiva)
Incomparabilidade (R)	Ausência de razões claras e positivas que justificam quaisquer das três situações precedentes.	R: relação simétrica (não reflexiva)

Fonte: Adaptado de Roy (1996).

Ao serem combinadas as quatro situações anteriores, é obtido o sistema consolidado de relações de preferência definidos por Roy (1996), com outras situações de particular interesse, que são representadas: Não - preferência ( $\sim$ ); Preferência ( $>$ ); J-Preferência; K-Preferência e Sobreclassificação (S), conforme quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Situações consolidadas de preferências.

Situação	Definição	Propriedades
Não – Preferência ( $\sim$ )	Corresponde a uma ausência de situações claras e positivas para justificar a preferência estrita ou preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim: a \sim b \leftrightarrow aIb \text{ ou } aRb$
Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma (bem identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferência estrita e preferência fraca, sem no entanto possibilitar a diferenciação entre elas.	$>: a > b \leftrightarrow aPb \text{ ou } aQb$
J-Preferência (Presunção de Preferência)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência fraca, sem se preocupar o quão fraca ela é, em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou no limite, a indiferença entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$J: a J b \rightarrow aQb \text{ ou } aIb$
K – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.	$K: aKb \rightarrow aPb \text{ ou } aRb$
Sobreclassificação ( <i>Outranking</i> )	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam tanto a preferência ou a J-preferência em favor de uma (bem identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença. Uma ação a sobreclassifica b ( $aSb$ ) se a é considerada ao menos tão boa quanto b.	$S: aSb \rightarrow aPb \text{ ou } aQb$ ou $aIb$

Fonte: Adaptado de Roy (1996).



### **Estruturas de preferências**

A maioria dos estudos sobre modelagem de preferências, aborda situações que consideram: Preferência (P), Indiferença (I) e Incomparabilidade (R) (VINCKE, 1992).

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), considerando como base as relações binárias e suas propriedades, podemos classificar as principais estruturas de preferência sobre um conjunto de alternativas potenciais  $A$ , como:

- pré-ordem completa - Considerando um par de relações binárias  $(T, V)$  sobre um conjunto de alternativas  $A$  é uma pré-ordem completa se  $T$  e  $V$  são exaustiva e mutuamente excludentes,  $V$  é assimétrica e transitiva e  $T$  é simétrica e transitiva. A estrutura de pré-ordem completa se relaciona com a noção intuitiva de classificação com perspectiva de empate;
- ordem completa - Quando um par de relações binárias  $(T, V)$  sobre um conjunto de alternativas  $A$ , corresponde à noção intuitiva de classificação sem que seja possível haver empate;
- quase - ordem - Neste tipo de estrutura um par de relações binárias  $(T, V)$  sobre um conjunto de alternativas  $A$ , corresponde a existência de um limiar onde o agente de decisão não consegue explicitar a diferença ou não quer declarar a preferência;
- ordem de intervalo - Seja um par de relações binárias  $(T, V)$  sobre um conjunto de alternativas potenciais  $A$ , será definido como uma ordem de intervalo se  $T$  e  $V$  são exaustivas e mutuamente exclusivas,  $T$  é simétrica,  $V$  é assimétrica e  $\forall a, b, c, d \in A, [aVb, bTc, cVd] \rightarrow aVd$ . Nesta estrutura o limiar varia ao longo da escala de valores;
- pseudo-ordem - Uma estrutura pseudo-ordem  $(T, V, W)$  sobre um conjunto de ações potenciais  $A$ , pode na prática ser representada por três funções  $g, q, p$ . A função  $g$  tem valores reais definidos sobre  $A$ , mas as funções  $q$  e  $p$  são definidas de  $\mathbb{R}$  em  $\mathbb{R}$ . Esta estrutura apresenta um limiar de indiferença abaixo do qual é nítida a indiferença e um limiar de preferência, acima do qual tem-se a certeza da preferência.

As estruturas de preferências que foram apresentadas constituem as mais comuns que não aceitam a incomparabilidade (R) entre as alternativas. Portanto, o valor de R é nulo. Enquanto as estruturas parciais de preferência que aceitam a incomparabilidade, são uma generalização das estruturas, sendo:

- pré-ordem parcial - A estrutura de pré-ordem parcial generaliza a estrutura de pré-ordem completa, pois considera a incomparabilidade na classificação e mantém a transitividade. Tem-se a noção intuitiva de classificação com a possibilidade de empate por similaridade e a incomparabilidade não é nula;
- ordem parcial - Apresenta a noção intuitiva de classificação sem possibilidade de empate por similaridade a incomparabilidade não é nula.

### **Relação de dominância**

Segundo Vincke (1992) a relação de dominância entre dois elementos "a" e "b" pertencentes ao conjunto A, "a" domina "b"  $aDb$ , se e somente se:  $g_j(a) \geq g_j(b)$ , onde  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  e no mínimo uma das inequações é de preferência estrita. A relação de dominância sendo uma ordem parcial estrita, significa que é uma relação assimétrica e transitiva. Se "a" domina "b", podemos dizer que "a" é superior a "b" considerando todos os pontos de vista do problema, ou todos os critérios. Esta relação na grande maioria das situações, somente é verificada entre poucos pares de alternativas.

Roy (1996) afirma que uma ação "a" é eficiente ou não dominada, se não for possível encontrar no conjunto A, uma outra solução "b" que apresente uma performance melhor em um critério, desde que não tenha uma performance pior em um outro critério.

### **Limiares de indiferença e de preferência**

Limiar de preferência que é representado pela função  $p[g(a)]$ , é definido como sendo o limite inferior (p) para a diferença  $g(b) - g(a)$ , abaixo do qual não se pode optar por uma preferência estrita de "b" sobre "a". Em algumas situações o limiar poderá ser constante (ROY, 1996).

O limiar de indiferença que é representado pela função  $q[g(a)]$ , é definido como sendo o limite superior (q) para a diferença  $g(b) - g(a)$ , de modo que qualquer valor dessa diferença inferior ao limite considerado, não é suficiente para garantir a preferência estrita de "b" sobre "a", ou a preferência fraca. Em algumas situações o limiar poderá ser constante (ROY, 1996).

## **3.3 Métodos multicritérios**

Os métodos multicritérios podem ser classificados em três abordagens em relação aos princípios de modelagem de preferência: a abordagem de critério único de síntese, abordagem de subordinação de síntese e abordagem do julgamento local interativo.

### **Abordagem de critério único de síntese**

Ensslin, Neto e Noronha (2001), consideram esta abordagem ligada aos países de língua inglesa sendo exemplificada pela Teoria da Utilidade Multiatributo, representada pela abreviatura em inglês MAUT (*Multiple Attribute Utility Theory*). Um critério é transformado em função de utilidade, podendo ser usado o conceito de função de valor no lugar de função de utilidade.

A abordagem de critério único de síntese foi idealizada pela escola americana, sendo uma agregação de vários pontos de vista em uma única função a ser otimizada. Esta abordagem é intensamente utilizada no apoio à decisão de problemas econômicos e financeiros.

Ensslin, Neto e Noronha (2001), destacam que os aspectos críticos nesta abordagem são as definições das funções de valor para cada critério e a definição das taxas de substituição. Os resultados do modelo são em função destes parâmetros, logo, pequenas variações em seus valores podem ocasionar resultados diferentes.

Gomes, Gomes e Almeida (2002) declaram que a teoria de utilidade multiatributo, dentre os métodos de apoio à decisão é o único a receber o nome de teoria, mas algumas vezes é utilizado como método. A diferença está relacionada à maneira de obter a função utilidade multiatributo. Como teoria, a determinação da função é associada à confirmação da relação existente, entre a estrutura axiomática da teoria e das preferências do decisor. Como método, não temos essa confirmação em alguns estágios do processo de análise.

Uma metodologia que determina a função utilidade através de um processo formado por cinco etapas, onde as etapas destacam aspectos importantes do problema, permitindo um aprofundamento entre o analista e o decisor, a respeito das variáveis que formam a estrutura do problema. As etapas são as seguintes:

- preparação do decisor para avaliação;
- identificação de independência;
- avaliação da função utilidade condicional;
- avaliação das constantes de escala;
- checagem da consistência.

Segundo Ensslin, Neto e Noronha (2001) o Método de Análise Hierárquica AHP (abreviação do inglês *Analytic Hierarchy Process*) pode ser classificado como de critério único de síntese. É um método bem difundido, mas sofreu várias críticas com relação a maneira de determinação dos pesos dos critérios.

O método AHP é um dos primeiros a ser desenvolvido no ambiente de decisões multicritérios discretas, sendo um dos mais usados no mundo. O Método de Análise Hierárquica foi criado pelo professor Thomas L. Saaty (1979), onde o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, o que possibilita uma melhor compreensão e avaliação, de acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004).

### **Abordagem de subordinação de síntese**

A abordagem de subordinação foi idealizada pela escola francesa no grupo ligado a Bernard Roy (1996), sendo uma contraposição à abordagem de critério único de síntese. A abordagem de subordinação consiste em obter um resultado menos rico, do que o obtido pela abordagem de critério único. Esta abordagem de subordinação busca determinar uma performance para cada ação, o que é realizada pela comparação aos pares das performances das ações em cada critério (ENSSLIN; NETO; NORONHA, 2001).

A ideia básica destes métodos é o enriquecimento das relações de dominância. Evita-se propor hipóteses matemáticas rígidas e questões complexas ao decisor, exigidos pela teoria da utilidade multiatributo, gerando várias dificuldades na modelagem dos problemas.

Faz-se necessário o conceito de limiares, para que se possa determinar a existência de uma relação de subordinação entre duas alternativas. As incertezas, imprecisões e indeterminações, causam dificuldades para o decisor definir valores numéricos precisos referentes às suas preferências, conseguindo apenas determinar uma faixa de valores.

As famílias dos métodos ELECTRE e PROMETHEE, destacam-se nesta abordagem de subordinação de síntese. A família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) de origem francesa, foi proposta por Benayoun, Roy e Sussman e desenvolvida por Bernard Roy (1996). O seu objetivo é conseguir um subconjunto de N alternativas, que sobreclassificam as ações que não pertencem ao subconjunto N, sendo o procedimento continuado até se conseguir um pequeno subconjunto, representado por alternativas de melhor compromisso.

### **Abordagem do julgamento local interativo**

Os métodos desta abordagem, baseia-se em uma sequência de julgamentos feitos pelos agentes de decisão sobre a performance solicitada, em um determinado critério. Ocorre uma sequência de fases alternadas, sendo uma de cálculo e outra de interação entre os decisores.

Um método interativo é um processo sequencial formado de diversas interações. Cada interação possui uma fase de cálculo e de decisão, onde ao longo dessas fases o decisor desenvolve o modelo de suas preferências.

### 3.4 PROMETHEE II

Os métodos multicritérios conhecidos com o nome PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) constituem uma família de métodos da escola francesa e têm como objetivo estabelecer uma relação de sobreclassificação. Foi proposto pela primeira vez por Brans, Vincke e Mareschal em 1984, sendo objeto de adaptações e evoluções ao longo do tempo.

Utilizam comparações binárias entre as alternativas e comparam-se os desempenhos das ações em todos os critérios. Fazem uso do conceito de pseudocritério e podem definir limites de indiferença e de preferência estrita. O decisor pode expressar sua preferência entre as alternativas conforme a função que definir, relativa aos pseudocritérios e representa-se por um número real entre zero e um, significando indiferença e preferência estrita, respectivamente (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

O método PROMETHEE é destinado para resolução de problemas multicritério discreto, em que o conjunto de alternativas consideradas é finito. A família desses métodos é formada por seis versões designadas pela nome PROMETHEE, seguido dos algarismos romanos I, II, III, IV, V e VI. As de I à IV são utilizadas na solução de problemas do tipo P. $\gamma$ , que hierarquiza as alternativas em uma ordenação completa.

A aplicação do método PROMETHEE inicia-se com a definição da matriz de decisão, formada pelas alternativas e pelos critérios. Definem-se os desempenhos das alternativas em relação aos critérios e o agente de decisão estabelece os pesos para cada critério, bem como, os tipos de pseudocritérios (função de preferência relativa), conforme as suas preferências.

Calcula-se a diferença de desempenho ( $\delta_{ik}$ ) entre as avaliações das alternativas  $x_i$  e  $x_k$ , para cada critério  $j$  em que uma alternativa supera a outra ( $x_i S x_k$ ). Utiliza-se para o cálculo das diferenças de desempenhos a expressão em módulo, a seguir:

$$\delta_{ik} = |u_j(x_i) - u_j(x_k)| \quad (3.1)$$

Os dois termos da diferença são as avaliações das duas alternativas consideradas.

Procede-se o cálculo da função de preferência relativa, para cada um dos critérios “ $j$ ”, através da seguinte equação:

$$P_j(x_i, x_k) = P_j(\delta_{ik}) = P_j(|u_j(x_i) - u_j(x_k)|) \quad (3.2)$$

Após definir as funções de preferências relativas para os critérios, calculam-se os índices de preferências ( $s_{ik}$ ) entre as alternativas  $x_i$  e  $x_k$ , pela fórmula:

$$s_{ik} = \frac{\sum_j w_j P_j(\delta_{ik})}{\sum_j w_j} \quad (3.3)$$

Onde  $w_j$  representa os pesos definidos para os critérios e  $P(\delta_{ik})$ , as funções de preferências. O índice de preferência mostra a intensidade da preferência da alternativa  $x_i$  sobre a alternativa  $x_k$ , ao considerar todos os critérios.

Com os valores dos índices de preferências, calculam-se os fluxos de superação positivos ( $\phi_i^+$ ) e os fluxos de superação negativos ( $\phi_i^-$ ), referentes às alternativas  $x_i$ . A quantidade de alternativas é representada por  $m$ . As fórmulas são definidas a seguir:

$$\phi_i^+ = \frac{1}{m-1} \sum_k s_{ik} \quad \text{e} \quad \phi_i^- = \frac{1}{m-1} \sum_k s_{ki} \quad (3.4)$$

No método PROMETHEE II para resolução de problemas de ordenação, onde encontra-se como resultado uma pré-ordem completa, deve-se calcular o fluxo de superação neto ( $\phi_i$ ) para as alternativas, que é o resultado da diferença entre os fluxos de superação positivos e negativos. Realiza-se uma ordenação das alternativas em uma hierarquia de eficiência pela ordem decrescente de valores dos fluxos netos encontrados. O fluxo neto é definido pela equação a seguir:

$$\phi_i = \phi_i^+ - \phi_i^- \quad (3.5)$$

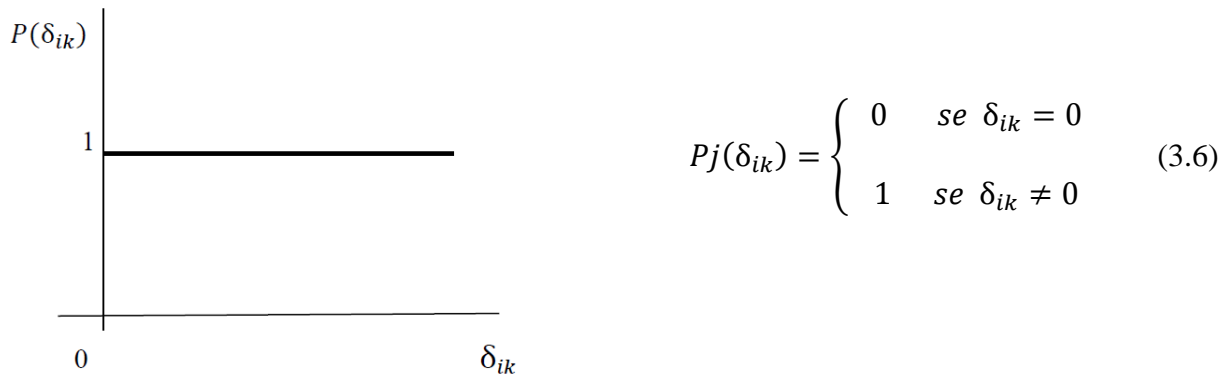
Para a definição da função de preferência no método PROMETHEE, utiliza-se seis tipos de pseudocritérios, também denominados de critérios generalizados. Podem ser usados em diferentes aplicações práticas e a seguir, têm-se as definições com os gráficos característicos e a função de preferência relativa de cada critério generalizado:

#### **Tipo I – Critério usual**

A indiferença entre duas alternativas acontece quando as avaliações em um determinado critério são iguais e a preferência estrita ocorre quando há uma diferença entre as

avaliações das alternativas para o critério considerado. Não é preciso definir parâmetros nesse critério generalizado. É representado pelo gráfico e pela sentença abaixo. A seguir, tem-se o gráfico 3.1 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.1 - Função de preferência tipo I.

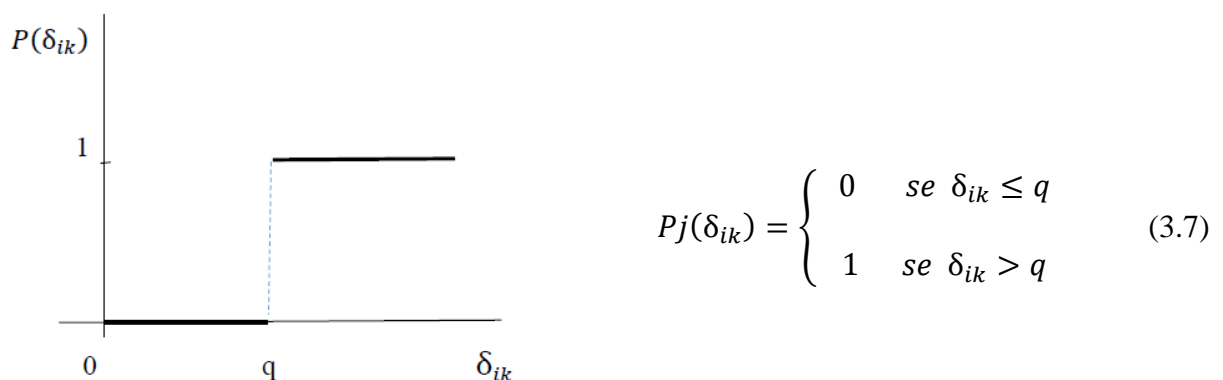


Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

### Tipo II – Quase critério

Define-se nesse tipo de critério generalizado o parâmetro denominado limite de indiferença ( $q$ ). Quando a diferença entre as avaliações de duas alternativas for maior do que o parâmetro  $q$ , tem-se uma preferência estrita. Abaixo, tem-se o gráfico e a função de preferência. A seguir, tem-se o gráfico 3.2 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.2 - Função de preferência tipo II.



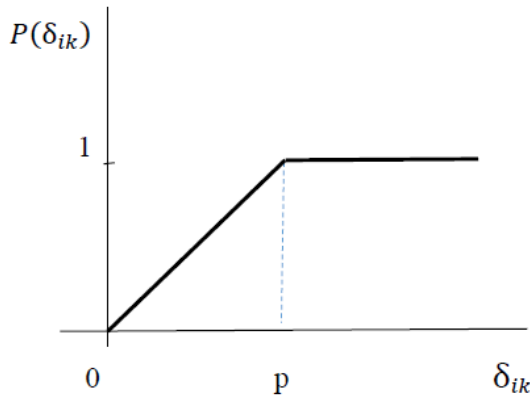
Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

### Tipo III – Critério com preferência linear

Nesse tipo de critério generalizado o decisor define o limite de preferência ( $p$ ), também denominado de limiar de preferência. A preferência cresce linearmente até que o valor

da diferença entre as avaliações entre duas alternativas, seja igual ao limite de preferência (p) e após esse valor, a preferência é estrita. A seguir, tem-se o gráfico 3.3 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.3 - Função de preferência tipo III.



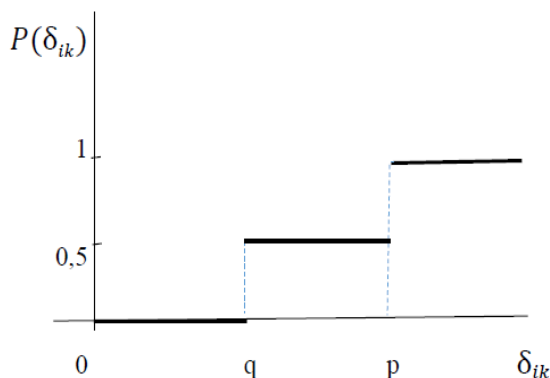
$$P_j(\delta_{ik}) = \begin{cases} \frac{\delta_{ik}}{p} & \text{se } q < \delta_{ik} \leq p \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > p \end{cases} \quad (3.8)$$

Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

#### Tipo IV – Critério de nível

Para essa função de preferência é necessário definir o limite ou limiar de indiferença (q) e o limiar de preferência (p). Ocorre uma indiferença na preferência do decisor, até que a diferença entre as avaliações entre duas alternativas seja menor ou igual ao limiar de indiferença (q). Para valores entre q e p a preferência é fraca e para valores maiores do que p, a preferência é estrita. A seguir, tem-se o gráfico 3.4 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.4 - Função de preferência tipo IV.



$$P_j(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq q \\ 0,5 & \text{se } q < \delta_{ik} \leq p \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > p \end{cases} \quad (3.9)$$

Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

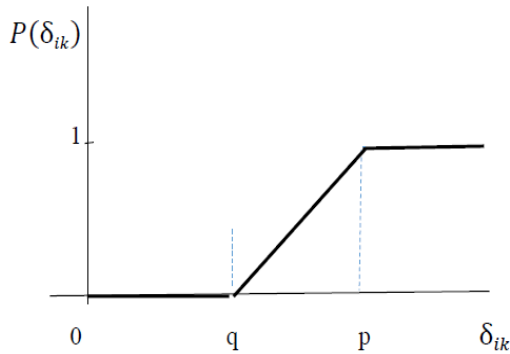
#### Tipo V – Critério com preferência linear e área de indiferença

Definem-se os limites de indiferença (q) e de preferência (p). Há indiferença até que a diferença entre as avaliações não ultrapasse o valor de q. Para valores acima de q a



preferência cresce linearmente com a diferença entre as avaliações de duas alternativas e passa a ser uma preferência estrita com valores acima de  $p$ . A seguir, tem-se o gráfico 3.5 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.5 - Função de preferência tipo V.



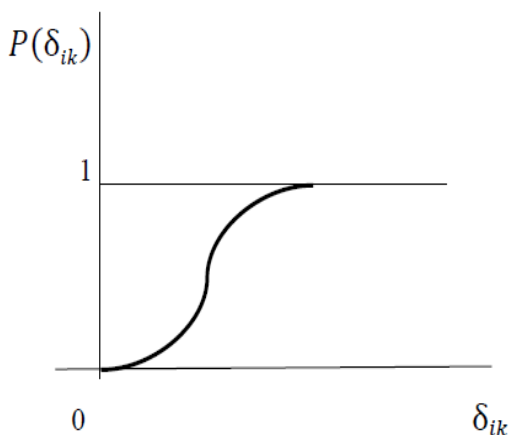
$$P_j(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq q \\ \frac{\delta_{ik}-q}{p-q} & \text{se } q < \delta_{ik} \leq p \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > p \end{cases} \quad (3.10)$$

Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

### Tipo VI – Critério gaussiano

A preferência cresce de forma contínua em função da diferença entre as avaliações de duas alternativas. Deve-se determinar o desvio padrão ( $s$ ). A seguir, tem-se o gráfico 3.6 e a definição da função de preferência.

Gráfico 3.6 - Função de preferência tipo VI.



$$P_j(\delta_{ik}) = 1 - e^{-\frac{\delta_{ik}^2}{2s^2}} \quad (3.11)$$

Fonte - Elaborada pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

Apresenta-se as características principais das seis versões de métodos multicritérios da família PROMETHEE pertencentes à escola francesa, cujo objetivo é estabelecer uma relação de superação:

- PROMETHEE I – Obtém-se uma pré-ordem parcial das alternativas analisadas para resolver problemas de ordenação. Esse método admite a relação de incomparabilidade entre as alternativas, bem como de superação e de indiferença;
- PROMETHEE II – Esta versão do método permite obter-se uma pré-ordem completa das alternativas, pois não admite a relação de incomparabilidade. É utilizado para resolver a problemática de ordenação;
- PROMETHEE III – Realiza a ordenação das alternativas de decisão por intervalos e utiliza limites variáveis;
- PROMETHEE IV – Esse método corresponde a uma extensão do PROMETHEE II para solução de problemas com um conjunto infinito de alternativas;
- PROMETHEE V – É uma ampliação do método PROMETHEE II apropriada para selecionar um subconjunto de alternativas de decisão, em função de restrições consideradas no problema.
- PROMETHEE VI – Determina o vetor de pesos dos critérios que melhor expressa as preferências do decisor. Permite utilizar um procedimento gráfico designado de GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) para verificar a influência dos pesos dos critérios nas alternativas.

### **3.5 Análise de sensibilidade**

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002), ao ser aplicado um método multicritério é importante proceder uma análise de sensibilidade, com o objetivo de saber como as variações dos parâmetros característicos do método agem sobre os resultados encontrados, possibilitando uma análise da qualidade desses resultados. A análise de estabilidade objetiva verificar a intensidade de degradação de uma solução, até um nível predefinido, podendo uma solução encontrada em um problema multicritério, mostrar:

- estabilidade fraca, quando feita a análise de sensibilidade a melhor solução continua pertencendo ao conjunto de soluções não dominadas;
- estabilidade forte, quando após a análise de sensibilidade, não acontece alteração no conjunto de soluções não dominadas.

Na análise de robustez, o objetivo é fazer a verificação até que ponto a ordem encontrada no conjunto de soluções não dominadas, não sofre alteração após a análise de sensibilidade.

### **3.6 Aplicação de métodos multicritérios na Construção Civil**

Apresentaremos trabalhos que foram desenvolvidos na área de Construção Civil, utilizando métodos de apoio multicritério à decisão. Os autores abordaram apoio multicritério em vários tipos de problemas no setor da Construção Civil, e buscaram aplicar métodos e desenvolver modelos, que melhor se adaptassem às situações consideradas.

No Brasil, apresentamos como exemplos de aplicações na Construção Civil, de métodos multicritérios de apoio à decisão, os seguintes trabalhos:

- Campos (2011) utilizou os métodos multicritérios PROMETHEE II e ELECTRE IV na área de saneamento ambiental, na proposição de um modelo multicritério para apoiar decisões de hierarquia de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, realizando a aplicação numérica do modelo nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, no sudeste brasileiro;
- Gondim (2007) desenvolveu um modelo de apoio à decisão multicritério para seleção de tecnologias de revestimentos de fachadas, onde utilizou como método uma sequência de passos adaptados da pesquisa bibliográfica. Aplicou o modelo em um cenário fictício de decisão, considerando as características da cidade de Fortaleza;
- Campos e Almeida (2006) aplicaram o método multicritério de agregação no desenvolvimento de um modelo multicritério de decisão para definir a localização da construção da cidade de Nova Jaguaribara, no estado do Ceará, pois a cidade antiga ficou submersa com a construção da barragem Castanhão;
- Alencar (2003) fez a aplicação de um modelo com apoio do método multicritério PROMETHEE V, na avaliação e gestão de projeto na Construção Civil através de

um estudo de caso, com o objetivo de apresentar um modelo mais estruturado para o processo decisório na gestão de projeto;

- Szajubok, Alencar e Almeida (2006), apresentaram um modelo estruturado para o processo decisório na gestão de materiais na Construção Civil, apoiado pelo método multicritério ELECTRE TRI, com aplicação em uma obra de edificação residencial vertical na cidade de Recife, no estado de Pernambuco;
- Mota e Almeida (2007), utilizaram o método multicritério ELECTRE IV-H, para priorização de atividades em projetos de construção. Apresentaram uma proposta para lidar com problemas de priorizações, das diversas atividades que ocorrem em paralelo no desenvolvimento de projetos de construção, considerando a dificuldade de obtenção de informações para estruturação do problema de decisão;
- Loura (2006) desenvolveu uma ferramenta utilizando o método de decisão multicritério ELECTRE - III, para auxiliar na tomada de decisão em relação ao desempenho térmico e aquecimento de água de edificações residenciais. Foi comprovada e aplicada a ferramenta em um estudo de caso, realizado no mercado imobiliário da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro.

A nível internacional, apresentamos como exemplos de aplicações na Construção Civil, de métodos multicritérios de apoio à decisão, os seguintes casos:

- Roy e Hugonnard (1982) conceberam um método multicritério para apoio à decisão, ELECTRE IV, voltado para um problema de programação de doze projetos de extensão de linhas suburbanas no sistema de metrô de Paris, com base nos conceitos de pseudo critério e classificação superior;
- Roy, Présent e Silhol (1986), utilizaram o método multicritério ELECTRE III para determinar, quais estações de metrô de Paris deveriam ser reformadas. A cada ano a RATP (*Régie Autonome des Transport Parisiens*), que pode ser traduzida como Administração Independente de Transporte Parisienses, renova um certo número de estações de metrô, sendo que cada estação é avaliada com a utilização de sete critérios, advindos dos objetivos e restrições dos passageiros e da RATP;
- Mela, Tiainen e Heinisuo (2012) da Finlândia, compararam a aplicação de seis métodos multicritérios para projeto de construção, considerando a funcionalidade e os resultados apresentados por métodos diferentes em problemas que

representam várias situações de projeto. Foram utilizados dois, três e quatro critérios e seis métodos para comparação;

- Medineckiene, Zavadskas, Björk e Turskis (2015), aplicaram métodos multicritérios de tomada de decisão, para selecionar critérios para avaliação da construção sustentável, que foram determinados baseados no sistema de certificação sueca;
- Govindan, Shankar e Kannan (2016), através de uma metodologia multicritério de tomada de decisão híbrida (TOPSIS), propuseram nos Emirados Árabes Unidos, um modelo para avaliar o melhor material de construção sustentável, com base em indicadores de sustentabilidade. O quadro proposto foi validado com uma empresa de estudo de caso e os resultados foram comparados com a literatura existente e as informações de entrevistados do setor de Construção Civil;
- Wankhade e Landage (2013) conceberam uma metodologia de teste não destrutivo, para detectar falhas internas em estruturas de concreto. Um dos componentes do sistema foi o AHP, responsável por pesagem dos valores dos parâmetros selecionados para avaliar o estado da estrutura;
- Pons e de la Fuente (2013), apresentaram um modelo para avaliar a sustentabilidade de pilares de concreto estrutural. Tanto a estrutura hierárquica do problema e os pesos dos seus componentes, foram determinados durante um seminário envolvendo diferentes representantes do setor de Construção Civil, de modo que um total de 12 alternativas de pilares foram analisadas em tais termos;
- Xia e Chan (2012) aplicaram um método para determinar os critérios de seleção para variações operacionais em projeto de construção. Um painel de especialistas foi solicitado a listar um conjunto de possíveis critérios para definir o problema, junto com suas classificações correspondentes e de acordo com a sua importância, para chegar a uma solução de consenso que represente um amplo espectro da Indústria da Construção;
- San Cristóbal (2012) realizou uma análise comparativa do processo de seleção de empreiteiro, para um projeto de construção de estradas. O AHP foi utilizado para ponderar os critérios, e assim, gerar a matriz de decisão. Os resultados das aplicações com métodos de classificação, apontaram para a mesma alternativa;

- Knoeri, Binder e Althaus (2011), realizaram um estudo de base AHP para avaliar a atitude dos intervenientes na reutilização de materiais reciclados minerais de construção e os critérios em relação à maneira de desenvolverem as atividades;
- Marzouk (2010) usou o método ELECTRE III como uma ferramenta de apoio para resolver o problema de seleção de empreiteiros na Construção Civil. Assim, o modelo de apoio à decisão, forneceu uma ordem completa dos vários empreiteiros de acordo com cinco critérios;
- Chen, Okudan e Riley (2010), propuseram um método de seleção para a construção de edifícios de concreto. O processo foi dividido em duas fases: na primeira, uma lista de possíveis atributos para definir a tomada de decisão, foi identificada no problema; então, o método MAUT foi aplicado para determinar como eram adequadas as alternativas para atender aos requisitos do problema, tendo em conta a incerteza e o risco;
- Liu e Yan (2007) utilizaram um modelo híbrido para lidar com o processo de licitação dos projetos de construção. Um conjunto de quatro candidatos foram selecionados para serem avaliados, de acordo com cinco critérios de desempenho: cotação, construção, competência da empresa, qualidade e cronograma. Assim, os métodos foram respectivamente, aplicados para calcular o vetor de prioridade e a classificação final das alternativas;
- Zayed, Amer e Pan (2008), com o objetivo de diminuir o risco inerente que os projetos de construção de estradas implicam, desenvolveram um modelo baseado na técnica AHP. O primeiro passo consistiu na captação de informação sobre as fontes de riscos e de incertezas, susceptíveis de afetarem o projeto de construção. Em seguida o sistema AHP foi utilizado para construir um modelo de avaliação, tendo como objetivo, determinar um índice de risco através da agregação de uma série de pesos de pontuação, anteriormente obtidos;
- Shapira e Goldenberg (2005) adaptaram o sistema do método AHP, para construir um modelo de seleção de equipamentos para projetos de construção. Sua hierarquia foi estruturada dividindo o problema em quatro critérios e dezoito subcritérios, que foram abordados de acordo com três perspectivas: avaliação de custo, avaliação de benefício e avaliação total.

## 4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa a ser utilizado e leva em consideração o objetivo principal do trabalho que consiste em propor um modelo de apoio à tomada de decisão, de modo a selecionar um sistema construtivo para construção de HIS. Apresenta o planejamento e o desenvolvimento da pesquisa.

### 4.1 Planejamento da pesquisa

Pesquisa científica é a realização planejada de uma investigação desenvolvida de acordo com as normas da metodologia científica. Esta metodologia consiste em um conjunto de etapas ordenadas a serem desenvolvidas na investigação de um fenômeno. Nas etapas a serem seguidas estão a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e tabulação de dados, a análise de resultados, a elaboração das conclusões e a divulgação dos resultados (SILVA, MENEZES, 2005).

Silva e Menezes (2005), afirmam que o planejamento de uma pesquisa se desenvolve em três fases:

- Fase decisória: consiste na escolha do tema e definição do problema de pesquisa com a sua delimitação;
- Fase construtiva: consiste na construção de um plano de pesquisa e a sua execução;
- Fase redacional: consiste na análise de dados e informações coletados na fase construtiva. É a organização sistematizada das ideias com o objetivo de elaborar o relatório de pesquisa que deve obedecer às formalidades acadêmicas.

O planejamento desta pesquisa é descrito com o detalhamento das fases de desenvolvimento deste estudo, desde o tema até o relatório final da pesquisa. As atividades estão distribuídas nas três fases que compõem uma pesquisa: decisória, construtiva e redacional.

Na fase decisória da pesquisa tem-se como primeira atividade a definição do tema de pesquisa: modelo de tomada de decisão para seleção de sistema construtivo para Habitação de Interesse Social (HIS). Este tema surgiu com a identificação da inexistência de processos de decisão sistematizados que utilize técnicas de decisão para apoiar a escolha de sistema construtivo voltado para HIS. As decisões no setor de Construção Civil são tomadas em sua maioria baseadas em experiências e intuições.

Com a escolha do tema ainda na fase decisória da pesquisa, definiu-se o problema com sua delimitação, onde a questão principal deste estudo é: como escolher qual o sistema

construtivo com o melhor desempenho para a construção de edificações destinadas para Habitação de Interesse Social (HIS)? A busca de soluções para a questão da pesquisa pode ocasionar uma maior satisfação dos futuros usuários, um melhor desempenho técnico e econômico do empreendimento e uma melhoria dos processos de decisão no setor de Construção Civil voltado para HIS.

Na fase construtiva foi elaborado o projeto de pesquisa após a escolha do tema e a definição do problema. O projeto mostra a proposta de estudo a ser realizada na solução da questão de pesquisa e desenvolveu-se de acordo com a metodologia científica. Segundo Silva e Menezes (2005), pesquisar quer dizer buscar respostas para perguntas propostas. E pesquisa é um conjunto de ações apresentadas para solucionar um problema tendo como bases, procedimentos racionais e sistemáticos.

Na fase redacional da pesquisa fez-se a análise dos dados e a elaboração do relatório. O relatório de pesquisa é a etapa conclusiva da fase redacional, baseia-se nas normas que regulamentam os textos científicos e atende às formalidades exigidas.

## **4.2 Etapas da pesquisa**

A escolha do sistema construtivo é uma decisão que terá influência ao longo de toda a vida útil da edificação. A sua definição ainda na fase de projeto poderá ocasionar adaptações nas dimensões, funções e formas do produto que está sendo projetado. Quanto ao período de uso e ocupação do imóvel, o sistema construtivo é decisivo em relação à apropriação da tecnologia construtiva pelo futuro proprietário em relação à manutenção do imóvel e às melhorias como adaptações, ampliações e reformas.

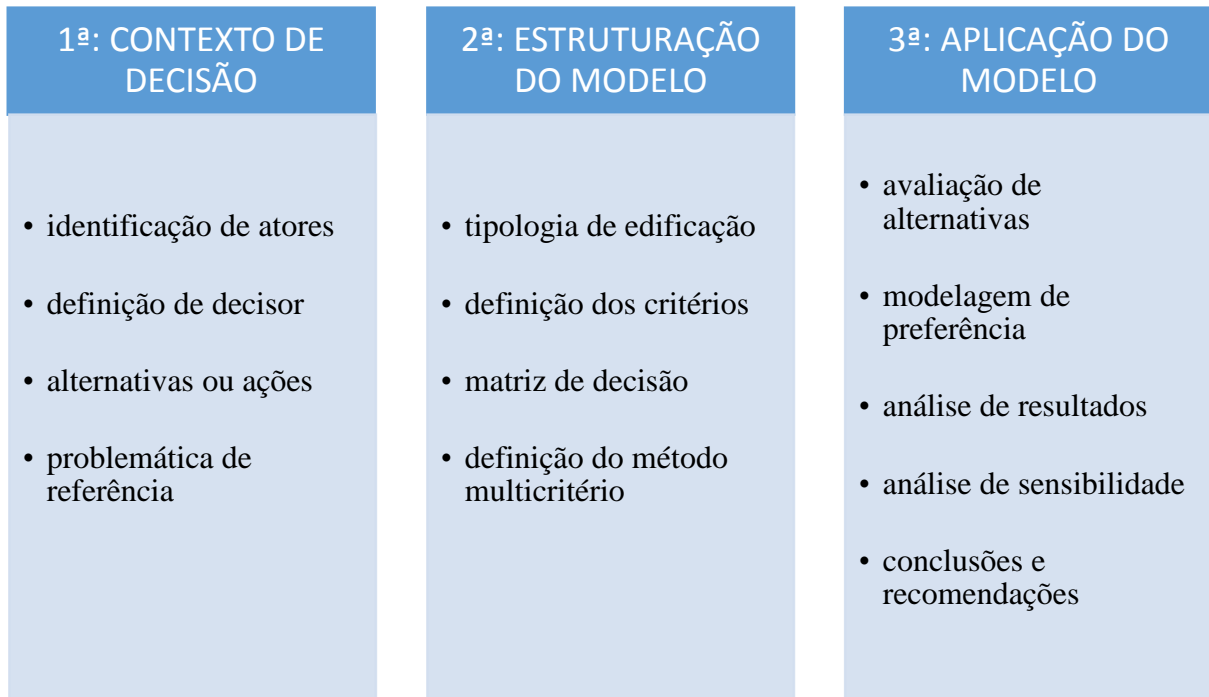
Na elaboração do modelo multicritério utilizou-se a revisão bibliográfica por meio de consultas em artigos, periódicos, teses, dissertações e livros, que tratam da teoria e aplicação de modelos multicritérios de decisão. A pesquisa buscou identificar os métodos multicritérios, os tipos de problemas, as alternativas e os critérios utilizados no desenvolvimento de modelos.

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2002), modelo é uma representação abstrata ou uma imitação da realidade, que permite compreender e manuseá-lo diante da indisponibilidade para estudo ou experimentação do sistema real. O objetivo do modelo multicritério a ser desenvolvido neste estudo é apoiar e conduzir os tomadores de decisão, auxiliando-os na escolha de sistemas construtivos voltados para HIS, em função de suas preferências de acordo com os critérios definidos e as alternativas de sistemas construtivos.



A pesquisa desenvolve-se em três etapas: definição do contexto de decisão, estruturação do modelo multicritério e aplicação do modelo, como mostra a figura 4.1.

Figura 4.1 – Etapas da pesquisa.



Fonte – Elaborado pelo autor baseado em Gomes, Araya e Carignano (2004).

A primeira etapa da pesquisa buscou identificar o contexto de decisão em que o problema está inserido. Destacou-se os elementos a serem definidos no início do processo de apoio à decisão, onde definiu-se os atores, a escolha de decisores, a definição das ações e o tipo de problemática de referência.

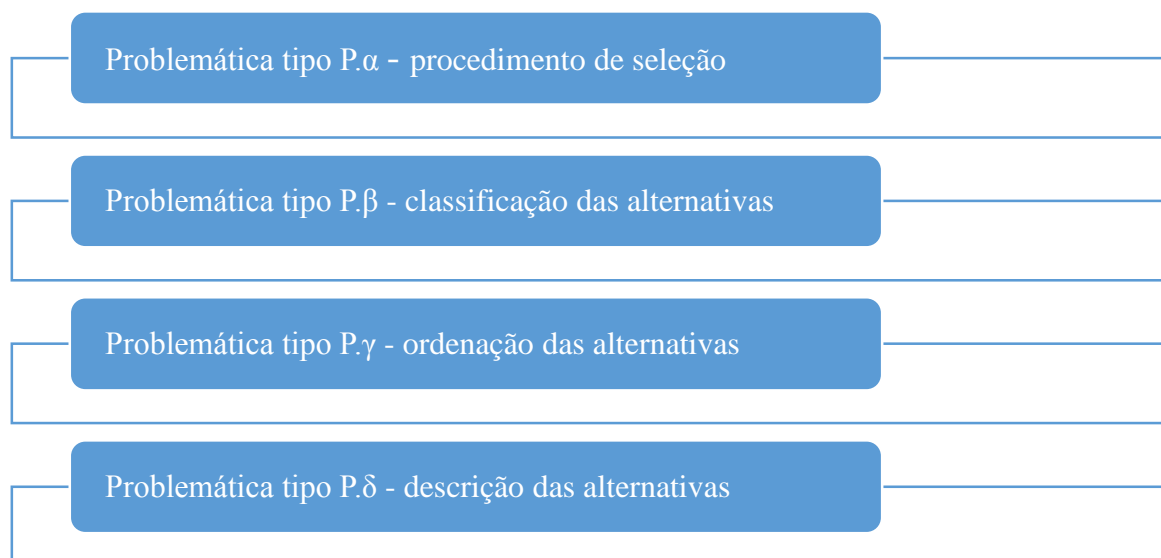
Os atores são os envolvidos de forma direta ou indireta no processo de decisão e que estão interessados no resultado da decisão. Podem ser pessoas, conjunto de pessoas ou instituições. Neste estudo os atores são os especialistas, instituições, empresas, engenheiros, empresários e consultores que participam do processo decisório.

O decisor é o indivíduo ou grupo de indivíduos que emite juízo de valor, que são informações subjetivas de acordo com as preferências internas do decisor para avaliar as alternativas consideradas. O decisor escolhido neste trabalho é um engenheiro especialista com experiência na construção de edificações destinadas à Habitações de Interesse Social (HIS) com a mesma tipologia definida na pesquisa e que ocupa a função de diretor em uma construtora na cidade de Fortaleza-Ceará.

As ações ou alternativas consideradas no problema de decisão são as opções disponíveis para escolha do decisor, que podem estar inclusas na solução do problema de decisão. Realizou-se um levantamento dos sistemas construtivos mais utilizados para HIS pelas empresas de Construção Civil que atuam neste segmento de mercado, onde identificou-se seis sistemas construtivos que foram considerados inicialmente neste estudo como alternativas de decisão.

Nos problemas de apoio multicritério à decisão, conforme a figura 4.2 tem-se quatro tipos de problemáticas de acordo com o resultado que se deseja obter. O tipo de problemática de referência deste estudo é do tipo  $P.\gamma$ , que tem como objetivo gerar um procedimento de ordenação das alternativas consideradas.

Figura 4.2 – Tipos de problemática.



Fonte – Elaborado pelo autor baseado em Gomes, Gomes e Almeida (2002).

Na segunda etapa da pesquisa desenvolve-se a estruturação do modelo multicritério de apoio à decisão para seleção de sistema construtivo destinado à HIS. Observa-se que duas tipologias são empregadas para HIS:

- a) edificações residenciais unifamiliares, formadas por unidades habitacionais horizontais do tipo casas térreas, destinadas à moradia de uma única família;
- b) edificações residenciais multifamiliares, que se constituem em habitações verticalizadas, com mais de um pavimento, destinadas à moradia de várias famílias.

Define-se como tipologia neste estudo, as edificações residenciais multifamiliares construídas em blocos de apartamentos, com pavimento térreo mais três superiores, sendo quatro apartamentos por andar, o que totaliza dezesseis unidades habitacionais por bloco.

Ao considerar a tipologia de edificação definida como objeto deste estudo, verifica-se que apenas quatro sistemas construtivos dos seis sistemas identificados para HIS, são utilizados efetivamente para obras verticais. Desconsidera-se dois sistemas construtivos que ainda não são utilizados no Brasil para obras verticalizadas de HIS, *wood frame* e painéis de alvenaria com concreto armado.

A definição dos critérios é a base de fundamentação da avaliação e julgamento de valor das alternativas pelo decisor. É uma fase importante na estruturação do modelo multicritério, pois reflete as preferências do tomador de decisão e permite a comparação entre as alternativas. Os critérios de decisão considerados na formulação do modelo, foram escolhidos e captados baseados na revisão de literatura e na consulta à especialistas. Para a escolha do sistema construtivo deve-se considerar os critérios que são significativos para cada tipologia de edificação. O quadro 4.1 mostra o levantamento inicial dos critérios dentre os principais aspectos gerais: econômico; técnico; ambiental e de segurança.

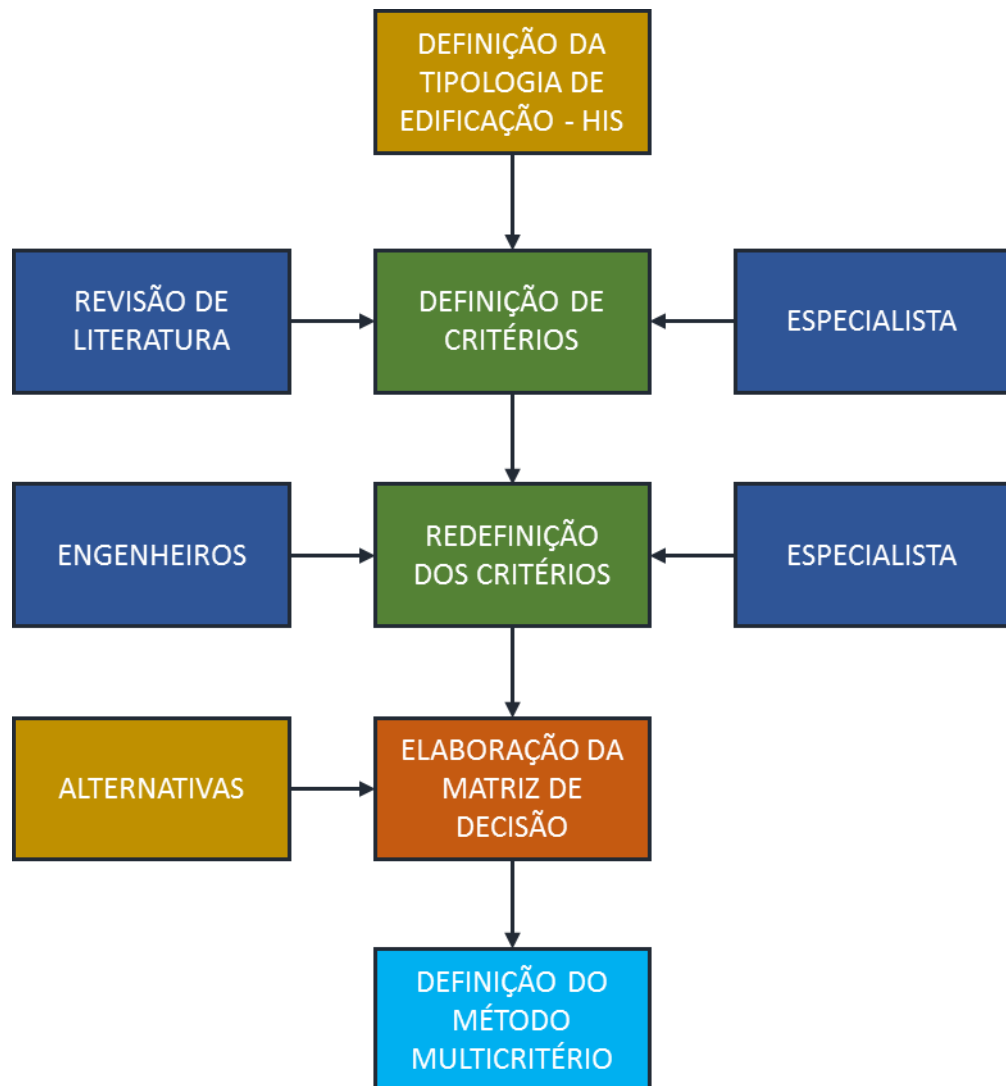
Quadro 4.1 - Critérios para seleção de sistema construtivo para HIS.

<b>ECONÔMICO</b>	<b>TÉCNICO</b>	<b>SEGURANÇA</b>	<b>AMBIENTAL</b>
Custo total	Equipamentos	Estrutural	Volume de resíduos
Produtividade	Fornecedores	Funcional	Reciclagem
Tempo de execução	Logística	Intempéries	Consumo de energia
Custo mão de obra	Construtibilidade	Ao fogo	Recursos naturais
Manutenção	Qualidade	Salubridade	Sustentabilidade
Vida útil	Tecnologia	Fenômenos naturais	
Taxa interna de retorno (TIR)	Qualificação profissional		
Valor presente líquido (VPL)	Desempenho do sistema construtivo		
	Projetos		
	Térmico		
	Acústico		
	Racionalização		
	Flexibilidade		

Fonte - Elaborado pelo autor.

Na estruturação do modelo para apoiar a seleção de sistema construtivo para HIS, selecionou-se inicialmente oito critérios que foram considerados relevantes para avaliação das alternativas de decisão pelos especialistas. Através de sugestões, observações e críticas apresentadas por especialistas e engenheiros durante a estruturação do modelo, fez-se adaptações e melhorias no modelo e os critérios foram redefinidos de oito para seis critérios. A figura 4.3 detalha a segunda etapa da pesquisa que consiste na estruturação do modelo.

Figura 4.3 – Estruturação do modelo.



Fonte – Elaborado pelo autor.

Com as alternativas de sistemas construtivos para a tipologia de HIS deste estudo e os critérios de avaliação das alternativas, elaborou-se a matriz de decisão também denominada de matriz de consequências ou matriz de avaliação. A matriz de decisão estruturada no problema multicritério desta pesquisa foi tabulada inicialmente com seis alternativas de

sistemas construtivos e oito critérios. Com a atualização do modelo a matriz ficou definida com quatro sistemas construtivos e seis critérios de decisão.

O método multicritério a ser empregado foi definido de acordo com as características apresentadas pelo problema de decisão. Utilizou-se o método PROMETHEE II da escola francesa, que faz parte dos métodos de superação. Levou-se em consideração o tipo de problemática abordada que é de ordenação das alternativas e as informações intercritérios e intracritérios.

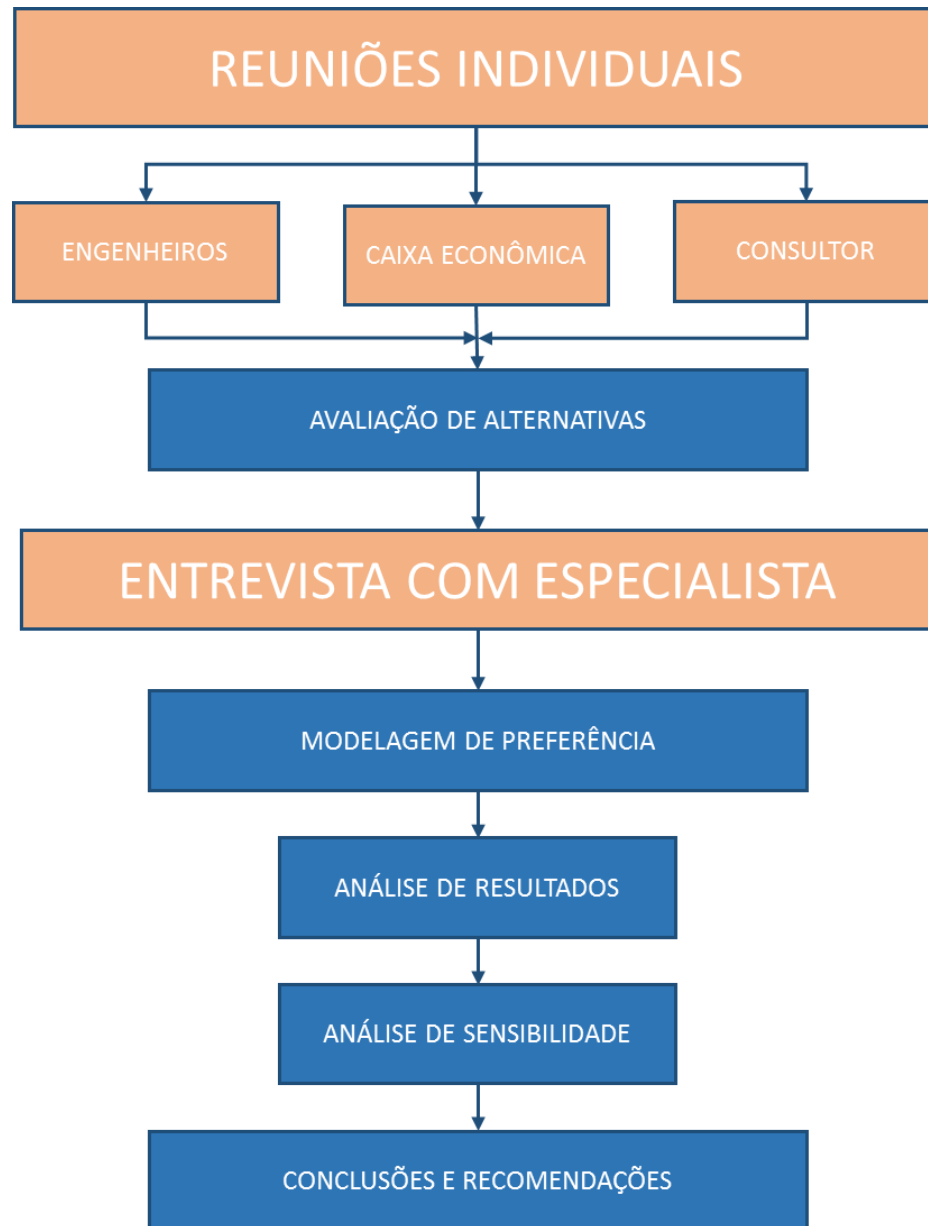
A definição do método multicritério a ser utilizado para apoiar a decisão depende das características do tipo de problema analisado, da contextualização em que está inserido, dos atores considerados, da formatação dos critérios, da modelagem de preferência e de como pretende-se obter a resposta desejada.

O método multicritério para apoiar o processo de decisão é uma escolha do analista e depende do seu conhecimento e experiência. Deve-se buscar o método mais apropriado às características do problema em questão. Hoje tem-se uma variedade de métodos multicritérios, cujo objetivo é o apoio à decisão para os vários tipos de problemáticas de referência existentes. Os métodos de sobreclassificação estão organizadas em famílias de métodos.

O objetivo principal desta pesquisa é propor um modelo de apoio à tomada de decisão para avaliar e ordenar sistemas construtivos para construção de Habitações de Interesse Social - HIS. Considerou-se neste estudo quatro sistemas construtivos já utilizados para HIS, dentre as alternativas potenciais no modelo de decisão. Como o objetivo é a solução de um problema de ordenação das alternativas, escolheu-se o método PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) pertencente a uma família de métodos da escola francesa de Apoio Multicritério à Decisão, que foi desenvolvido para tratar de problemas multicritérios discretos e solucionar problemas do tipo P.γ de ordenação. Este método permite obter-se como resultado uma pré-ordem completa e não admite a incomparabilidade entre as alternativas, dispondo-as em uma ordenação hierárquica.

A terceira etapa da pesquisa consiste na aplicação do modelo e está detalhada na figura 4.4. A matriz de decisão possui quatro alternativas de sistemas construtivos para HIS e seis critérios de decisão. As avaliações das alternativas em relação aos critérios, realizaram-se por meio de entrevistas com os engenheiros construtores, que têm experiências na execução de sistemas construtivos das alternativas e com o apoio da Gerência de Habitação CEF na cidade de Fortaleza. As informações foram coletadas através de reuniões individuais com os profissionais especialistas e com a realização de visitas técnicas.

Figura 4.4 – Aplicação do modelo.



Fonte – Elaborado pelo autor.

Após o preenchimento da matriz de decisão pelos profissionais consultados, aplicou-se o método multicritério de decisão PROMETHEE II, com o objetivo de buscar uma solução para a problemática do tipo P.γ e fazer a ordenação das alternativas.

O decisor é um engenheiro civil proprietário de uma construtora e exerce a função administrativa de Diretor. Realizou-se a atribuição dos pesos para os critérios e a modelagem de preferência, através da realização de duas entrevistas com o agente de decisão. Os pesos atribuídos demonstram a importância relativa dos critérios e expressam as preferências do tomador de decisão, que define os maiores pesos aos critérios que julgar mais importantes.

Elaborou-se as funções de preferências para cada um dos critérios, baseadas nas preferências do decisor. Calculou-se os índices de preferências e os fluxos de superação positivos, negativos e netos, para cada alternativa. Com isso, realizou-se a ordenação total das alternativas de sistemas construtivos.

Após a aplicação do método multicritério PROMETHEE II, realizou-se a análise de sensibilidade por meio da variação dos pesos atribuídos aos critérios. O objetivo é verificar o comportamento dos resultados encontrados, perante a variação dos índices característicos do método e verificar a influência nos resultados.

Com a análise de sensibilidade e dos resultados, elaboraram-se as conclusões e recomendações, tendo como objetivo apoiar a tomada de decisão sob o enfoque multicritério para seleção de sistema construtivo voltado para HIS. A metodologia multicritério de apoio à decisão não objetiva encontrar uma única solução para o problema e designar a melhor. O propósito é apoiar o processo de decisão e indicar ao decisor um conjunto de ações e recomendações na busca da solução do problema.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo tem como objetivo apresentar o modelo proposto para apoiar a tomada de decisão para seleção de um sistema construtivo destinado à HIS. Realizou-se a aplicação numérica do modelo com a utilização de um método multicritério discreto, no qual tem-se uma quantidade finita de alternativas consideradas no problema. O capítulo apresenta as considerações e conclusões sobre a aplicação do modelo com base nos resultados encontrados.

### **5.1 Método de decisão**

#### ***5.1.1 Identificação da problemática***

Nos problemas de apoio à decisão multicritério é necessário identificar a problemática de referência abordada, de acordo com o objetivo desejado para esclarecer a decisão e como o resultado será apresentado. O resultado pretendido pode ser a seleção, classificação, ordenação ou a descrição das alternativas potenciais.

O tipo de problemática deve ser identificado pelo analista e norteará a escolha do método multicritério de apoio à decisão. O presente estudo ajusta-se à problemática de ordenação e o resultado pretendido é um procedimento de hierarquização das alternativas dos sistemas construtivos considerados na pesquisa.

Definiu-se a problemática de ordenação das alternativas consideradas no modelo, pela necessidade de se ter como objetivo o esclarecimento da decisão pelo arranjo das ações da mais satisfatória à menos satisfatória. Baseia-se nas preferências do agente de decisão em relação aos critérios de avaliação e considera-se que como todos os sistemas construtivos são empregados na construção de HIS. Isso gera a necessidade de estabelecer uma ordem decrescente das alternativas em relação à satisfação.

#### ***5.1.2 Tipologia da edificação***

Verificou-se que as tipologias de edificações utilizadas na construção de HIS são as residências unifamiliares constituídas por casas e as multifamiliares, edificações verticalizadas de blocos de apartamentos com até quatro pavimentos.

A tipologia escolhida neste estudo é a residencial multifamiliar, pois no mercado observa-se uma maior quantidade de empreendimentos para HIS com essa tipologia. Isso



permite um maior número de unidades habitacionais por área ocupada de terreno, o que minimiza os custos com infraestrutura e aquisição de terreno. Verifica-se também, uma redução na área total de coberta, fundações e um melhor aproveitamento das instalações prediais, o que favorece a diminuição dos custos finais dos empreendimentos dessa categoria.

As construções verticalizadas multifamiliares apresentam um maior desafio na seleção de um sistema construtivo do que as edificações térreas unifamiliares. Os seus aspectos técnicos, administrativos, de segurança e de economia são mais complexos e exige-se uma análise mais detalhada no processo de tomada de decisão referente à escolha do sistema construtivo a ser utilizado. Dessa forma, constitui-se em cenários apropriados para a utilização de metodologias de apoio multicritério à decisão.

A edificação considerada neste estudo é um bloco de apartamentos destinado à HIS com quatro pavimentos, sendo um térreo e três superiores, constando de quatro apartamentos de 47,30 m<sup>2</sup> por pavimento e perfazendo dezesseis apartamentos por bloco.

## **5.2 Resultados do modelo**

### ***5.2.1 Identificação dos atores***

O processo de decisão para seleção de um sistema construtivo destinado à HIS pode envolver vários atores, que influenciam a decisão através do seu juízo de valor utilizado na avaliação das alternativas dos sistemas construtivos. Os atores são pessoas, instituições ou conjunto de pessoas, que estão interessadas no resultado da decisão e estão envolvidas de forma direta ou indireta no que for decidido.

Dentre os atores que participam do processo de decisão tem-se: Engenheiros Civis com experiência construtiva nos sistemas construtivos utilizados no modelo, que fizeram as avaliações das alternativas potenciais; Gerência de Habitação / Fortaleza da Caixa Econômica Federal (CEF) e um consultor da área de acústica que contribuiu com informações sobre sua especialidade no critério de isolamento acústico.

A modelagem de preferência, a atribuição de pesos aos critérios de avaliação das alternativas e a definição das escalas numéricas empregadas na conversão das escalas verbais das avaliações, foram realizadas por um decisor que é engenheiro civil exercendo a função Diretor de uma construtora que constrói blocos de apartamentos destinados à HIS, financiados pela CEF para aquisição dos usuários.

Ao longo do processo de tomada de decisão os atores nos seus vários papéis contribuem com importantes informações a nível de avaliações e decisões. No desenvolvimento do modelo de seleção para sistema construtivo voltado para HIS deste estudo, os atores influenciaram na configuração do modelo a nível da avaliação das alternativas segundo os critérios apresentados, mas também houve influência na redefinição de alguns critérios ao longo do processo. Portanto, observou-se o aprendizado e o aprimoramento ao longo do processo de decisão.

### **5.2.2 Alternativas de decisão**

A definição do conjunto de alternativas para escolha do agente de decisão, constitui-se das opções disponíveis de sistemas construtivos usados para HIS. Podem ser definidas no início ou ao longo do processo de decisão e integrar a solução do problema.

Identificou-se inicialmente seis sistemas construtivos, porém, dois deles foram descartados do modelo, *wood frame* e painéis de alvenaria com concreto armado, por ainda não serem utilizados no Brasil para a tipologia de obra considerada neste estudo, ou seja, edificações multifamiliares verticalizadas.

Assim, considerou-se o seguinte conjunto de sistemas construtivos para HIS referentes às alternativas do processo de decisão:

- alvenaria tradicional - sistema construtivo convencional que utiliza elementos de concreto armado para estruturação e sustentação das edificações verticalizadas, com paredes de fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos ou de concreto. Emprega elementos estruturais como fundações, pilares, vigas e lajes e está fundamentada na produção artesanal com o uso intensivo de mão de obra, reduzida mecanização e elevado desperdício;
- alvenaria estrutural - a definição de sistema construtivo em alvenaria estrutural, consiste em um sistema onde se utilizam as paredes da edificação para receber as cargas o que substitui a estrutura de sustentação formada por pilares e vigas;
- paredes de concreto - sistema construtivo com paredes de concreto utilizado para construção com até cinco pavimentos, sendo formado por paredes estruturais maciças de concreto moldadas na obra e armadas com telas metálicas;

- *steel frame* - constitui-se em um sistema industrializado de construção à seco formado por painéis estruturais de perfis em aço galvanizado e placas de OSB, cimentícias e de gesso, usadas no fechamento dos painéis.

### 5.2.3 Definição dos critérios

Os critérios são empregados para avaliação do conjunto de alternativas e manifesta as preferências do decisor na análise das dimensões do problema, por meio da expressão do juízo de valor. Os critérios podem ser quantitativos ou qualitativos.

Definiu-se inicialmente oito critérios com o auxílio de especialistas, porém ao longo do processo de decisão foram reduzidos à seis critérios de avaliação das alternativas referentes aos sistemas construtivos destinados à HIS. Os seis critérios são os seguintes:

#### **Custo de MDO/material:**

Refere-se ao custo da mão de obra e dos materiais necessários por metro quadrado de área construída de edificação, para cada sistema construtivo que integra as alternativa no modelo de decisão. É um critério quantitativo e de fácil mensuração, sendo expresso de forma numérica em valores monetários por m<sup>2</sup>. Permite-se uma comparação objetiva entre os valores atribuídos às avaliações das alternativas e o objetivo de satisfação é de minimização dos valores atribuídos aos sistemas construtivos. O custo é considerado um dos mais importantes parâmetros de análise na indústria da Construção Civil.

#### **Produtividade por homem:**

Esse critério expressa a produtividade média por dia de um operário e tem como objetivo a sua maximização, pois assim, gera melhores resultados no desempenho do sistema construtivo para HIS. Pode-se medir de forma objetiva mediante valores numéricos em metros quadrados por dia de serviço. Influencia diretamente no tempo de execução da obra e constitui juntamente com os custos, os fatores considerados mais importantes pelos gestores por sua interferência direta nos resultados financeiros do empreendimento.

### Satisfação com fornecedor:

A cadeia produtiva no setor de Construção Civil é determinante para o sucesso de um empreendimento. A relação de satisfação com o fornecedor é um critério que a cada dia assume uma relevância para o bom desempenho de uma obra e tem como objetivo a sua maximização. Esse critério é do tipo qualitativo de análise subjetiva e não quantificável. Adotou-se uma escala verbal de avaliação das alternativas e considerou-se os níveis de preferências do decisor de acordo com a tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério satisfação com fornecedor.

<b>Escala verbal</b>	<b>Definição</b>
Excelente	Alternativa com fornecedor que proporciona uma alta satisfação
Boa	Alternativa com fornecedor que gera uma boa satisfação
Regular	Fornecedor com proporção semelhante de problemas e satisfação
Razoável	Fornecedor com mais problemas do que satisfação
Ruim	Alternativa com fornecedor que só proporciona problemas

Fonte - Elaborada pelo autor.

### Resíduos gerados:

O critério resíduos gerados serve para o decisor avaliar o volume de resíduos produzidos na obra executada com uma das alternativas dos sistemas construtivos destinados à HIS. Os tipos de resíduos são resultantes de materiais diversos usados no canteiro de obra, como por exemplo, resíduos de tijolos, telhas, argamassas, madeiras e cerâmicas. São de difícil medição e requer uma análise subjetiva por ser um critério qualitativo, onde utilizou-se uma escala verbal para sua avaliação apresentada na tabela 5.2. Os resíduos representam desperdícios de recursos nas obras e ocasionam problemas ambientais no bota-fora para sua destinação final e despesas indesejáveis com a remoção, transportes e deposição. Portanto, é um critério onde tem-se como objetivo de satisfação a sua minimização.

Tabela 5.2 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério resíduos gerados.

<b>Escala verbal</b>	<b>Definição</b>
Alto	Alternativa com um volume elevado de resíduos gerados
Médio	Alternativa com um médio volume de resíduos gerados
Regular	Alternativa com resíduos gerados entre baixo e médio
Baixo	Alternativa com poucos resíduos gerados
Baixíssimo	Alternativa com muito poucos resíduos gerados

Fonte - Elaborada pelo autor.

### **Isolamento térmico:**

Esse critério permite ao decisor avaliar a satisfação que as alternativas dos sistemas construtivos para HIS propiciam em termos de conforto térmico. O nível de isolamento térmico nas edificações traduz a qualidade das condições de habitabilidade e o desempenho térmico dos sistemas construtivos, o que garante o bem estar para seus usuários. É um critério com objetivo de maximização e usou-se uma escala verbal para traduzir a sua análise subjetiva, conforme a tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério isolamento térmico.

<b>Escala verbal</b>	<b>Definição</b>
Excelente	Alternativa com alto isolamento e alto nível de conforto térmico
Muito bom	Alternativa com bom nível de isolamento e de conforto térmico
Bom	Alternativa com isolamento e conforto térmico satisfatórios
Regular	Alternativa com isolamento e conforto térmico deficitários
Ruim	Alternativa com pouco isolamento e baixo nível de conforto térmico

Fonte - Elaborada pelo autor.

- **Isolamento acústico:**

Esse critério permite ao decisor avaliar a satisfação que as alternativas de sistemas construtivos para HIS proporcionam em termos de conforto acústico. O nível de isolamento acústico nas edificações traduz-se pelo conforto ao evitar a propagação das ondas sonoras, o que gera um bom desempenho dos sistemas construtivos e garante o bem estar de seus usuários.

É um critério com objetivo de maximização e utilizou-se uma escala verbal para traduzir a sua análise subjetiva, conforme a tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Níveis da escala verbal utilizada para o critério isolamento acústico.

<b>Escala verbal</b>	<b>Definição</b>
Excelente	Alternativa com alto isolamento e alto nível de conforto acústico
Muito bom	Alternativa com bom nível de isolamento e de conforto acústico
Bom	Alternativa com isolamento e conforto acústico satisfatórios
Regular	Alternativa com isolamento e conforto acústico deficitários
Ruim	Alternativa com pouco isolamento e baixo nível de conforto acústico

Fonte - Elaborada pelo autor.

#### 5.2.4 Matriz de avaliação

A matriz de decisão ou de avaliação é uma matriz onde tem-se a avaliação das alternativas dos sistemas construtivos para HIS, em relação aos critérios de decisão considerados. As avaliações expressam os desempenhos das alternativas para cada critério.

Representou-se as alternativas deste modelo de decisão por meio de uma legenda formada pela letra “A” com índices numerados (tabela 5.5). Os critérios foram legendados conforme a tabela 5.6. Utiliza-se esses códigos de legendas com o objetivo de simplificar e facilitar a representação das matrizes a serem apresentadas.

Tabela 5.5 – Legendas de alternativas.

<b>Legenda</b>	<b>Alternativas</b>
A1	Sistema construtivo em alvenaria tradicional
A2	Sistema construtivo em alvenaria estrutural
A3	Sistema construtivo com paredes de concreto
A4	Sistema construtivo <i>steel frame</i>

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.6 – Legendas dos critérios.

<b>Legenda</b>	<b>Crítérios</b>
C1	Custo de mão de obra e material
C2	Produtividade por homem
C3	Satisfação com fornecedor
C4	Resíduos gerados
C5	Isolamento térmico
C6	Isolamento acústico

Fonte - Elaborada pelo autor.

Os critérios C1 (custo de mão de obra e material) e C2 (produtividade por homem) são bem objetivos com seus valores expressos em quantia monetária por m<sup>2</sup> e em m<sup>2</sup> por dia, respectivamente. Os outros quatro critérios apresentam uma natureza mais subjetiva de difícil medição, razão pela qual utilizou-se uma escala verbal de comparação já definida nas tabelas apresentadas na definição dos critérios.

Elaborou-se a matriz de avaliação das alternativas segundo os critérios definidos, conforme a tabela 5.7, formulada com os desempenhos de cada alternativa para cada um dos critérios. As avaliações dos desempenhos são quantitativas ou qualitativas em função da natureza do critério reportado.

Tabela 5.7 – Matriz de avaliação dos sistemas construtivos para HIS.

<b>Alternativas</b>	<b>Crítérios</b>					
	<b>C1 R\$/m<sup>2</sup></b>	<b>C2 m<sup>2</sup>/dia</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>A1</b>	1.694,00	12,0	Razoável	Alto	Bom	Bom
<b>A2</b>	1.355,00	8,4	Boa	Médio	Bom	Bom
<b>A3</b>	1.420,00	20,0	Regular	Baixo	Regular	Muito bom
<b>A4</b>	1.907,00	20,0	Boa	Baixíssimo	Excelente	Excelente

Fonte - Elaborada pelo autor.

### **5.2.5 Modelagem de preferência**

Realizou-se a modelagem de preferência através de entrevista com o agente de decisão, tendo como objetivo identificar as preferências do decisor ao comparar duas alternativas. Necessita-se das informações intercritério e intracritério que são definidas pelo

tomador de decisão. O decisor é um Engenheiro Civil com considerável experiência e que ocupa o cargo de Diretor em uma construtora que realiza obras verticalizadas destinadas à HIS.

A informação intercritério consiste na atribuição de pesos dados aos critérios pelo decisor, de acordo com as suas preferências, e expressam a importância relativa dos critérios de avaliação. Os maiores pesos são atribuídos aos critérios que o decisor considerar mais importantes.

As informações intracritérios para o PROMETHEE II, definido como o método multicritério para apoiar o processo de decisão neste estudo, traduzem as preferências do decisor através das funções de preferência relativa, também denominadas de critérios generalizados relativos. O tipo de função de preferência relativa para cada critério é uma escolha do decisor, juntamente com a definição dos parâmetros que forem necessários.

As funções de preferência relativa com os parâmetros de indiferença (**q**) e de preferência (**p**) quando necessários, mais os pesos atribuídos aos critérios, formam a modelagem de preferência do decisor para cada critério e estão definidos na tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Modelagem de preferência do agente de decisão para o PROMETHEE II.

<b>Critério</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Função</b>	<b>q</b>	<b>p</b>	<b>Peso</b>
C1. Custo MDO/material	Minimizar	Tipo II	50	-	0,24
C2. Produtividade por homem	Maximizar	Tipo I	0	1	0,22
C3. Satisfação com fornecedor	Maximizar	Tipo IV	1	2	0,20
C4. Resíduos gerados	Minimizar	Tipo II	2	-	0,07
C5. Isolamento térmico	Maximizar	Tipo II	3	-	0,17
C6. Isolamento acústico	Maximizar	Tipo II	3	-	0,10

Fonte - Elaborada pelo autor.

Observa-se que dois critérios têm como objetivo a minimização das suas avaliações, para serem considerados de melhor desempenho, o custo de mão de obra/material e o de resíduos gerados. Os demais critérios proporcionam uma melhor satisfação com a maximização dos seus desempenhos.

Em relação às funções de preferência relativa o decisor optou por três tipos: tipo I conhecida “como critério” usual no critério C2 com o limite de indiferença “q” igual a zero e o limite de preferência “p” igual a um; função tipo II chamada de “quase-critério” com os limites de indiferenças “q” definidos para cada um dos critérios C1, C4, C5 e C6 de acordo com a



preferência do decisor e a função do tipo IV conhecida como “critério de nível” para o critério C3, com “q” igual a um e “p” igual a dois.

Os pesos atribuídos pelo agente de decisão aos critérios estão normalizados. O decisor considerou os critérios mais importantes os três primeiros, C1, C2 e C3, ligados à custo, produtividade e fornecedor, respectivamente, aos quais atribuiu os maiores pesos na avaliação intercritério. O critério menos importante na preferência do tomador de decisão foi o critério C4 (resíduos gerados), ao qual deu o menor peso.

### 5.2.6 Aplicação do método PROMETHEE II

O método multicritério PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) é um método de superação pertencente à escola francesa. Utiliza-se para resolver problemas de ordenação e para obter-se uma pré-ordem total das alternativas, pois esse método não admite a relação de incomparabilidade entre as ações.

A sua aplicação inicia-se com a matriz de avaliação apresentada na tabela 5.7, onde têm-se as avaliações das quatro alternativas em relação aos seis critérios considerados no modelo. Requer ainda, os pesos relativos para cada critério e as definições dos tipos de pseudocritérios ou funções de preferência relativa, conforme a tabela 5.8.

É necessário converter as escalas verbais, usadas para as avaliações subjetiva dos critérios, em escalas numéricas. O decisor de acordo com o seu entendimento definiu os valores numéricos para conversão dos conceitos verbais (tabelas 5.9; 5.10; 5.11).

Tabela 5.9 – Conversão de escala: critério satisfação com fornecedor.

Escala verbal	Escala numérica
Excelente	10
Boa	8
Regular	7
Razoável	5
Ruim	0

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.10 – Conversão de escala: critério resíduos gerados.

Escala verbal	Escala numérica
Alto	0
Médio	5
Regular	6
Baixo	7,5
Baixíssimo	10

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.11 – Conversão de escala: critérios isolamento térmico e acústico.

Escala verbal	Escala numérica
Excelente	10
Muito bom	9
Bom	7
Regular	5
Ruim	0

Fonte - Elaborada pelo autor.

A matriz de avaliação apresenta agora, os seguintes valores de desempenho (tabela 5.12) ao fazer-se as substituições das escalas verbais pelos valores das escalas numéricas, conforme as tabelas de conversões de escalas dos critérios vistas anteriormente.

Tabela 5.12 – Matriz de avaliação numérica dos sistemas construtivos para HIS.

Alternativas	Critérios					
	C1 R\$/m <sup>2</sup>	C2 m <sup>2</sup> /dia	C3	C4	C5	C6
A1	1.694,00	12,0	5	0	7	7
A2	1.355,00	8,4	8	5	7	7
A3	1.420,00	20,0	7	7,5	5	9
A4	1.907,00	20,0	8	10	10	10

Fonte - Elaborada pelo autor.

Na aplicação do método multicritério PROMETHEE, deve-se calcular a diferença de desempenho ( $\delta_{ik}$ ) entre todas as avaliações das alternativas  $x_i$  e  $x_k$  para cada critério  $j$ , onde uma alternativa supera a outra ( $x_i S x_k$ ). Utiliza-se para o cálculo das diferenças de desempenhos

a expressão em módulo expressa pela equação 3.1, onde os dois termos da operação diferença são as avaliações das duas alternativas consideradas. Essas diferenças estão calculadas nas tabelas 5.13 à 5.18, para cada um dos seis critérios do modelo. Apresenta-se as diferenças para cada par de alternativas onde há superação.

Tabela 5.13 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C1.

<b>C1(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	–	–	$\delta_{14} = 213$
<b>A2</b>	$\delta_{21} = 339$	–	$\delta_{23} = 65$	$\delta_{24} = 552$
<b>A3</b>	$\delta_{31} = 274$	–	–	$\delta_{34} = 487$
<b>A4</b>	–	–	–	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.14 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C2.

<b>C2(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	$\delta_{12} = 3,6$	–	–
<b>A2</b>	–	–	–	–
<b>A3</b>	$\delta_{31} = 8,0$	$\delta_{32} = 11,6$	–	$\delta_{34} = 0$
<b>A4</b>	$\delta_{41} = 8,0$	$\delta_{42} = 11,6$	$\delta_{43} = 0$	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.15 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C3.

<b>C3(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	–	–	–
<b>A2</b>	$\delta_{21} = 3$	–	$\delta_{23} = 1$	$\delta_{24} = 0$
<b>A3</b>	$\delta_{31} = 2$	–	–	–
<b>A4</b>	$\delta_{41} = 3$	$\delta_{42} = 0$	$\delta_{43} = 1$	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.16 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C4.

<b>C4(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	–	–	–
<b>A2</b>	$\delta_{21} = 5,0$	–	–	–
<b>A3</b>	$\delta_{31} = 7,5$	$\delta_{32} = 2,5$	–	–
<b>A4</b>	$\delta_{41} = 10,0$	$\delta_{42} = 5,0$	$\delta_{43} = 2,5$	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.17 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C5.

<b>C5(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	$\delta_{12} = 0$	$\delta_{13} = 2$	–
<b>A2</b>	$\delta_{21} = 0$	–	$\delta_{23} = 2$	–
<b>A3</b>	–	–	–	–
<b>A4</b>	$\delta_{41} = 3$	$\delta_{42} = 3$	$\delta_{43} = 5$	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.18 – Diferença  $\delta_{ik}$  da alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  para o critério C6.

<b>C6(<math>\delta_{ik}</math>)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>A1</b>	–	$\delta_{12} = 0$	–	–
<b>A2</b>	$\delta_{21} = 0$	–	–	–
<b>A3</b>	$\delta_{31} = 2$	$\delta_{32} = 2$	–	–
<b>A4</b>	$\delta_{41} = 3$	$\delta_{42} = 3$	$\delta_{43} = 1$	–

Fonte - Elaborada pelo autor.

Agora, calcula-se a função de preferência relativa para cada um dos critérios (tabela 5.19), conforme os parâmetros e os pesos definidos pelo agente de decisão da tabela 5.8 relativa à modelagem de preferência do decisor. Os pesos são normalizados, dividindo-se cada um pelo somatório total dos pesos.

Tabela 5.19 – Função de preferência relativa para cada critério.

Par de Alternativas	Critérios					
	C1 R\$/m <sup>2</sup>	C2 m <sup>2</sup> /dia	C3	C4	C5	C6
A1\A2	–	1	–	–	0	0
A1\A3	–	–	–	–	0	–
A1\A4	1	–	–	–	–	–
A2\A1	1	–	1	1	0	0
A2\A3	1	–	0	–	0	–
A2\A4	1	–	0	–	–	–
A3\A1	1	1	0,5	1	–	0
A3\A2	–	1	–	1	–	0
A3\A4	1	0	–	–	–	–
A4\A1	–	1	1	1	0	0
A4\A2	–	1	0	1	0	0
A4\A3	–	0	0	1	1	0
<b>Pesos</b>	10	9	8	3	7	4
Pesos normalizados	0,24	0,22	0,20	0,07	0,17	0,10

Fonte - Elaborada pelo autor.

Os detalhes das funções de preferência relativa, também denominadas de critérios generalizados, e os pesos determinados pelo decisor para cada critério de avaliação do modelo, utilizados nos cálculos dos valores da tabela 5.19, são mostrados a seguir:

#### **Critério C1 – Custo de MDO/material:**

Para esse critério de minimização o decisor indicou a função de preferência relativa do tipo II, com o parâmetro de indiferença ( $q$ ) igual a 50. Isso significa que se a diferença entre as avaliações das alternativas for menor ou igual à R\$ 50,00/m<sup>2</sup>, o decisor considera as alternativas indiferentes e representa-se a função pelo dígito 0 (zero). Caso a diferença seja maior do que R\$ 50,00/m<sup>2</sup>, tem-se uma preferência estrita pela alternativa de custo menor e representa-se a função pelo dígito 1. O decisor considerou o critério de custo como o mais importante e lhe atribuiu o maior peso no valor de 0,24 (já normalizado). Apresenta-se a equação da função de preferência do agente de decisão para o critério C1:

$$P_{\text{custo}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq 50 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > 50 \end{cases} \quad (5.1)$$

### **Critério C2 – Produtividade por homem:**

Nesse critério cujo objetivo é de maximização, a função de preferência relativa definida pelo agente de decisão é do tipo I, denominada de critério usual. Não há necessidade de definir-se parâmetros para o tipo I de critério generalizado. A escolha do decisor baseia-se na premissa de que qualquer diferença na produtividade tem um valor significativo e influencia a sua preferência. Na definição da função de preferência relativa, utiliza-se o dígito zero para a indiferença entre as alternativas de produtividade e o dígito 1, quando há diferença entre as alternativas, o que caracteriza uma preferência estrita pela alternativa com maior produtividade. Na atribuição dos pesos o agente de decisão considerou o critério produtividade como o segundo mais importante, dando-lhe como peso o valor de 0,22 (já normalizado). A sentença matemática que representa o critério generalizado do tipo I ou a equação da função de preferência do decisor para C2 definido pelo decisor, está representada a seguir:

$$P_{\text{produtividade}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} = 0 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} \neq 0 \end{cases} \quad (5.2)$$

### **Critério C3 – Satisfação com fornecedor:**

A função de preferência relativa do tipo IV que corresponde ao critério de nível, foi adotada pelo tomador de decisão para o critério satisfação com o fornecedor, que tem como objetivo a maximização desse critério. O decisor indicou um limiar de indiferença (q) igual a 1 e o limiar de preferência (p) igual a 2. Isso significa que se a diferença entre os valores das avaliações das alternativas for menor ou igual a 1, o decisor considera as alternativas indiferentes (dígito zero). Mas se a diferença das avaliações das alternativas for maior do que 1 e menor ou igual a 2, então gera um nível de preferência fraca (dígito 0,5). Porém, se a diferença das avaliações for maior do 2, tem-se uma preferência estrita (dígito 1). O decisor considerou este critério como o terceiro mais importante e definiu para seu peso o valor de 0,20. Representa-se a lei de formação dessa função de preferência definida por intervalos, pela equação da função de preferência do decisor para o critério C3:

$$P_{\text{satisf}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq 1 \\ 0,5 & \text{se } 1 < \delta_{ik} \leq 2 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > 2 \end{cases} \quad (5.3)$$

#### **Critério C4 – Resíduos gerados:**

No critério resíduos gerados, tem-se o objetivo de minimização. O agente de decisão escolheu a função de preferência relativa do tipo II para esse critério e definiu o valor 2 para o limiar de indiferença (q) da função, que é o parâmetro necessário. Caso a diferença entre as avaliações das alternativas seja menor ou igual a 2, tem-se uma situação de indiferença e representa-se a função de preferência com o dígito zero. Para uma diferença de avaliações maior do que 2, tem-se uma preferência estrita e usa-se o dígito 1 para representar a função de preferência relativa. O decisor considerou este critério como o de menor importância ao atribuir-lhe o menor peso com valor de 0,07. Representa-se a equação da função de preferência:

$$P_{\text{resíduos}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq 2 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > 2 \end{cases} \quad (5.4)$$

#### **Critério C5 – Isolamento térmico:**

Com o objetivo de maximizar o critério isolamento térmico, o decisor adotou o critério generalizado do tipo II para expressar a sua preferência, conhecido como quase-critério. Definiu como limiar de indiferença (q) o valor 3, que traduz o limite de indiferença para a diferença entre as avaliações das alternativas. Utiliza-se o dígito zero, como valor da função quando a diferença entre as avaliações é menor ou igual ao limiar 3. Usa-se o dígito 1 para diferenças maiores do que 3. O decisor considerou o critério isolamento térmico mais importante do que o isolamento acústico, pois lhe deu como peso o valor de 0,17 maior do que o peso atribuído ao acústico, de 0,10. A sentença matemática que define os valores da função de preferência ou critério generalizado do tipo II, são apresentados logo a seguir:

$$P_{\text{térmico}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq 3 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > 3 \end{cases} \quad (5.5)$$

### **Critério C6 – Isolamento acústico:**

Com referência ao critério isolamento acústico, o decisor definiu o mesmo critério generalizado do tipo II, que adotou para o critério de isolamento térmico com o mesmo limiar de indiferença no valor 3. Considerou esse critério como o segundo menos importante dentre os seis critérios de decisão, com um peso atribuído de 0,10. Ficou à frente apenas do critério de resíduos gerados. A equação da função de preferência para C6 é mostrada a seguir:

$$P_{\text{acústico}}(\delta_{ik}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \delta_{ik} \leq 3 \\ 1 & \text{se } \delta_{ik} > 3 \end{cases} \quad (5.6)$$

Após definir as funções de preferências relativas para todos os critérios, calcula-se os índices de preferências ( $s_{ik}$ ) entre as alternativas do modelo. Utiliza-se a fórmula que define o índice preferência dada na equação 3.3, onde,  $w_j$  representa os pesos definidos para os critérios e  $P(\delta_{ik})$  as funções de preferência.

Com os valores dos índices de preferências, encontram-se os fluxos de superação positivos ( $\phi_i^+$ ) e os fluxos de superação negativos ( $\phi_i^-$ ) referentes às alternativas  $x_i$ , pelas fórmulas definidas pela equação 3.4.

Na aplicação do método PROMETHEE II para resolução de problemas de ordenação, onde encontra-se como resultado uma pré-ordem completa, calcula-se o fluxo de superação neto ( $\phi_i$ ) para as alternativas, pela equação 3.5.

Os índices de preferências, os fluxos de superação positivos, negativos e os fluxos netos calculados, estão organizados na tabela 5.20. Obtém-se o resultado da aplicação do método PROMETHEE II pela ordem decrescente de valores dos fluxos netos, o que define uma pré-ordem completa das alternativas (tabela 5.21).



Tabela 5.20 – Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos.

$s_{ik}$	A1	A2	A3	A4	$\phi_i^+$
A1	–	0,22	0	0,24	0,15
A2	0,51	–	0,24	0,24	0,33
A3	0,63	0,29	–	0,24	0,39
A4	0,49	0,29	0,24	–	0,34
$\phi_i^-$	0,54	0,27	0,16	0,24	
$\phi_i$	- 0,39	0,06	0,23	0,10	

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.21 – Ordenação das alternativas de acordo com os fluxos netos.

Pré-ordem total	Fluxo neto $\phi_i$	Alternativa	Sistema construtivo
1°	0,23	A3	Paredes de concreto
2°	0,10	A4	<i>Steel frame</i>
3°	0,06	A2	Alvenaria estrutural
4°	- 0,39	A1	Alvenaria tradicional

Fonte - Elaborada pelo autor.

Obteve-se como resultado da aplicação do método multicritério PROMETHEE no problema referente ao sistema construtivo a ser utilizado para HIS, a ordenação das alternativas de sistemas construtivos em que o sistema com paredes de concreto tem o melhor desempenho em relação aos critérios de avaliação do modelo. A seguir, o sistema *steel frame* ficou ordenado na segunda posição em termos de eficiência e os sistemas de alvenaria estrutural e de alvenaria convencional foram ordenados em terceira e quarta colocação, respectivamente.

### 5.2.7 Análise de sensibilidade

Realiza-se a análise de sensibilidade com o objetivo de verificar a influência nos resultados encontrados da variação nos valores de parâmetros do método. Fez-se a análise de sensibilidade pela variação dos pesos atribuídos aos critérios, conforme os valores apresentados nas linhas da tabela 5.22, identificadas por “pesos 02 e pesos 03”.

Tabela 5.22 – Função de preferência relativa para cada critério e variação dos pesos.

Par de Alternativas	Critérios					
	C1 R\$/m <sup>2</sup>	C2 m <sup>2</sup> /dia	C3	C4	C5	C6
A1\A2	–	1	–	–	0	0
A1\A3	–	–	–	–	0	–
A1\A4	1	–	–	–	–	–
A2\A1	1	–	1	1	0	0
A2\A3	1	–	0	–	0	–
A2\A4	1	–	0	–	–	–
A3\A1	1	1	0,5	1	–	0
A3\A2	–	1	–	1	–	0
A3\A4	1	0	–	–	–	–
A4\A1	–	1	1	1	0	0
A4\A2	–	1	0	1	0	0
A4\A3	–	0	0	1	1	0
<b>Pesos</b>	10	9	8	3	7	4
<b>Pesos 02</b>	10	10	9	6	8	7
<b>Pesos 03</b>	8	7	6	6	7	5

Fonte - Elaborada pelo autor.

Para as duas sequências de variações dos pesos dos critérios (pesos 02 e pesos 03), com o intuito de proceder a análise de sensibilidade, calculam-se os índices de preferências juntamente com os fluxos de superação positivos, negativos e os fluxos netos nos dois cenários de pesos considerados. Os resultados são mostrados nas tabelas 5.23 e 5.25 e as ordenações das alternativas são mostradas nas tabelas 5.24 e 5.26, respectivamente. Verifica-se que não houve alteração na ordenação das alternativas o que demonstra uma estabilidade forte do modelo.

Tabela 5.23 – Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos.

$s_{ik}$ : Pesos 02	A1	A2	A3	A4	$\phi_i^+$
A1	–	0,20	0	0,20	0,13
A2	0,50	–	0,20	0,20	0,30
A3	0,61	0,32	–	0,20	0,38
A4	0,50	0,32	0,28	–	0,37
$\phi_i^-$	0,54	0,28	0,16	0,20	
$\phi_i$	- 0,41	0,02	0,22	0,17	

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.24 – Ordenação das alternativas (Pesos 02).

Pré-ordem total	Fluxo neto $\phi_i$	Alternativa	Sistema construtivo
1°	0,22	A3	Paredes de concreto
2°	0,17	A4	<i>Steel frame</i>
3°	0,02	A2	Alvenaria estrutural
4°	- 0,41	A1	Alvenaria tradicional

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.25 – Índices de preferências, fluxos de superação positivos, negativos e netos.

$s_{ik}$ : Pesos 03	A1	A2	A3	A4	$\phi_i^+$
A1	–	0,18	0	0,21	0,13
A2	0,51	–	0,21	0,21	0,31
A3	0,61	0,33	–	0,21	0,38
A4	0,48	0,33	0,33	–	0,38
$\phi_i^-$	0,53	0,28	0,18	0,21	
$\phi_i$	- 0,40	0,03	0,20	0,17	

Fonte - Elaborada pelo autor.

Tabela 5.26 – Ordenação das alternativas (Pesos 03).

Pré-ordem total	Fluxo neto $\phi_i$	Alternativa	Sistema construtivo
1°	0,20	A3	Paredes de concreto
2°	0,17	A4	<i>Steel frame</i>
3°	0,03	A2	Alvenaria estrutural
4°	- 0,40	A1	Alvenaria tradicional

Fonte - Elaborada pelo autor.

Observa-se que o decisor considerou os critérios custo de mão de obra/material e de produtividade como os mais importantes, pois atribuiu-lhes os maiores valores dos pesos 10 e 9, respectivamente. O critério menos importante na preferência do agente de decisão é o de resíduos gerados com peso 0,07 e o segundo critério considerado menos importante é o isolamento acústico com peso 0,10. O critério mais importante e o menos importante pelos pesos atribuídos pelo decisor são critérios que têm como objetivo a minimização.

Uma diferença de até R\$ 50,00/m<sup>2</sup> no custo de mão de obra/material para os sistemas construtivos que integram as alternativas do modelo é indiferente para decidir por uma das alternativas, de acordo com a preferência do decisor. Uma diferença acima desse valor gera uma preferência estrita pelo sistema construtivo com menor valor.

A produtividade é um critério de maximização e qualquer valor na diferença da produtividade entre duas alternativas de sistema construtivo, o decisor prefere a alternativa que apresenta o maior valor. Percebe-se ainda, que os sistemas construtivos com melhor desempenho no modelo de decisão aplicado são os sistemas com processos mais industrializados, ou seja, o sistema com paredes de concreto e o sistema *steel frame*.

Em relação à análise de sensibilidade, o modelo mostrou robustez ao manter como resultado a mesma ordem das alternativas dos sistemas construtivos e o sistema em paredes de concreto apresenta o melhor desempenho perante a variação dos pesos atribuídos aos critérios de avaliação.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

A escolha do sistema construtivo para Habitação de Interesse Social (HIS) é uma decisão que pode ser apoiada por técnicas estruturadas. Neste capítulo apresenta-se os pontos principais e as conclusões deste estudo que tem como tema modelo de tomada de decisão para seleção de sistema construtivo para HIS. São apresentadas ainda as sugestões para trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos.

### 6.1 Conclusões

Esta pesquisa tem como objetivo principal, propor um modelo de apoio à tomada de decisão para hierarquizar os sistemas construtivos destinados à construção de Habitações de Interesse Social (HIS). Como resultado principal, segundo as preferências do decisor, obteve-se a seguinte hierarquização dos sistemas construtivos para HIS: paredes de concreto; *steel frame*; alvenaria estrutural e alvenaria tradicional.

O modelo apresenta de forma estruturada o processo de tomada de decisão apoiado por método multicritério na resolução da problemática de ordenação das alternativas de sistemas construtivos para HIS. Permite analisar as avaliações de desempenho das alternativas em relação aos critérios definidos e ter uma percepção clara do processo de decisão, através de recursos matemáticos. Apresenta critérios conflitantes e de natureza quantitativa e qualitativa.

A aplicação prática do modelo de decisão apoiado pelo método PROMETHEE II para resolução de um problema decisório na Construção Civil, contribui para melhoria do processo de decisão nesse setor produtivo e disponibiliza uma ferramenta de gestão.

Com a aplicação do método multicritério, as alternativas que conquistaram os melhores desempenhos foram os sistemas construtivos que têm uma parte considerável de seu desenvolvimento através de processos industrializados. Os sistemas construtivos para HIS, paredes de concreto e *steel frame* são os dois primeiros colocados na hierarquização encontrada. A alternativa com desempenho mais desfavorável é a do sistema tradicional em alvenaria, com um dos maiores custos e alto nível de resíduos gerados.

Os resultados encontrados com a aplicação do modelo têm uma dependência direta das informações definidas pelo decisor, às quais vêm de sua experiência e preferências. São importantes dados de entrada na formatação do modelo de decisão. Outro elemento que gera efeito nos resultados é a tipologia da edificação, por sua influência na formação do conjunto de alternativas de sistemas construtivos considerados no modelo.

Observa-se que os objetivos deste estudo foram alcançados ao longo do processo de desenvolvimento do modelo para apoiar a tomada de decisão na ordenação de sistemas construtivos destinados à HIS, com o uso do método multicritério PROMETHEE II. Pode-se reproduzir o modelo para tomada de decisão em problemas de ordenação de sistemas construtivos, o que possibilita obter-se resultados fundamentados em técnicas e métodos de decisão sistematizados.

## **6.2 Sugestões para futuros estudos**

Com base no presente estudo e no modelo desenvolvido para apoiar o processo de decisão no problema de escolha do sistema construtivo destinado para HIS, apresenta-se sugestões para trabalhos futuros que podem ser efetivados com o propósito de ampliar o conhecimento e aprimorar o processo de decisão no setor de Construção Civil:

- aplicar o modelo de decisão para HIS e considerar dentre as alternativas sistemas construtivos mistos, com o objetivo de aumentar a quantidade de soluções disponíveis;
- elaborar o estudo com a aplicação do modelo de decisão para a tipologia de edificação unifamiliar voltada para HIS;
- realizar o desenvolvimento de pesquisa para escolha do sistema construtivo com a utilização de outros métodos de apoio multicritério;
- desenvolver um modelo de decisão com o apoio multicritério para tomada de decisão em problemas de Construção Civil, relativos à hierarquização de sistemas construtivos com o envolvimento de vários decisores;
- utilizar o modelo de decisão multicritério para solucionar problemas de seleção de sistemas construtivos destinados às outras modalidades de edificações, como edificações comerciais, industriais e residenciais de médio e alto padrão.

## REFERÊNCIAS

- ABIKO, Alex. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo, EPUSP, 1995. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. TT/PCC/12.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro: 2013.
- ALENCAR, Luciana Hazin. **Avaliação e gestão de projeto na construção civil com apoio do método multicritério PROMETHEE**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.
- BANA E COSTA, C. A.; ALMEIDA, M. C. Mensor: método multicritério para segmentação ordenada. **Revista Investigação Operacional**, v. 10, n. 1, 1990.
- BANA E COSTA, Carlos António. **Structuration, construction et exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la décision**. 1992.
- BRASILIT. SAINT-GOBAIN. **Guia de Sistemas para Produtos Planos**, 2011.
- CAMPOS, Vanessa Ribeiro. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CAMPOS, Vanessa Ribeiro; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com VIP analysis. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.
- CHEN, Ying; OKUDAN, Gül E.; RILEY, David R. Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. **Automation in Construction**, v. 19, n. 6, p. 665-675, 2010.
- Diretriz SINAT nº 005 - 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"), 2011.
- Diretriz SINAT nº 021A - Diretriz para Avaliação Técnica de sistema construtivo casas olé - painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado, 2016.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à Decisão**. Florianópolis: Insular, 2001.
- FERREIRA, Saulo R., SILVA, Adeildo Cabral. **Estudo das propriedades mecânicas de adobe com adição de fibras de vegetais de coco verde**. In: Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção. Feira de Santana: ENARC. 2009.
- FONTENELLE, Eduardo, and Silvio B. MELHADO. **Proposta para sistematização de informações e decisões nas etapas iniciais do processo de projeto de edifícios**. VIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador (2000): 666-673.

FORMOSO, C. T.; FRANCHI, C. C.; SOIBELMAN, L. **Um estudo sobre as perdas de materiais na indústria da construção civil e suas principais causas.** In: encontro nacional em tecnologia do ambiente construído (ENTAC), 5., 1993, São Paulo. Avanços em tecnologia da produção de edificações: anais. São Paulo: ANTAC; EPUSP, 1993. v. 2. p. 671-680.

FORMOSO, T. C.; INO, A. Inovação, Gestão da qualidade, produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional. **Coletânea Habitare**, V.02. Porto Alegre 2003.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** 1992.319 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. Racionalização dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. In: International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 5. 21-24 ago.1994, Santa Catarina. **Anais...**Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh, 1994, p. 497-508.

FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; DE CRASTO, Renata Cristina Moraes. **Steel Framing: Arquitectura.** Rio de Janeiro, 2006.

FREITAS, Carlos Geraldo Luz de et al. **Habitação e meio ambiente:** abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. Instituto de Pesquisa Tecnológica, 2001.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informação. **Déficit habitacional no Brasil 2013:** resultados preliminares / Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informação. Belo Horizonte, 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar um projeto de pesquisa científica.** São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, L. F. A.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos.** Editora Thomson. São Paulo, 2004.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. de. **Tomada de decisão gerencial:** enfoque multicritério. São Paulo: Atlas, 2002.

GONDIM, I. A. **Modelo de apoio à decisão para seleção de tecnologias de revestimento de fachadas.** 2007. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

GOUVEIA, João P.; LOURENÇO, Paulo B.; VASCONCELOS, Graça. **Soluções construtivas em alvenaria.** Universidade de Coimbra, Portugal, 2007.

GOVINDAN, Kannan; SHANKAR, K. Madan; KANNAN, Devika. Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 1274-1288, 2016.



GRIFFITH, Janice C. Barcelona, Spain as a Model for the Creation of Innovation Districts and Sustainable Social Housing Without Spatial Segregation. **Revista De Derecho Urbanístico y Medio Ambiente**, v. 251, 2015.

HA, Seong-Kyu. Social housing estates and sustainable community development in South Korea. **Habitat International**, v. 32, n. 3, p. 349-363, 2008.

KNOERI, Christof; BINDER, Claudia R.; ALTHAUS, Hans-Joerg. Decisions on recycling: construction stakeholders' decisions regarding recycled mineral construction materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 1039-1050, 2011.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report Stanford University, 1992.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço**. São Paulo: Editora Empório do Livro, 2008. Porto Alegre 2003.

LIU, Hongyan; YAN, Tao. **Bidding-evaluation of construction projects based on VIKOR method**. In: Automation and Logistics, 2007 IEEE International Conference on. IEEE, 2007. p. 1778-1782.

LOURA, REJANE MAGIAG. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à tomada de decisão edilícia considerando critérios de desempenho térmico e aquecimento de água**. 2006. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares). Escola de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MARZOUK, Mohamed. An application of ELECTRE III to contractor selection. In: **Construction Research Congress**. 2010. p. 1316-1324.

MEDINECKIENE, Milena et al. Multi-criteria decision-making system for sustainable building assessment/certification. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 15, n. 1, p. 11-18, 2015.

MELA, Kristo; TIAINEN, Teemu; HEINISUO, Markku. Comparative study of multiple criteria decision making methods for building design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 4, p. 716-726, 2012.

MOLINA, Julio Cesar; JUNIOR, Carlito Calil. **Sistema construtivo em " wood frame" para casas de madeira**. Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MOTA, Caroline Maria de Miranda; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 247-269, 2007.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias. Série Manual de Construção em Aço**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

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

PONS, Oriol; DE LA FUENTE, Albert. Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 882-893, 2013.

PORTAL BRASIL. GOVERNO FEDERAL. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/>>2016. Acesso em: 12 maio 2016.

PBQPH- PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT. Disponível em <[http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_sinat.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

REED, Robert R.; UME, Ejindu S. **Housing and Unemployment: The Search for the “American Dream”**. 2015.

ROMAN, H. R.; ARAÚJO, H. N.; MUTTI, C. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. 1ª edição. Florianópolis: editora da UFSC, 1999. 83p.

ROMAN, H. R.; MOHAMAD. G. **Alvenaria Estrutural**. Florianópolis, 1999. Notas de aula. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 84p.

ROMAN, H. R. **Alvenaria Estrutural**. Revista Técnica. São Paulo: n°24, set/out. 1996.

ROY, Bernard. Classement et choix en présence de points de vue multiples. Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. **Recherche opérationnelle**, v. 2, n. 1, p. 57-75, 1968.

ROY, B.; HUGONNARD, J. - Chr. Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. **Transportation Research Part A: General**, v. 16, n. 4, p. 301-312, 1982.

ROY, Bernard; PRÉSENT, D. M.; SILHOL, D. A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n.2, p. 318-334, 1986.

ROY, B. **Mulcriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996.

RUBIN, Graziela Rossatto. **Exposição do problema habitacional em dois países da América Latina**. Rio de Janeiro, n.20, p. 49-70, 2013.

SABBATINI, F. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SAN CRISTÓBAL, José Ramón. Contractor selection using multicriteria decision-making methods. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 6, p. 751-758, 2012.

SANTOS, Larissa Carrera Fernandes dos. **Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em wood light frame**. 2013.

SHAPIRA, Aviad; GOLDENBERG, Marat. AHP-based equipment selection model for construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 131, n. 12, p. 1263-1273, 2005.

SHI, Wei; CHEN, Jie; WANG, Hongwei. Affordable housing policy in China: New developments and new challenges. **Habitat International**, 2015.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, v. 123, 2005.

SLACK, Nigel, et al. **Administração da Produção**. 2a. Ed., São Paulo: Atlas, 2007, 526 p.

SZAJUBOK, Nadia Kelner; ALENCAR, Luciana Hazin; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério. **Revista Produção**, v. 16, n. 2, p. 303-318, 2006.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. New York: McGraw-Hill, 2000.

VINCKE, Philippe. **Multicriteria decision-aid**. John Wiley & Sons, 1992.

WANKHADE, Rajan L.; LANDAGE, Amarsinh B. Non-destructive testing of concrete structures in Karad region. **Procedia Engineering**, v. 51, p. 8-18, 2013.

WONG, Tai-Chee; GOLDBLUM, Charles. Social housing in France: A permanent and multifaceted challenge for public policies. **Land Use Policy**, v. 54, p. 95-102, 2016.

XIA, Bo; CHAN, Albert P. C. Identification of selection criteria for operational variations of the design-build system: A Delphi study in China. **Journal of civil engineering and management**, v. 18, n. 2, p. 173-183, 2012.

YAP, Kioe Sheng. The enabling strategy and its discontent: Low-income housing policies and practices in Asia. **Habitat International**, 2015.

ZAYED, Tarek; AMER, Mohamed; PAN, Jiayin. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. **International Journal of Project Management**, v. 26, n.4, p. 408-419, 2008.