
REJANE MAGIAG LOURA

Desenvolvimento de ferramenta de apoio à tomada de decisão edilícia considerando critérios de desempenho térmico e aquecimento de água.

Belo Horizonte, Abril de 2012

REJANE MAGIAG LOURA

Desenvolvimento de ferramenta de apoio à tomada de decisão edilícia considerando critérios de desempenho térmico e aquecimento de água.

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nuclear da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção de título de doutor.

Área de concentração Engenharia Nuclear e da Energia

Orientadora: Dra. Eleonora Sad de Assis

Co-orientador: Dr. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Belo Horizonte, Abril de 2012

Loura, Rejane Magiag

Desenvolvimento de ferramenta de apoio à tomada de decisão edilícia considerando critérios de desempenho térmico e aquecimento de água / Rejane Magiag Loura. – Bolo Horizonte: UFMG / Escola de Engenharia, 2012.

xxi, 220 f. : il. ; 31 cm.

Orientadores: Eleonora Sad de Assis e Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Tese (doutorado) – UFMG / Escola de Engenharia / PCTN, 2012.

Referências bibliográficas: f. 182-195

1. Habitação. 2. Desempenho energético. 3. Análise multicritério. 4. Simulação computacional de edificações - Tese. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Bastos, Leopoldo Eurico Gonçalves. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, PCTN. IV. Título.

Folha de aprovação

*Dedico aos meus pais, Marcílio e Regina, sempre
exemplos de amor, caráter e perseverança.
Ao Fernando, meu grande companheiro no amor,
na vida e nos sonhos.*

Agradecimentos

Gostaria de prestar meus sinceros agradecimentos às pessoas e às instituições que colaboraram, direta ou indiretamente, com o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Eleonora Sad de Assis pelo apoio, orientação e confiança depositada e durante todos esses anos de pesquisa.

Ao Prof. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos pela gentileza em me apoiar com sua co-orientação nesta pesquisa.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela bolsa de estudos concedida durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Deutscher Akademischer Austausch Dienst – DAAD – pela bolsa de estudos concedida durante período de estadia na Alemanha. E aos professores Lutz Katzschner, Anton Maas e Manfred Hegger e suas equipes que me receberam tão bem nesta estadia. As experiências e conhecimentos compartilhados foram essenciais para construção deste trabalho.

Aos professores, funcionários e alunos do Programa de Pós Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG pela colaboração ao longo do curso.

À coordenação do Labcon da EA-UFMG por permitir a utilização dos computadores para realização de parte das simulações.

Ao Sr. Lydio Bandeira (Sinduscon-RIO, à Sra. Gabriella Michelin Szklo (ADEMI-RJ), aos arquitetos Rogério Caderman e Mário Saleiro Filho pelas informações fornecidas relacionadas a atuação das empresas do setor de construção civil do Rio de Janeiro.

À Profa. Claudia Krause do PROARQ-URFJ pela gentileza em me receber como aluna;

Ao Prof. Eduardo Castro da UFJF, por ceder o código fonte do CELECTRE para adaptação e pelo apoio fundamental para desenvolvimento do RESIDE.

Ao graduando Renan Malaquias, pelos trabalhos prestados como bolsista durante o desenvolvimento do RESIDE.

Às queridas amigas Iraci Pereira e Camila Ferreira que dividiram comigo angústias e alegrias.

Aos meus pais Marcílio e Regina que sempre me proporcionaram conforto, segurança e amor para sonhar e realizar; ao meu irmão, Danilo, pela paciência e compreensão.

Ao meu marido e amigo, Fernando Valle, pelo apoio e compreensão durante todo o trabalho. Sua doçura e cuidado foram essenciais para manutenção da fé, alegria e força nessa caminhada.

Finalmente, agradeço a Deus por permitir mais essa realização, por iluminar o meu caminho e por me dar forças nos momentos difíceis.

“Quem alcança seu ideal, vai além dele.”

(Friedrich Nietzsche, *Jenseits von Gut und Böse*, 1886)

Lista de ilustrações

<i>Figura 1.1 – Interfaces do processo de desenvolvimento do produto.</i>	9
<i>Figura 1.2 – Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo das fases.</i>	9
<i>Figura 2.1 – Crescimento PIB construção civil e Brasil – 2000 a 2011.</i>	13
<i>Figura 2.2 – Pirâmide etária brasileira – 2007 e 2030.</i>	16
<i>Figura 2.3 – Histórico e projeção de investimentos habitacionais.</i>	18
<i>Figura 2.4 – Projeção de crescimento de setor da indústria da construção civil.</i>	19
<i>Figura 2.5 – Metas de redução do PNAEE para edificações.</i>	28
<i>Figura 2.6 – Opções de políticas para facilitar a transformação de mercado</i>	36
<i>Figura 3.1 – Gráfico de relação entre consumo per capita de energia e renda per capita de diversos países no período de 1982 a 2009.</i>	38
<i>Figura 3.2 – Diagrama esquemático do processo de desenvolvimento do conceito energético</i>	40
<i>Figura 3.3 – Avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo do edifício.</i>	43
<i>Figura 3.4 – Ciclo de qualidade.</i>	44
<i>Figura 3.5 – Papel desempenhado pela envoltória diante de fatores externos e internos</i>	52
<i>Figura 3.6 – Variação do consumo de energia em função do isolamento térmico da cobertura.</i>	55
<i>Figura 3.7 – Projeção da economia de energia com a utilização do sistema solar para aquecimento de água no Brasil (GWh/ano).</i>	58
<i>Figura 3.8 – Processo de decisão multicritério.</i>	73
<i>Figura 3.9 – Percentual de consumo de eletricidade por setor no município Rio de Janeiro.</i>	82
<i>Figura 3.10 – Gráfico de unidades disponíveis no Rio de Janeiro – 2004 a 2008</i>	86
<i>Figura 3.11 – Gráfico de tipologias - 2003 a 2009</i>	86
<i>Figura 3.12 – Gráfico de vendas de imóveis em diferentes fases do empreendimento - 2004 a 2008.</i>	87
<i>Figura 3.13 – Gráfico de disponibilidade de imóveis em função do valor - 2004 a 2008</i>	88
<i>Figura 3.14 – Fontes de recursos - 2004 a 2008</i>	88
<i>Figura 3.15 – Lançamento por bairros - 2003 a 2009</i>	89
<i>Figura 3.16 – Área de planejamento 4, Barra da Tijuca e Jacarepaguá.</i>	90
<i>Figura 3.17 – Distribuição da população por regiões administrativas.</i>	91
<i>Figura 3.18 – Densidade demográfica por bairros.</i>	91
<i>Figura 3.19 – Proporção de domicílios com ar condicionado, por regiões administrativas.</i>	92
<i>Figura 3.20 – Zoneamento PEU Taquara.</i>	95
<i>Figura 4.1 – Procedimento de aplicação do ELECTRE-III.</i>	103
<i>Figura 4.2 – Orientação das edificações</i>	107
<i>Figura 4.3 – Imagens de um exemplo da veneziana externa considerada</i>	110
<i>Figura 4.4 – Tela de análise.</i>	124
<i>Figura 4.5 – Tela de seleção das alternativas.</i>	125
<i>Figura 4.6 – Exemplo de tela de análise preenchida, com ranking e análise de sensibilidade.</i>	126
<i>Figura 4.7 – Projeto-padrão do trabalho para simulação</i>	134
<i>Figura 4.8 – Zonas térmicas para simulação</i>	135

<i>Figura 5.1 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas grandes sem proteção solar.</i>	141
<i>Figura 5.2 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas grandes com proteção solar.</i>	142
<i>Figura 5.3 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas grandes sem proteção solar.</i>	143
<i>Figura 5.4 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas grandes com proteção solar.</i>	143
<i>Figura 5.5 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas médias sem proteção solar.</i>	144
<i>Figura 5.6 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas médias com proteção solar.</i>	145
<i>Figura 5.7 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas médias com proteção solar.</i>	145
<i>Figura 5.8 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para janelas aberturas sem proteção solar.</i>	146
<i>Figura 5.9 – Orientação Norte: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	149
<i>Figura 5.10 – Orientação Nordeste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	149
<i>Figura 5.11 – Orientação Leste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	150
<i>Figura 5.12 – Orientação Sudeste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	150
<i>Figura 5.13 – Orientação Sul: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	151
<i>Figura 5.14 – Orientação Sudoeste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	151
<i>Figura 5.15 – Orientação Oeste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	152
<i>Figura 5.16 – Orientação Noroeste: Gráfico de percentual de horas de conforto</i>	152
<i>Figura 5.17 – Orientação Norte: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	154
<i>Figura 5.18 – Orientação Nordeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	154
<i>Figura 5.19 – Orientação Leste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	155
<i>Figura 5.20 – Orientação Sudeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	155
<i>Figura 5.21 – Orientação Sul: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	156
<i>Figura 5.22 – Orientação Sudoeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	156
<i>Figura 5.23 – Orientação Oeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	157
<i>Figura 5.24 – Orientação Noroeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento</i>	157
<i>Figura 5.25 – Situação de análise 1</i>	164
<i>Figura 5.26 – Situação de análise 2</i>	165
<i>Figura 5.27 – Situação de análise 3</i>	165
<i>Figura 5.28 – Situação de análise 4</i>	166
<i>Figura 5.29 – Situação de análise 5</i>	168
<i>Figura 5.30 – Situação de análise 6</i>	169
<i>Figura 5.31 – Situação de análise 7</i>	169
<i>Figura 5.32 – Situação de análise 8, etapa 1</i>	171
<i>Figura 5.33 – Situação de análise 8, etapa 2</i>	172
<i>Figura 5.34 – Situação de análise 8, etapa 3</i>	173

Lista de tabelas

<i>Tabela 4.1 – Custo das soluções</i>	118
<i>Tabela 8.1 - Levantamento de áreas de unidades habitacionais de três quartos</i>	201
<i>Tabela 8.2 – Valores médios das unidades habitacionais de 3 quartos</i>	202
<i>Tabela 9.1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana</i>	218
<i>Tabela 9.2 – Taxas metabólicas para cada atividade</i>	219
<i>Tabela 9.3 – Padrão de uso de iluminação</i>	219
<i>Tabela 9.4 – Densidade de potência instalada de iluminação</i>	220
<i>Tabela 9.5 – Carga interna de equipamentos</i>	220

Lista de quadros

Quadro 3.1 – Exemplos de informações de interesse durante a fase de análise do método.....	39
Quadro 3.2 – Comparativo de agrupamento das zonas bioclimáticas.....	67
Quadro 3.3 – Dados Normais Climatológicas do Rio de Janeiro – 1961 a 1990	84
Quadro 3.4- Parâmetros para ocupação da zona residencial 2 (ZR2).....	96
Quadro 3.5 - Parâmetros para edificações multifamiliares presentes no Decreto nº7.336/1988	97
Quadro 4.1 – Alternativas de sistemas construtivos de cobertura.....	112
Quadro 4.2 – Alternativas de sistemas aquecimento de água para banho.....	113
Quadro 4.3 – Classes de incentivo ao uso da tecnologia.....	120
Quadro 4.4 – Grau de complexidade dos sistemas.....	121
Quadro 4.5 – Pesos atribuídos aos critérios	123
Quadro 4.6- Características térmicas dos materiais utilizados nas composições.....	136
Quadro 4.7 - Características térmicas das composições de vedação	137
Quadro 4.8 - Características térmicas das composições de cobertura.....	138
Quadro 4.9 - Características térmicas das composições de envoltória	139
Quadro 5.1- Resumo de itens do banco de dados.....	161
Quadro 5.2- Características das situações analisadas.....	162
Quadro 8.1 – Comparativo de Índices de conforto	197
Quadro 8.2 – Situação de análise 1 e 2.....	203
Quadro 8.3 – Situação de análise 3.....	204
Quadro 8.4 – Situação de análise 4.....	205
Quadro 8.5 – Situação de análise 5.....	206
Quadro 8.6 – Situação de análise 6.....	207
Quadro 8.7 – Situação de análise 7.....	208
Quadro 8.8 – Situação de análise 8.....	209

Lista de abreviaturas

ABS - Absoluta
ACV – Análise do Ciclo de Vida
BEN – Balanço Energético Nacional
CO₂ – Dióxido de Carbono
CTF – Conduction Transfer Functions
CUB – Custo Unitário Básico
ELECTRE – Elimination Et Choix Traduisant la Realité
EPS – Poliestireno Expandido
FT – Fator de Correção da Transmitância
FV – Fator de Ventilação
GIS – Sistema de Informação Geográfica
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
GN – Gás Natural
HAB - Habitante
HVAC - Heating, Ventilation, and Air Conditioning
IAT – Índice de Aproveitamento do Terreno
ICV – Índice de Condições de Vida
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados
IS – Instalações Sanitárias
LCC – Life Cycle Cost
MÁX – Máxima
MDMO – Modelo de Decisão Multiobjetivo
MÉD – Média
MÍN – Mínima
MME – Ministério de Minas e Energia
MOGA – Algoritmo Genético Multiobjetivo
NV – Norte Verdadeiro
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
PEU – Projeto de Estruturação Urbana
PIB – Produto Interno Bruto
PLANHAB – Plano Nacional de Habitação
PMV - Predicted Mean Vote
PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNE 2030 – Plano Nacional de Energia 2030

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

R8-N – Edificação Residencial de Oito Pavimentos Padrão Normal

RA – Região Administrativa

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

TCPO – Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos

TMED – Temperatura Média Mensal Externa

TMY – Typical Meteorological Year

TO – Taxa de Ocupação

TP – Taxa de Permeabilidade

UEP – Unidades Especiais de Planejamento

UR – Umidade Relativa do Ar

ZB8 – Zona Bioclimática 8

ZO – Zona Oeste

ZR – Zona Residencial

ZUPI – Zona de Uso Predominantemente Industrial

Lista de siglas

ABCEN – Associação Brasileira da Construção Metálica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEMI – Associação dos Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário
ADENE – Agência para Energia
AQUA – Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers
ASTM – American Society for Testing and Materials
BEES – Building for Environmental and Economic Sustainability
BIM – Building Information Modelling
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNH – Banco Nacional da Habitação
CAD – Computer Aided Design
CE – Comunidade Europeia
CEF – Caixa Econômica Federal
CIB – Conseil International du Bâtiment
DENA – Deutsche Energie-Agentur
DIN – Deutsches Institut für Normung
DOE-US – Department of Energy - United States
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EnEV – Energieeinsparverordnung
EPA – Environmental Protection Agency
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive
EPE – Empresa de Planejamento Energético
FGV – Fundação Getúlio Vargas
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INFONAVIT – Instituto Nacional para el Fomento de la Vivienda de los Trabajadores
INMETRO – Instituto Brasileiro de Metrologia
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO – International Organization for Standardization
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LABHAB – Laboratório de Habitação e Assentamentos Urbanos
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
NBR – Norma Brasileira
NIST – National Institute of Standards and Technology
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil

SMU – Secretaria Municipal de Urbanismo

UNEP – United Nations Environment Program

Lista de símbolos e variáveis

a_i – Alternativas
AP – Área de Planejamento
APP – Área de Permanência Prolongada
AT – Área Total
ATE – Área Total da Edificação
BTU – British Thermal Unit
 c – Índice de concordância
 C° – Graus Celsius
 clo – Isolamento da vestimenta utilizada
Cr - Critério
CT – Capacidade Térmica
 d – Índice de discordância
 e – espessura
 e_i – Vetor multiatributos
GWh – Gigawatt Hora
 i – número da alternativa
 j – número do critério
kWh – Kilowatt Hora
 M^2 - Metro quadrado
m/s – Metro por segundo
Met – Taxa de metabolismo
MWh – Megawatt hora
Q – Limite de Indiferença
P – Limite de Preferência
TMED – Temperatura média
 T_n – Temperatura Neutra
V – Limite de Veto
VSO – Venda sobre Oferta
W – Watt

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
LISTA DE SIGLAS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS	XVI
SUMÁRIO	XVII
RESUMO	XX
ABSTRACT	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. TEMA E DELIMITAÇÃO	2
1.2. MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	5
1.3. PROBLEMA E PREMISA	7
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. GERAL	10
1.4.2. ESPECÍFICOS	10
1.5. ESTRUTURA DO TEXTO	10
2. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL	12
2.1. CONTEXTO BRASILEIRO	12
2.2. POLÍTICAS PÚBLICAS BRASILEIRAS	19
2.2.1. PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030	20
2.2.2. PLANO NACIONAL DE HABITAÇÃO	21
2.2.3. PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22

2.2.4. PROCEL EDIFICA	24
2.3. CONTEXTO INTERNACIONAL	26
2.3.1. PORTUGAL	26
2.3.2. MÉXICO	28
2.3.3. ALEMANHA	30
2.4. CONCLUSÃO	33
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
3.1. PROJETO DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS NO BRASIL	42
3.1.1. ASPECTOS DE CUSTOS DAS EDIFICAÇÕES	44
3.1.2. FLUXO DE INFORMAÇÃO NOS PROJETOS	48
3.2. CRITÉRIOS DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E NORMALIZAÇÃO EXISTENTE	51
3.2.1. A ENVOLTÓRIA DAS EDIFICAÇÕES	51
3.2.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS	56
3.2.3. FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO NO BRASIL	59
3.2.4. OUTRAS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO	68
3.3. ANÁLISE PARA DECISÃO	71
3.3.1. MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO	72
3.4. CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO DE CASO	82
3.4.1. PANORAMA DO MERCADO IMOBILIÁRIO	84
3.4.2. ASPECTOS URBANÍSTICOS DA ÁREA DE INTERESSE	89
3.5. REPERCUSSÕES SOBRE A METODOLOGIA	98
4. METODOLOGIA	101
4.1. PROCEDIMENTO PARA ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA DE AUXÍLIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	103
4.1.1. DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS	106
4.1.2. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E PESOS	113
4.2. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE	123
4.2.1. FUNCIONALIDADES DO RESIDE	123
4.2.2. BANCO DE DADOS DO RESIDE	127
4.3. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO PADRÃO	130
5. RESULTADOS	140

5.1. RESULTADOS PARCIAIS	140
5.2. APLICAÇÃO DO PROGRAMA	160
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	174
6.1. PROCESSO METODOLÓGICO	175
6.2. SOFTWARE RESIDE	176
6.3. ESTUDO DE CASO	179
7. REFERÊNCIAS	182
8. APÊNDICES	196
8.1. DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO TÉRMICO	196
8.2. CONSTRUÇÃO DO PROJETO PADRÃO	201
8.3. DETALHAMENTO DA COMPOSIÇÃO DOS CASOS ANALISADOS USANDO O RESIDE.	203
8.4. MANUAL RESIDE	212
9. ANEXOS	214
9.1. DEFINIÇÃO DOS LIMITES P, Q E V	214
9.2. CONDIÇÕES DE MODELAGEM DE ACORDO COM RTQ-R (VERSÃO 2010)	215
9.2.1. CONDIÇÕES PARA A MODELAGEM DA ENVOLTÓRIA	215
9.2.2. MODELAGEM DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL	216
9.2.3. PADRÃO DE OCUPAÇÃO	217
9.2.4. PADRÃO DE USO DA ILUMINAÇÃO	219
9.2.5. CARGAS INTERNAS DE EQUIPAMENTOS	220

Resumo

Problema: Atualmente para o segmento das edificações residenciais há no País uma necessidade de serem alcançados melhores desempenhos termoenergéticos para suas envoltórias e para os sistemas auxiliares de aquecimento de água, admitindo-se ou não uma elevação aceitável dos custos.

Motivação: Diante da previsão de crescimento da demanda de energia elétrica pelo setor residencial para as próximas duas décadas, é relevante atuar sobre dois usos finais que têm maior impacto sobre o consumo energético de uma unidade habitacional: o condicionamento ambiental e o aquecimento de água para banho.

Objetivo: Desenvolver uma ferramenta a partir de um método de decisão multicritério para auxiliar a tomada de decisão sobre as soluções para envoltória de edificações habitacionais e o sistema de aquecimento de água para banho na fase inicial de projeto, considerando o desempenho termoenergético e os custos associados às soluções.

Metodologia: Associar aspectos da política energética nacional, custos das edificações e simulação computacional de desempenho termoenergético com a análise multicritério.

Utiliza-se o método ELECTRE-III para analisar os cinco critérios de interesse: (i) percentual de horas de conforto, (ii) graus-horas para resfriamento, (iii) variação percentual de custos para composições de envoltória, (iv) incentivos governamentais às tecnologias de aquecimento de água para banho e (v) grau de complexidade de execução do sistema de aquecimento de água para banho.

Resultados: Comprova-se a aplicabilidade da metodologia e da ferramenta computacional que foram desenvolvidas para tratar a problemática apresentada a partir da realização de um estudo de caso baseado no mercado imobiliário da zona Oeste do Rio de Janeiro. Esta ferramenta revela-se útil a projetistas e empreendedores (privados e públicos) quando em processos de decisão, pois quando aplicada apresenta um ordenamento das soluções com base nos benefícios e custos.

Palavras-chave: Habitação; Desempenho termoenergético; Análise multicritério; Simulação computacional de edificações.

Abstract

Problem: Nowadays it is relevant to improve the thermal-energy performance in housing envelopes and heating water systems, assuming or not an acceptable increase in costs. **Motivation:** This issue is due to the growth of electricity demand expected in the residential sector for the next two decades. It is worth to focus on the two more significant end-uses in housing energy consumption: thermal comfort and water heating for bathing. **Objective:** To develop a multicriteria decision tool to assist in decision making about housing envelope solutions and heating water system during the initial stages of the building venture, considering the thermal-energy performance and the solutions costs. **Methodology:** It associates national energy policy issues, building costs, thermal-energy performance simulation and multicriteria analysis. Then creates a database that puts together the information that will be analyzed by the ELECTRE-III method based on five criteria: (i) percentage of thermal comfort hours (ii) cooling degree-hours, (iii) percentage of envelope variation costs, (iv) governmental incentives for heating water technologies and (v) complexity level of installation of water heating system. The analysis result is a ranking of the building solutions evaluated. **Results:** It verified the methodology and software applicability that was developed to overcome the presented problem applying in hypothetical case considering the real estate market of Rio de Janeiro. Thus, it becomes possible to list the building solutions performance considering thermal-energy criteria and costs during the initial stages of design. This is helpful for designers and investors (private and public) in decision processes because the method offers a solutions ranking based on in costs and benefits, which certainty helps to choose solutions with better thermal-energy performance solutions within the budgeted cost.

Keywords: Housing; Thermal-energetic performance; Multicriteria analysis, Building computational simulation.

1. Introdução

O Brasil vive atualmente um marco em sua história econômica que tem reflexos diretos sobre o mercado da construção civil. Nas duas últimas décadas o país superou a hiperinflação, e experimenta hoje um novo patamar para a taxa básica de juros. Isso significa dizer que o brasileiro passa a ter mais crédito disponível. O setor da construção civil, principalmente os segmentos voltados para habitação, tem grande dependência de financiamentos, por isso a atual situação macroeconômica brasileira e os cenários previstos por economistas e pelo governo apontam para o crescimento desse setor (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG, 2008; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Os números são animadores em relação a todos os segmentos habitacionais. Mesmo os cenários mais conservadores apostam na eliminação do déficit habitacional por inadequação, o que ocorreria em 2030 (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG, 2008). Especialistas consultados pela revista Exame, para a edição de 17 de junho de 2009 (REVISTA EXAME, 2009), acreditam que mais de 30 milhões de unidades podem ser construídas até 2020. Ainda de acordo com a publicação, o investimento em habitação no ano de 2008 representou 3% do PIB do país. Com a perspectiva de crescimento, espera-se que em 2017 esse valor seja da ordem de 6,8% do PIB. O governo federal tem sido um dos motores desse crescimento por meio do programa Minha Casa Minha Vida que oferece, em alguns casos, subsídios e em outros, juros menores para famílias de renda mais baixa.

Diante das expectativas favoráveis, cabe uma reflexão sobre o desempenho das unidades habitacionais que serão produzidas. Essa pesquisa se dedica ao estudo do desempenho termoenergético de envoltórias de edificações habitacionais e de seus sistemas de aquecimento de água para banho. O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia e uma ferramenta multicritério para auxiliar os tomadores de decisão nas primeiras fases do projeto de um empreendimento. E ainda mostrar a aplicabilidade da

ferramenta frente a um estudo de caso baseado no mercado imobiliário da cidade do Rio de Janeiro.

O procedimento e a ferramenta propostos pretendem ser úteis aos empreendedores e projetistas do mercado de incorporações, incluindo os órgãos governamentais que atuam nesta área. Pois será possível analisar o desempenho termoenergético de soluções para a envoltória, de sistema de aquecimento de água para banho e seus custos durante as primeiras fases de planejamento de empreendimentos (conceituação e definição do produto e estudo preliminar). Tal análise pode auxiliar aos processos de atendimento aos requisitos das normas brasileiras referentes ao desempenho térmico das edificações, bem como, do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012).

1.1. Tema e Delimitação

O objeto de estudo dessa pesquisa é um procedimento de tomada de decisão considerando múltiplos critérios na concepção arquitetônica, que incorpore o desempenho termoenergético da envoltória de edificações habitacionais e do sistema de aquecimento de água para banho, considerando também os custos. Esclarecendo, que neste trabalho envoltória é o termo usado para designar o conjunto de sistemas compostos por superfícies de vedação vertical (paredes externas, esquadrias e panos de vidro, etc.) e superfícies de vedação horizontal (cobertura¹ e embasamento²).

Atualmente, o setor residencial é responsável por aproximadamente 22% de toda a energia elétrica consumida pelo país, sendo a relação consumo de energia elétrica per capita deste de 0,504 MWh/hab/ano (EPE, 2009), o que é ainda relativamente baixo quando comparado aos padrões dos países

¹ A cobertura tem sua definição mais ampla que a do telhado. Cobertura pode ser entendida como um sistema e telhado como um elemento. Por exemplo, nas edificações com laje ou forro, as coberturas são compostas pela laje ou forro, pelo ático e pelo telhado. Naquelas em que não há laje ou forro, a cobertura é composta apenas pelo telhado.

² Embasamento é a superfície (laje ou lastro) em contato direto com o solo.

desenvolvidos. De acordo com um estudo da Agência Internacional de Energia (2006), o consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil apresentará grande crescimento até 2030. É relevante ressaltar que do ponto de vista ambiental deve-se buscar o menor consumo per capita capaz de atender as necessidades da população.

O uso de energia elétrica para aquecimento de água tem um papel de destaque neste consumo. De acordo com relatório do PROCEL (2007) sobre a posse de equipamentos e hábitos de uso, 73,5% dos sistemas de aquecimento de água para banho presentes nos domicílios brasileiros utilizam a energia elétrica. Vale destacar que o chuveiro elétrico responde a 99,6% deste montante, ou seja, 39,7 milhões de unidades. Espera-se um aumento de 30 milhões de unidades até 2030 (MME, 2011). Atualmente, em âmbito nacional, os chuveiros elétricos são responsáveis por 18% do pico de demanda do sistema elétrico e 6% de todo consumo de eletricidade, aproximadamente 22 TWh/ano (MME, 2011). O problema não é apenas a quantidade de energia consumida, mas a concentração deste consumo no horário de 18 a 21 horas, principalmente, constituindo parte importante do pico real de consumo do sistema nacional.

Também tem sido observado o crescimento do número de equipamentos de condicionamento de ar nas residências brasileiras, o que pode ser explicado pela elevação da renda da população (IBGE, 2009) e também pode estar associado às mudanças climáticas. Essa decisão de compra dos brasileiros tem impactado o consumo de energia elétrica das habitações e conseqüentemente do País. Atualmente cerca de 10,5% (PROCEL, 2007) dos domicílios brasileiros possuem pelo menos um aparelho de ar condicionado. A título de exemplo, o uso de um equipamento de ar condicionado de 7.000 BTU durante 64 horas³ no mês corresponde a um consumo mensal de 57,6 kWh. Considerando uma família de classe média que consome em torno de 150 kWh/mês o acréscimo de 57,6 kWh significa uma elevação de 38% do consumo de energia elétrica.

³ Considerando o uso duas vezes por semana, oito horas por dia, conforme indica o relatório de Posse do PROCEL (2007) para a maioria dos domicílios e climas quentes.

Para aumentar a eficiência nesses usos finais não basta atuar na eficiência dos equipamentos para aquecimento de água e condicionamento de ar. É necessário buscar a elevação do desempenho energético desde a elaboração do projeto da edificação, tendo como objetivo a redução da demanda energética ativa para atender aos usos finais supracitados. Para isso é necessário separar as edificações, pelo menos, em dois grupos: (i) edificações existentes e (ii) edificações novas. A intervenção nas construções existentes pode apresentar limitações técnicas e econômicas, além de gerar transtornos aos moradores. Por outro lado, tratando-se de edificações novas, quando em sua fase de projeto é possível se atuar sobre as envoltórias e os sistemas de aquecimento de água para banho levando em conta as condições técnicas e econômicas orientadas para uma melhoria do desempenho termoenergético. Portanto, é para esta situação que geralmente se alcança um melhor desempenho.

Tendo como base as perspectivas de expansão da construção de habitações no país para os próximos 20 anos (a ser detalhada no próximo capítulo), e também do índice de urbanização⁴ do Brasil, optou-se por estudar o desempenho termoenergético das envoltórias de edificações habitacionais novas e de seus sistemas de aquecimento de água para banho.

Os critérios usados para análise são cinco, a saber: (i) percentual médio de horas de conforto térmico passivo; (ii) média de graus-hora por ano para resfriamento; (iii) percentual de variação de custos para composições de envoltória (alvenarias e cobertura); (iv) incentivo governamental para o sistema de aquecimento de água; e (v) grau de complexidade de execução do sistema de aquecimento de água.

O trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia baseada na análise multicritério, e que é aplicável a todas as regiões do país e tipologias construtivas. A intenção não é desenvolver uma ferramenta de projeto, mas sim uma ferramenta para planejamento. Para exemplificar a aplicação, realizou-se um estudo de caso. O contexto escolhido foi a região de Jacarepaguá, zona

⁴ Percentual da população vivendo em cidades.

Oeste do Rio de Janeiro. A tipologia e o padrão construtivo foram definidos a partir daqueles apresentados pela norma NBR 12.721/2006 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento (ABNT, 2006). Optou-se por analisar edificações com oito pavimentos-tipo com padrão de acabamento normal, ou seja, padrão R8-N da norma supracitada.

1.2. Motivação e Justificativa

De acordo com o relatório apresentado pela UNEP (2008) a indústria da Construção Civil é um setor chave quando se trata do desenvolvimento sustentável. Essa afirmativa se apoia no relevante papel que este setor tem mundialmente na geração de riquezas para economia e sociedade, mas que também apresenta grandes impactos ao meio ambiente. Por conseguinte, deve ser procurada uma mitigação dos impactos ambientais nocivos através de algumas estratégias como: uso racional e eficiente da energia; redução da emissão de gases efeito estufa; redução de resíduos; uso racional e reciclagem dos materiais de construção; uso racional da água; e a procura de uma integração das edificações com a infraestrutura oferecida pela cidade.

O governo brasileiro, por meio das atividades do PROCEL Edifica desenvolveu o primeiro instrumento para avaliação de consumo de energia nas edificações residenciais (ELETROBRÁS, 2010). Essa iniciativa é significativa para o mercado e mostra a preocupação do governo brasileiro com o uso da energia nas habitações. Entretanto, é preciso que a questão também seja avaliada sob o ponto de vista econômico. Conhecer o desempenho termoenergético das edificações e os custos associados à melhoria deste permite ao país formular políticas de uso eficiente da energia nas habitações de maneira consistente e responsável. Deste modo podem ser identificados os pontos de avanço mais rápido e fácil, e aqueles mais delicados que podem demandar, inclusive, incentivos e/ou subsídios.

Adicionalmente, há os interesses econômicos das empresas incorporadoras. Tem-se observado no mercado brasileiro, que o *marketing* está se tornando

uma ferramenta cada vez mais importante para impulsionar as vendas no setor imobiliário. Desde modo, entende-se que o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de dar indicativos sobre o desempenho termoenergético da edificação já na primeira fase de planejamento do empreendimento pode contribuir com a preparação do *marketing* do produto a ser oferecido, enfatizando a redução do custo de manutenção da unidade e a melhoria da condição de conforto térmico dos espaços. Além disso, esse tipo de divulgação poderia facilitar a aceitação pelo mercado dos mecanismos de restrição de consumo de energia nas edificações residenciais.

Para Batalha-Vasconcelos e Vasconcelos (2008), embora seja tentador aguardar que as políticas públicas levem todas as incorporadoras a adotar medidas para favorecer o desenvolvimento sustentável e a própria sustentabilidade de seus empreendimentos, é preciso que se tomem medidas que favoreçam as práticas adequadas ao setor, independentemente de legislação coercitiva, inclusive para que esta, quando for elaborada, absorva práticas já consagradas. Atualmente, circula pelo mercado da construção civil um mito de que as edificações chamadas sustentáveis - isso inclui entre outros aspectos o desempenho termoenergético - apresentam custos muito mais elevados que as edificações comuns. Esse mito tem provocado certa lentidão na adoção de soluções com o objetivo de melhorar o desempenho das edificações nas questões relacionadas à sustentabilidade.

Com relação a presente tese, o ineditismo está na forma de abordagem simultânea do desempenho termoenergético da envoltória de edificações residenciais multifamiliares, do sistema de aquecimento de água e dos custos envolvidos (envoltórias e sistemas de aquecimento de água).

A metodologia proposta enfatiza o desempenho econômico das edificações ao longo do seu ciclo de vida útil, o que amplia a visão corrente do mercado, que foca apenas no desempenho de curto prazo, ou seja, no menor custo de construção.

Como consequência, têm-se ganhos ambientais e socioeconômicos. Os ganhos ambientais acontecem porque são retardados os impactos provocados

pela ampliação da oferta e demanda de energia elétrica e os socioeconômicos, porque as famílias terão redução no consumo de energia e também na conta a ser paga, podendo investir em outras necessidades.

Essa mudança de perspectiva pode incentivar indiretamente também a adoção de novas soluções e tecnologias construtivas para o setor da construção civil brasileiro que se apresenta ainda pouco industrializado.

1.3. Problema e Premissa

Por meio do levantamento bibliográfico detectou-se que não há metodologias nacionais capazes de avaliar o desempenho termoenergético de uma edificação associado ao seu custo de construção. Diante dessa lacuna, espera-se com esse trabalho resolver a seguinte problemática: é possível obter a melhoria do desempenho termoenergético da envoltória das edificações residenciais e do sistema de aquecimento de água para banho e seus custos associados nas fases iniciais de planejamento de empreendimentos?

O trabalho considera como primeira premissa (hipótese) que a melhoria do desempenho termoenergético das edificações residenciais depende da consideração simultânea de variáveis físicas, formais e de custos da envoltória e do sistema de aquecimento de água da edificação durante a tomada de decisões nas primeiras fases de desenvolvimento do projeto arquitetônico (conceituação e definição do produto) e também da articulação entre as políticas públicas e a incorporação imobiliária. A segunda premissa considera que se pode obter significativa melhoria do desempenho termoenergético das edificações habitacionais sem que isso implique em elevações inaceitáveis dos custos de produção das envoltórias.

Diversos autores têm destacado o papel relevante do projeto tanto nas questões de custos como naquelas referentes ao desempenho e sustentabilidade das edificações. Para Melhado e Oliveira (2005), a fase de projeto é vista como a que mais oferece oportunidades de intervenção e agregação de valor ao empreendimento. Segundo Melhado (2001), os projetos

têm importantes repercussões nos custos e na qualidade dos empreendimentos e, assim, a qualidade do projeto é fundamental para a qualidade do empreendimento. Para Franco e Agopyan (1994), é na fase de projeto que são tomadas as decisões que trazem maior repercussão nos custos, velocidade de construção e qualidade dos empreendimentos. Para Barros (1996), a fase de projeto bem realizada possibilita evitar futuros problemas de patologias nas construções e, principalmente, reduzir os custos.

Fabricio (2002) afirma serem fundamentais a concepção e o processo de projeto para a qualidade, eficiência e a sustentabilidade da edificação, além da eficiência dos processos construtivos. Para Blumenschein (2004), os projetos devem receber mais atenção se o objetivo for garantir que um edifício seja sustentável porque estes estão diretamente ligados à sua durabilidade e a adequação da edificação ao longo do tempo. Atualmente, os projetistas brasileiros estão começando a recorrer à metodologia *Building Information Modelling* (BIM) para o desenvolvimento dos projetos. Se aplicada adequadamente, esta se apresenta como uma potencial ferramenta para a redução de erros de projetos que se tornam, muitas vezes, problemas futuros de desempenho das edificações ao longo de seu ciclo de vida.

O desenvolvimento completo de um projeto passa por muitas etapas e envolve no mínimo quatro atores: poder público, empreendedor, projetistas e usuários. A figura 1.1 mostra que a interação entre esses atores é constante e muito relevante para o sucesso do empreendimento. Ampliar a interface entre as atividades de cada um desses atores pode contribuir para o processo como um todo.

A ferramenta computacional que é desenvolvida na presente tese poderá ser utilizada na interface entre os atores citados no início do processo de projeto (estudo de viabilidade). Como mostra a figura 1.2, o início das atividades é quando se dá a grande oportunidade de influenciar nos custos do empreendimento.

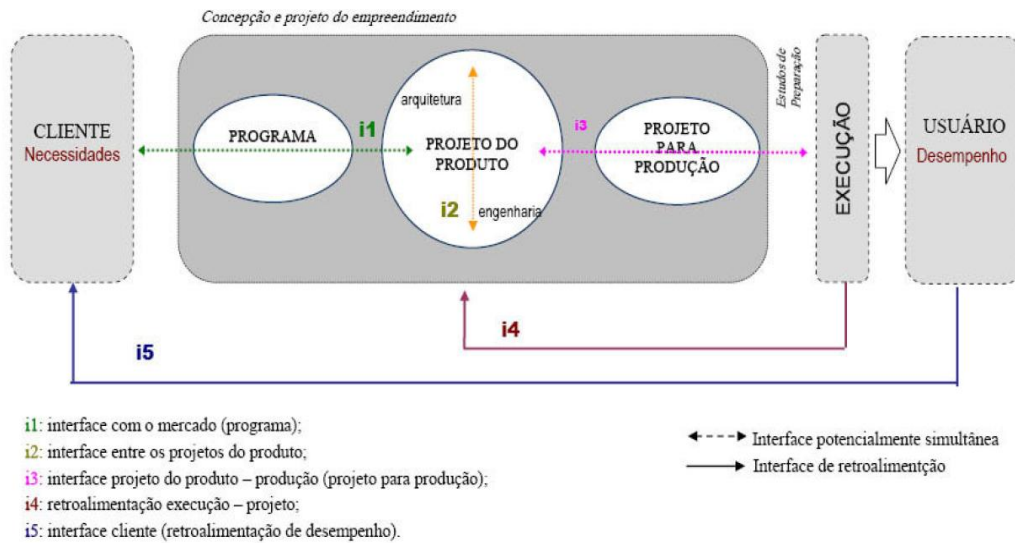


Figura 1.1 – Interfaces do processo de desenvolvimento do produto.
 Fonte: Fabrício (2002).

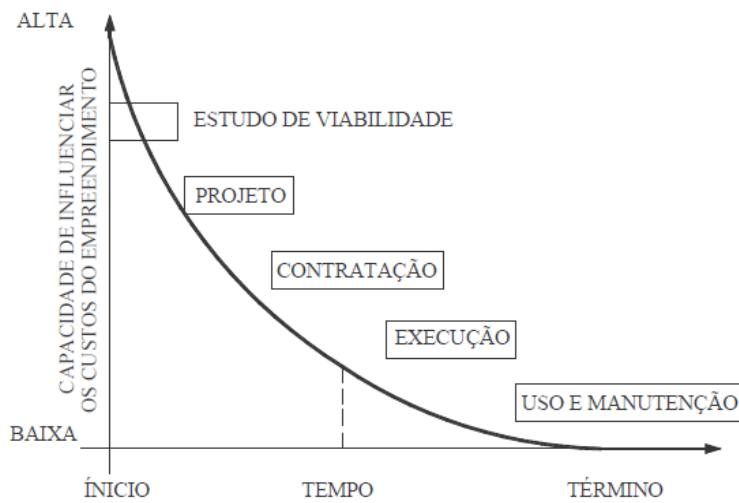


Figura 1.2 – Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo das fases.
 Fonte: CII (1987) apud Melhado (1994)⁵.

⁵ CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. *Constructability: a primer*. 2.ed. Austin, 1987. (CII publication, n. 3-1).

1.4. Objetivos

1.4.1. Geral

Desenvolver uma ferramenta a partir de um método de decisão multicritério (ELECTRE-III) para auxiliar à tomada de decisão sobre os aspectos relativos ao desempenho termoenergético das envoltórias de edificações habitacionais e sistemas de aquecimento de água para banho em fases iniciais de planejamento do empreendimento (conceituação e definição do produto e estudo preliminar do projeto), tendo em vista os custos associados às soluções adotadas.

1.4.2. Específicos

- Identificar aspectos nas políticas e normativas internacionais, principalmente alemãs, que poderiam ser adaptados ao caso brasileiro para incluir o custo das soluções construtivas nas avaliações de desempenho termoenergético das edificações.
- Estabelecer metodologia para avaliação simultânea do desempenho termoenergético e dos custos de envoltórias de edificações habitacionais, bem como, do sistema de aquecimento de água para banho;
- Desenvolver um estudo de caso para balizar e exemplificar a aplicação da metodologia desenvolvida.

1.5. Estrutura do texto

Este trabalho está organizado em seis capítulos, além dos apêndices e anexos. O presente capítulo introduz o problema, define as premissas do trabalho e estabelece os objetivos. O segundo capítulo apresenta uma contextualização política e econômica da situação do mercado habitacional brasileiro e também estabelece comparação entre aspectos da política de eficiência energética brasileira e de alguns exemplos internacionais: Alemanha, Portugal e México. Em seguida, no capítulo 3, foi descrito o referencial teórico da pesquisa que é

composto por três conjuntos principais de informações: (i) projetos de empreendimentos de base imobiliária, (ii) critérios de desempenho termoenergético e (iii) análise multicritério. Concluindo este capítulo foi feita uma reflexão sobre a interferência desses marcos teóricos sobre a metodologia proposta pela pesquisa. O procedimento metodológico e a ferramenta desenvolvida (RESIDE) estão apresentados no capítulo quatro, assim como o estudo de caso proposto para avaliar a aplicabilidade do *software* RESIDE. Os resultados de aplicação do RESIDE juntamente com resultados parciais que compõe o banco de dados do *software* são apresentados e discutidos no capítulo cinco. No sexto capítulo são apresentadas considerações finais sobre o trabalho, bem como seus limites e oportunidades de trabalhos futuros. Finalmente, os apêndices e anexos trazem desenvolvimentos e informações relevantes para a compreensão do método, bem como artigos desenvolvidos durante a pesquisa e o manual do *software*.

2. Contextualização geral

Para tratar de eficiência energética é preciso conhecer o contexto social, econômico e político em questão, pois é deste que proveem as barreiras para uma melhoria da eficiência energética, assim como as medidas já adotadas e que necessitam ser superadas. Essas barreiras têm muitas origens (técnica, econômica, social, política, etc.) e também graus distintos de complexidade de superação (GELLER, 2003).

Esse capítulo apresenta o contexto brasileiro no que se refere ao mercado de base imobiliária sob o ponto de vista econômico e político. Em seguida, são apresentadas experiências internacionais de políticas para incentivo da eficiência energética nas habitações. Por fim, é realizada uma avaliação da situação brasileira, onde se aponta as principais barreiras para melhoria da eficiência energética nas habitações. Comenta-se também sobre as medidas políticas adotadas para superar estas barreiras e, ainda uma comparação com alguns exemplos internacionais.

2.1. Contexto brasileiro

O setor da construção civil vem experimentando, desde 2004, um novo ciclo de crescimento comparado com o “milagre econômico” da década de 1970 e com o impacto provocado pelo já extinto Banco Nacional da Habitação (BNH). Os números referentes ao PIB do setor, figura 2.1, mostram que, entre 2004 e 2011, o crescimento foi bastante significativo. Excepcionalmente em 2009, houve retração em função do impacto da crise financeira global, com recuperação nos anos seguintes. Números positivos são verificados também relativos ao nível de emprego nos últimos seis anos.

Esses resultados são consequências dos avanços institucionais e econômicos obtidos pelo país desde 1990, refletidos principalmente no crescimento real da renda da população, na drástica redução dos índices de inflação e da taxa de juros durante esse período.

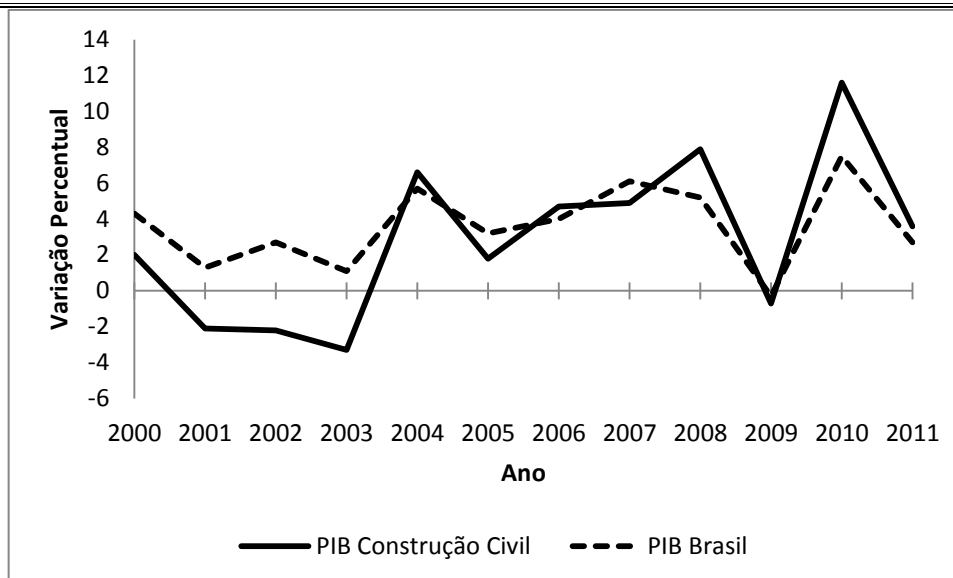


Figura 2.1 – Crescimento PIB construção civil e Brasil – 2000 a 2011.
Fonte dos dados: IBGE - Sistema de Contas Nacionais, (2012). Elaborado pela autora.

Os avanços do mercado brasileiro de construção civil têm relação direta com a aprovação de legislações voltadas para regulamentação do setor. Em 1997, a Lei 9.514 (BRASIL, 1997) instituiu o Sistema de Financiamento Imobiliário. A partir dessa, foram criadas as companhias securitadoras de crédito imobiliário⁶, introduzida a alienação fiduciária de bens imóveis⁷ e estabelecidos os créditos de recebíveis imobiliários⁸.

Em 2004, foi aprovada a Lei 10.931(BRASIL, 2004), que é responsável pelo aprimoramento do patrimônio de afetação⁹ e tem como objetivo principal proteger o

⁶ São instituições não-financeiras, constituídas sob a forma de sociedade por ações, destinadas a efetuar a aquisição e securitização de créditos, assim como realizar a emissão e colocação no mercado financeiro de créditos recebíveis imobiliários, podendo emitir outros títulos de crédito, realizar negócios e prestar serviços compatíveis com as suas atividades.

⁷ Alienação fiduciária é a transferência da propriedade de um bem móvel ou imóvel do devedor ao credor para garantir o cumprimento de uma obrigação.

⁸ Certificado de Recebíveis Imobiliários (CRI) é um título de crédito nominativo, de livre negociação, lastreado em créditos imobiliários e que constitui promessa de pagamento em dinheiro.

⁹ Patrimônio de afetação é constituído do patrimônio próprio de cada empreendimento imobiliário, não se confundindo com o restante do patrimônio da empresa. Assim, o patrimônio de cada empreendimento imobiliário é contabilmente apartado do patrimônio total da empresa responsável pela construção e/ou incorporação do imóvel. O patrimônio de afetação de cada empreendimento

adquirente de imóveis. Estabeleceu-se, ainda, para os casos de disputas judiciais, a continuidade do pagamento do valor incontroverso (parcela da prestação sobre a qual não há discordância). Já em 2005, com a aprovação da Lei 11.124 (BRASIL, 2005), o país obteve o primeiro marco regulatório voltado para habitação de interesse social. Esta legislação instituiu o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social e criou o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social. Embora ainda não esteja completamente implantada, a lei determina a articulação dos recursos das esferas federal, estadual e municipal para subsidiar a habitação para as famílias de baixa renda.

Outras medidas governamentais também contribuíram para recuperação do setor da construção. Uma delas ocorreu em 2004, quando o governo pressionou os bancos para elevarem o percentual de recursos da poupança voltados ao financiamento habitacional. Como exemplo de resultado dessa medida pode-se citar o volume de recursos destinados a financiamentos habitacionais na Caixa Econômica Federal (CEF). Em 2004, o banco destinava cerca de R\$ 3 bilhões e, em 2008, esse valor superou os R\$ 25 bilhões, de acordo com dados do SINDUSCON-SP e FGV (2008). Além disso, a concessão do financiamento se tornou mais ágil, os juros menores e os prazos de pagamento se alongaram. Ainda de acordo com o SINDUSCON-SP e FGV (2008), isso permitiu a expansão da produção imobiliária para a classe média baixa.

Em 2006, o governo reduziu o Imposto sobre Produto Industrializado – IPI – de diversos materiais de construção. Em 2007 e 2010, lançou o primeiro e o segundo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC e PAC 2), respectivamente. Os resultados desses programas não apareceram na velocidade prevista inicialmente, mas de acordo com o SINDUSCON-SP, foram importantes para impulsionar o setor.

Outra vertente de avanços observados no período diz respeito à revisão e publicação de normas técnicas para o setor de construção civil. Para citar alguns exemplos, ocorreu em 2005, a publicação da NBR15.220:2005 - *Desempenho Térmico de Edificações*, norma que será objeto de comentário no próximo capítulo

objetiva evitar que o incorporador utilize recursos de um empreendimento em outros, visando resguardar o regular andamento do empreendimento em questão.

da presente tese. No ano seguinte foi publicada a revisão da NBR12.721:2006 - *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento* e, em 2008, a norma de desempenho para edificações de até 5 pavimentos (NBR15.575:2008). Essa é a primeira norma brasileira voltada para o desempenho das edificações habitacionais e também será apresentada no capítulo a seguir.

Esse conjunto de medidas não foi suficiente para responder aos mais céticos que consideram a possibilidade de criação de uma “bolha” no mercado brasileiro, a exemplo do que ocorreu em passado recente nos EUA e Europa. Entretanto, um estudo desenvolvido pela Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young (2008), afasta esse risco, baseado em duas considerações importantes: (i) no Brasil as condições de concessão de crédito habitacional são muito restritivas e (ii) há um horizonte de grande demanda. O referido estudo desenhou um cenário de referência para determinar as projeções do mercado imobiliário brasileiro analisando simultaneamente os fatores demográficos e a dinâmica socioeconômica. Em outras palavras, integraram-se as projeções de necessidade habitacional do país com o panorama traçado para a economia brasileira.

As necessidades habitacionais de um país são influenciadas por três elementos principais:

- Dinâmica familiar: formação de novas famílias, determinante principal para as necessidades habitacionais de um país, que sofre impacto da evolução da renda e do crescimento da população;
- Déficit habitacional;
- Depreciação: reposição do estoque habitacional.

Estima-se que em 2030, 91,1% da população brasileira esteja vivendo nas cidades. A pirâmide etária, figura 2.2, desenvolvida pela Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young (2008), mostra ainda que aproximadamente 60% da população terá 30 anos ou mais. Logo haverá mais adultos aptos a formar família e a demandar moradia. De acordo com as projeções do estudo citado, em 2030 o número de famílias brasileiras

será superior a 95,5 milhões, número que representa um crescimento de 58% em relação a 2007 (60,3 milhões de famílias).

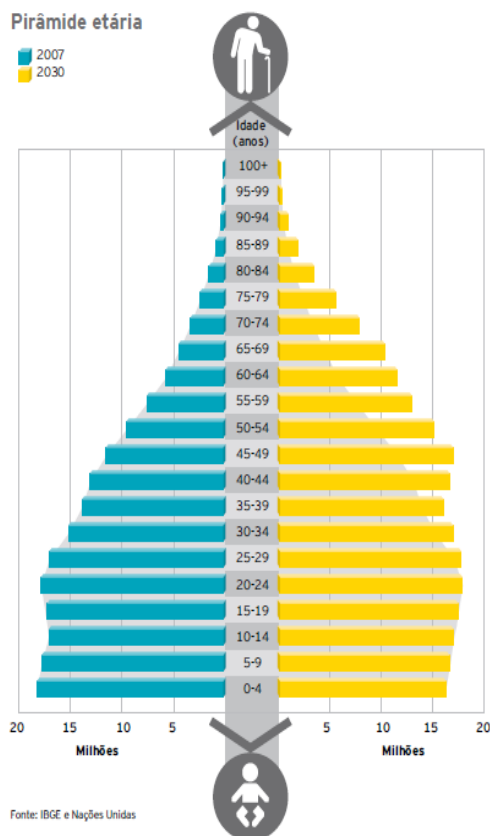


Figura 2.2 – Pirâmide etária brasileira – 2007 e 2030.
Fonte: Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young (2008).

Esse crescimento ocorrerá em dois períodos distintos, ainda de acordo com o relatório da Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young (2008). O primeiro se encerrará em 2017, onde 57% dos 15,3 milhões de novas famílias se encontrarão na base da pirâmide social. A partir de 2017, a tendência muda, com 78% dos 19,9 milhões de famílias com rendimentos entre R\$ 2 mil e R\$ 8 mil por mês. Esses momentos distintos têm implicações sobre a política habitacional e também sobre os negócios das empresas de construção. A alteração do perfil do público-alvo interfere na relevância dos subsídios e na configuração dos produtos oferecidos.

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, as necessidades habitacionais ainda não são plenamente atendidas. Por isso, além da demanda

crescente por novas habitações ocasionada pela formação de novas famílias, o potencial de expansão do mercado deve considerar também o déficit habitacional. A carência de moradia tem duas dimensões basicamente. A primeira é a inadequação de moradias (domicílios improvisados, cortiços, casas rústicas, etc.) que correspondia em 2005, de acordo com Fundação Getulio Vargas e Ernst & Young (2008), a aproximadamente 45% do déficit brasileiro. A segunda dimensão é a coabitação, ou seja, residências que possuem mais de uma família. Essa dimensão representa a maior parcela do problema. Em algumas regiões do país a questão se agrava, chegando a ser responsável por quase 75% do déficit, como no centro-Oeste, por exemplo. Em todo o país, o problema se concentra nas faixas de menor renda familiar. Somando os déficits por inadequação e coabitação o valor chega a quase 20% das famílias com renda de até R\$ 1 mil.

O terceiro elemento que influencia as necessidades de habitação de um país é a depreciação ou reposição de moradias. O relatório citado anteriormente apresentou a estimativa de que a idade média dos imóveis brasileiros é de 35 anos e considerou a sua vida útil em torno de 50 anos, sendo a taxa de depreciação de 3% ao ano. Assim, em 2008, seriam necessários R\$ 59 bilhões para repor a depreciação dos imóveis residenciais brasileiros. Como a necessidade de reposição varia com a renda, cerca de 60% deste montante deveria ser destinado às famílias com rendimentos de até R\$ 2 mil reais por mês.

De modo geral, a efetivação da demanda demonstrada depende de condições econômicas como renda da família, eficácia da política habitacional e estrutura de financiamento, sendo a última peça fundamental.

O relatório “*Brasil sustentável: potencialidades do mercado habitacional*” (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS e ERNST & YOUNG, 2008) projeta a situação do mercado da construção civil em 2030 com base em um cenário de referência que prevê: (i) crescimento econômico médio de 4% ao ano¹⁰, (ii) alta mobilidade social, (iii) redução gradativa das taxas de juros dos financiamentos habitacionais para o patamar de 7,5% ao ano em 2030 e (iv) ampliação gradativa do volume de

¹⁰ Em 2008, 2009 e 2010, o crescimento da economia brasileira foi, respectivamente, 5,1%; -0,2%; 7,5%, cuja média se aproxima da estimada. Fonte: Sistema de Contas Nacionais, IBGE, 2012.

subsídios. A figura 2.3 mostra um histórico dos investimentos habitacionais no Brasil e evidencia o vigoroso crescimento esperado para o período de 2008 a 2030. Grande parte desses investimentos - 57,9% - deverão se concentrar na região Sudeste do país, devido ao maior déficit habitacional em números absolutos.

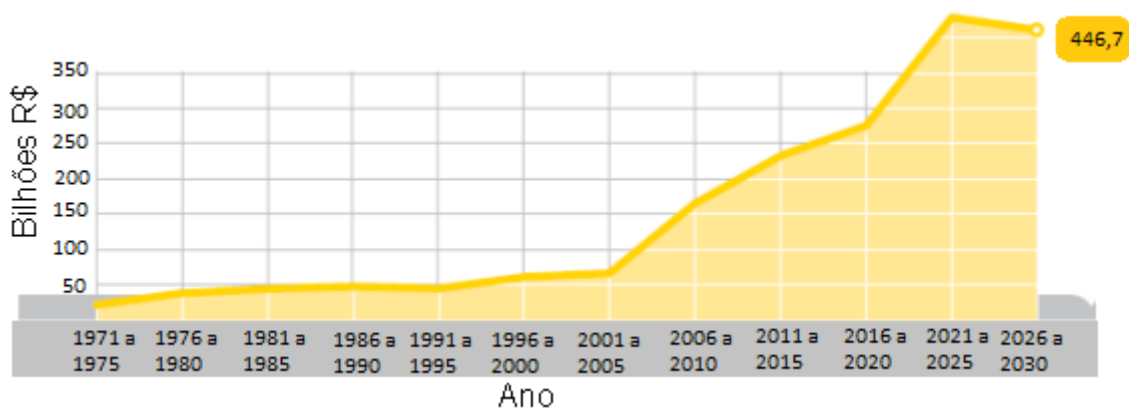


Figura 2.3 – Histórico e projeção de investimentos habitacionais.
Fonte: Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young 2008. (*) A preços de 2007.

Ainda de acordo com esse trabalho, a figura 2.4 mostra que é esperada uma significativa valorização dos imóveis, aumento de 4,8% em média ao ano das vendas de materiais de construção e, principalmente, a elevação do crédito imobiliário que, como já foi apresentado, é a peça-chave para efetivação da demanda.

O cenário de referência prevê a construção de 37 milhões de unidades habitacionais até 2030, em média 1,6 milhão por ano. Deste modo, o déficit devido à inadequação estaria eliminado completamente em 2030 e a coabitação sofreria redução significativa, passando a representar 2,5% do total de domicílios, incluindo neste contingente a coabitação por opção.

A situação socioeconômica brasileira e o cenário demográfico têm chamado a atenção dos investidores internacionais que já vinham procurando novos mercados por causa da crise conjuntural estadunidense e do esgotamento de demanda na Europa. O interesse internacional está motivando as empresas a abrirem seu capital na bolsa de valores e como os investidores têm foco nos resultados financeiros e

não em aspectos técnicos, a incorporação¹¹ e a construção¹² têm se tornado mercados muito distintos.

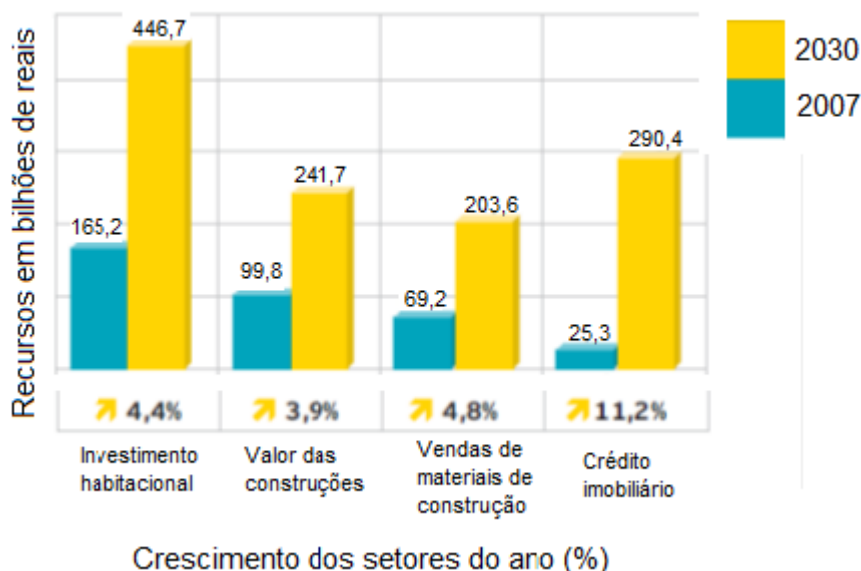


Figura 2.4 – Projeção de crescimento de setor da indústria da construção civil.

Fonte: Fundação Getúlio Vargas e Ernst & Young 2008. (*) A preços de 2007. (**) Para construção e reforma de moradias. (***) Concedido no ano.

Para completar o quadro da situação brasileira é relevante analisar as políticas públicas vigentes para o setor de habitação e uso eficiente da energia.

2.2. Políticas públicas brasileiras

Para analisar as políticas públicas brasileiras relativas ao tema de interesse são apresentados três documentos que têm a função de estruturar os setores de energia, habitação e eficiência energética, quais sejam: (i) Plano Nacional de Energia 2030, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética ligada ao Ministério de Minas e Energia; (ii) Plano Nacional de Habitação por encomenda do Ministério das Cidades e (iii) Plano Nacional de Eficiência Energética desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia. Além desses planos de abrangência mais ampla,

¹¹ Focada em assuntos pré-operacionais dos projetos construtivos, ou seja, a concepção e o planejamento dos empreendimentos.

¹² Interessada nas fases de execução, monitoramento e finalização.

foi selecionado o programa PROCEL Edifica para descrever como tem sido a atuação das políticas públicas relacionadas diretamente com a questão do desempenho termoenergético das edificações.

2.2.1. Plano Nacional de Energia 2030

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) (EPE, 2007) é um documento que trata da questão energética brasileira a longo prazo, desenvolvido sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia. O documento aborda em 10 capítulos assuntos como as projeções de demanda e oferta de energia por fonte e setor econômico, além de questões de inovação e eficiência energética.

Para este trabalho de tese, o capítulo de interesse é o que trata da Eficiência Energética, pois a intenção é compreender como a política energética estabelece o potencial de melhoria da eficiência do parque edificado. Esse capítulo apresenta 15 estratégias, sendo: cinco gerais, quatro estruturantes e seis operacionais.

De maneira geral, pode-se dizer que o objetivo dessas estratégias é fornecer condições para a criação de um mercado de eficiência energética no Brasil. Além disso, a criação de condições propícias para que se desenvolva. Atualmente os investimentos nessa área são marginais diante daqueles destinados ao aumento de oferta de energia, por exemplo. (EPE, 2007).

Nas estratégias operacionais têm-se claramente a identificação das edificações como elemento importante para a promoção da eficiência energética. As estratégias apontam a necessidade de integração da política energética com outras políticas setoriais, como no caso dos transportes, e também com outros setores da sociedade, por exemplo, o industrial.

Entretanto, as estratégias são muito amplas e o PNE 2030 não apresenta informações mais detalhadas sobre a maneira de colocá-las em prática. O detalhamento dessas estratégias foi realizado no Plano Nacional de Eficiência Energética, que será apresentado adiante.

2.2.2. Plano Nacional de Habitação

O Plano Nacional de Habitação (PlanHab) representa uma tentativa de retomada do planejamento em escala nacional sobre habitação no Brasil. É um documento muito vasto que foi desenvolvido pelo LabHab da Universidade de São Paulo, pela Via Pública e pela Logos Engenharia para o Ministério das Cidades. Esse documento é composto de seis partes, algumas delas publicadas em 2007 e outras em 2008. É um plano de horizonte de longo prazo, 2023 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Como não houve a identificação de um capítulo ou produto mais relevante a essa pesquisa, segue uma breve apresentação de todos os resultados desse trabalho, chamados de produtos.

- Produto 1 - Estrutura e mecanismos de participação durante a elaboração do PlanHab e definição das versões para discussão com as instâncias participativas.
- Produto 2 - Contextualização do Plano Nacional de Habitação: análise e sistematização do contexto habitacional atual, estrangulamentos, potencialidades e cenários possíveis.
- Produto 3 - Principais cenários, assim como as diretrizes estratégicas de enfrentamento da problemática habitacional até 2023, considerando os princípios, objetivos e diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Habitação, a implementação do Sistema Nacional de Habitação e a regulamentação do Fundo Nacional de Habitação Interesse Social e demais legislações referentes às fontes de recursos dos programas habitacionais.
- Produto 4 - Definição do arranjo institucional e do papel dos agentes.
- Produto 5 - Plano de ação, estratégias e mecanismos de implementação do PlanHab.
- Produto 6 - Estruturação do modelo de garantias e seguros e simulações socioeconômicas de população por faixas de renda e tipologia de cidades.

É interessante observar, especialmente nos produtos 3, 5 e 6, que estes apresentam, respectivamente, estimativas de fontes de financiamento e subsídios, quantificação de custos de intervenção em diferentes tipologias de cidades e avaliação dos modelos de garantia e a capacidade de pagamento das famílias.

Porém não se calcula o impacto que esse plano de redução do déficit habitacional terá sobre a matriz energética brasileira. Vale ressaltar que o PNE2030, por outro lado, também não considera a eliminação do déficit habitacional. Além disso, o PlanHab não determina diretamente o desempenho esperado dessas edificações em relação às condições técnicas, térmicas e energéticas. Essa observação não tem o intuito de criticar o Plano Nacional de Habitação, sendo o mesmo um documento consistente. A intenção é indicar as oportunidades de melhoria no planejamento do governo, pois não há articulação entre os diferentes agentes planejadores. No caso específico da energia e das edificações, a avaliação interdisciplinar tem grande potencial de enriquecer o trabalho de planejamento, o que foi, inclusive, citado pelo PNE2030. Mas esses dois importantes planos, publicados no mesmo ano, não apresentam qualquer integração. Os planos transparecem a inexistência de colaboração entre os trabalhos do Ministério das Cidades e do de Minas e Energia, embora exista uma interface clara entre eles. Pode-se supor que a falta de integração durante a criação de políticas públicas estruturantes na mesma esfera de poder, como essas, tende a se repetir em outros níveis de planejamento, como o estadual e municipal.

2.2.3. Plano Nacional de Eficiência Energética

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) foi aprovado pelo governo brasileiro em outubro de 2011 e tem como objetivo principal detalhar as estratégias para alcançar a meta de redução da demanda projetada até 2030, conforme consta no PNE 2030. Esse documento é composto de 17 capítulos tratando do assunto a partir dos aspectos de educação, regulação, indústria entre outros. Este trabalho tem interesse especial pelos capítulos que tratam das edificações e dos programas de eficiência energética em aquecimento solar de água.

Em relação às edificações o documento apresenta uma visão geral sobre o programa de eficiência energética de edificações (detalhado em seguida) e as regulamentações existentes (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, Públicas e de Serviços – RTQ-C - e Residenciais – RTQ-R), enfatizando o potencial de redução de energia elétrica

destinada à iluminação, ao condicionamento de ar e à envoltória de 30% para edificações existentes e de 50% para novas construções (MME, 2011). Além disso, lista, mostrando poucos detalhes, propostas para superar as barreiras existentes à evolução da eficiência energética nas edificações. Entre as propostas apresentadas há grande preocupação com a sensibilização e capacitação de profissionais (arquitetos e engenheiros) para lidar com as questões de eficiência energética nas edificações, bem como a disseminação das informações entre o público em geral, usuários em potencial. As propostas também tratam dos aspectos tecnológicos, como desenvolvimento de normas técnicas de desempenho termoenergético para produtos, instalações e sistemas construtivos; de métodos para ampliar o monitoramento de medição e verificação; de sistemas computacionais amigáveis para simulação de desempenho termoenergético em projeto; de critérios para realização de avaliações periódicas e de aplicações da bomba de calor. Em relação às regulamentações, demonstrou-se interesse em promover a integração dessas com as legislações de uso e ocupação do solo e códigos de obras municipais (MME, 2011). O PNEf traz ainda a previsão para que o RTQ-C e o RTQ-R se tornem obrigatórios. O primeiro grupo de edificações a ter avaliação obrigatória são as edificações públicas, o que deve ocorrer em 2021. O RTQ-C deve ser tornar obrigatório para as edificações comerciais e de serviços em 2026. E em 2031 para as edificações residenciais.

Existem ainda propostas específicas para habitações em que se observa a preocupação em criar sinergia entre as políticas habitacionais e energéticas e estimular a inserção de conceitos de eficiência energética em edificações financiadas pelos agentes públicos (MME, 2011).

O capítulo que trata exclusivamente da questão do aquecimento solar de água tem como objetivo fazer um diagnóstico da situação brasileira e criar bases para acelerar o uso dos sistemas de aquecimento solar (SAS) no país. Comparando com o capítulo que trata das edificações, esse apresenta as diferentes ações existentes no país e propostas mais objetivas para superar as barreiras claramente identificadas. As barreiras são listadas a partir de quatro aspectos: econômico, tecnológico, normativo e social. Do ponto de vista econômico é preciso facilitar o acesso ao crédito para instalação do sistema e promover incentivos fiscais. O principal gargalo

tecnológico é a falta de mão-de-obra de projeto, instalação e manutenção. A definição de um marco regulatório nacional para os SAS é a barreira normativa e a barreira social está relacionada à difusão do conhecimento dos SAS entre os usuários, agentes financiadores, planejadores municipais e projetistas (MME, 2011).

2.2.4. PROCEL Edifica

O PROCEL Edifica, instituído em 2003, é um subprograma do programa PROCEL e voltado à eficiência energética nas edificações aliada ao conforto ambiental. De acordo com as informações do PROCEL (ELETROBRÁS, 2010), a atuação ocorre de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil.

O programa tem como metas o desenvolvimento de um conjunto de projetos visando:

- Investir em capacitação tecnológica e profissional, estimulando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira, de forma a reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações;
- Atrair um número cada vez maior de parceiros ligados aos diversos segmentos da construção civil, melhorando a qualidade e a eficiência das edificações brasileiras;
- Divulgar os conceitos e práticas do bioclimatismo, por meio da inserção do tema conforto ambiental e eficiência energética nos cursos de Arquitetura e Engenharia, formando uma nova geração de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável do país;
- Disseminar os conceitos e práticas de eficiência energética nas edificações e conforto ambiental entre os profissionais de arquitetura e engenharia, e aqueles envolvidos em planejamento urbano;
- Apoiar a implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) no que se refere às edificações, além de orientar tecnicamente os agentes envolvidos e técnicos de prefeituras, para adequar seus Códigos de Obras e Planos Diretores;

O PROCEL Edifica vem trabalhando através de seis vertentes de atuação, quais sejam: Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética e Planejamento. Entretanto, nem todas possuem projetos de atuação desenvolvidos. Atualmente, a principal atividade do programa é o desenvolvimento dos regulamentos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética de edificações comerciais e de serviços e residenciais.

O regulamento para edifícios comerciais e de serviços já está em vigor desde junho de 2009. Complementar a esse programa foi lançado o ProCopa que visa financiar, via BNDES, a construção, reforma, ampliação e modernização de hotéis que obtenham certificação de eficiência energética nível A (INMETRO, 2010). Até o momento, o número de certificados emitidos é baixo, 30 edificações.

O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi lançado em setembro de 2010 com o objetivo de criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de unidades habitacionais autônomas, de edificações residenciais multifamiliares e de áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios residenciais. O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do INMETRO. No capítulo a seguir esse instrumento será descrito com maiores detalhes.

Os regulamentos do PROCEL são instrumentos de abrangência nacional. Inicialmente a adesão é voluntária, entretanto espera-se tornar obrigatória após alguns anos de vigência, como consta no PNEf. Apesar das iniciativas do PROCEL, como cursos fornecidos a multiplicadores, rede de 15 laboratórios de universidades para equipe de apoio, campanhas para conscientização dos usuários para estimular o mercado a produzir edificações mais eficientes, entre outras; ainda não está claro como se dará a operacionalização desses instrumentos quando vier a se tornar obrigatório. A fase atual, de adoção voluntária das etiquetas, é um processo com avanço naturalmente mais lento.

Até o momento, as iniciativas se concentram, principalmente, nas capitais e suas regiões metropolitanas e o volume de recursos para superar as barreiras

apresentadas é tímido. Para o biênio 2009/2010, de acordo com o PROCEL, foram destinados apenas três milhões de reais para realizar investimentos em todas as suas seis vertentes. Não há informações disponíveis sobre o orçamento do biênio vigente.

Para entender melhor a situação brasileira é relevante fazer uma análise comparativa com outros contextos. A seguir apresenta-se uma breve contextualização das situações portuguesa e mexicana. Portugal tem em comum com o Brasil o programa de eficiência energética em fase de implantação. O México, além desse ponto, também tem o desafio do déficit habitacional para superar. O terceiro contexto é o alemão, que está apresentado com maiores detalhes por se tratar de um programa de eficiência energética já consolidado. Busca-se identificar aspectos nas políticas e normativas alemãs que poderiam ser adaptados ao caso brasileiro para incluir o custo das soluções construtivas nas avaliações de desempenho termoenergético das edificações.

2.3. Contexto Internacional

2.3.1. Portugal

O primeiro instrumento legal de Portugal com requisitos ao projeto para garantir conforto térmico e desempenho energético é de 1990. Foi a Diretiva nº2002/91/CE do Parlamento Europeu (2003) relativa ao desempenho energético dos edifícios, promulgada em dezembro de 2002, que intensificou o processo de desenvolvimento de instrumentos para estabelecer o desempenho energético esperado das edificações portuguesas. Os objetivos da Diretiva nº 2002/91/CE, que deve ser seguida por todos os membros da união europeia, passam (i) pelo enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios; (ii) pela aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação; (iii) pela inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios; e (iv) pela avaliação da instalação de aquecimento quando houver caldeiras com mais de 15 anos. Destaca, ainda, a necessidade da implementação de um sistema de certificação energética capaz de

informar ao cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, em situação de construção, venda, aluguel ou arrendamento, permitindo aos futuros usuários a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou estimados para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes). O instrumento elaborado para atender a diretiva citada deve considerar as características do país em relação à tecnologia construtiva, ao clima e à economia. Foi essa mesma Diretiva nº 2002/91/CE que orientou o sistema de certificação alemão, apresentado a seguir.

Em resposta às determinações da diretiva, em 4 de abril 2006, foram promulgados três decretos que tratam dessa questão: decreto-lei nº 78/2006 que instituiu o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, o decreto-lei nº79/2006 que publicou a revisão do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o decreto-lei nº80/2006 que trata do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (PORTUGAL, 2006 a,b,c).

Os regulamentos RCCTE e RSECE tiveram a aplicação iniciada em julho de 2006, em caráter experimental. Progressivamente foi-se ampliando o escopo de edificações que deveriam ser avaliadas pelos regulamentos, até que em janeiro de 2009 todas as edificações negociadas (vendidas, alugadas ou arrendadas) deveriam ser submetidas à certificação.

No Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética 2015 de Portugal (PNAEE 2015) há definição objetiva de metas para o percentual de economia esperado em cada aspecto avaliado, como mostra a figura 2.5 (ADENE, 2008).

Porém, observou-se que os programas de uso eficiente da energia estão sofrendo as consequências da crise econômica que o país enfrenta. O relatório anual da Agência para Energia (ADENE) sobre o PNAEE 2015 mostrou que os dados de 2009 ficaram aquém do esperado (ADENE, 2010).

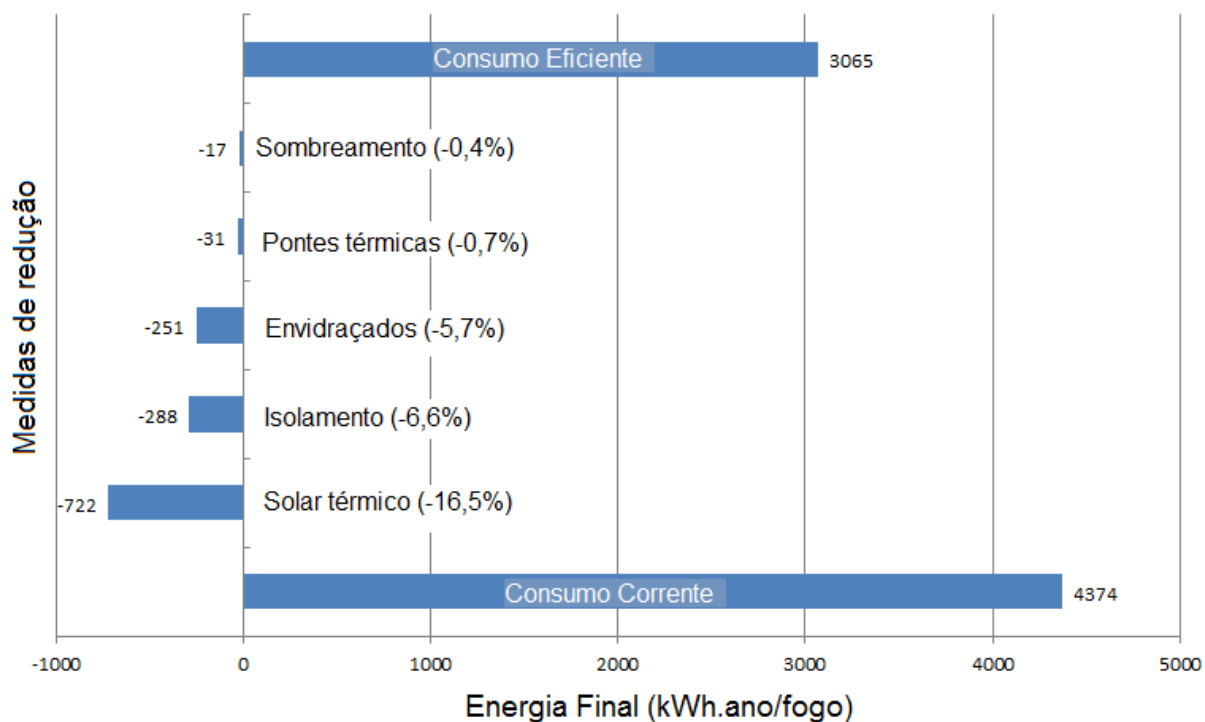


Figura 2.5 – Metas de redução do PNAEE para edificações.
 Fonte de dados: ADENE (2008). Elaborado pela autora.

2.3.2. México

A experiência mexicana é muito útil, pois mostra que é possível um país em desenvolvimento, que vem passando por intensa urbanização nas últimas décadas, com características socioeconômicas semelhantes às do Brasil, conseguir um patamar mais alto de crédito imobiliário (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG 2008). Atualmente, de acordo com esta última fonte, o Brasil precisaria triplicar o número de financiamentos concedidos, considerando o ano de 2007, para chegar ao patamar mexicano. Mesmo assim, os investimentos habitacionais mexicanos ainda são baixos em comparação com economias desenvolvidas, mas seu crescimento continuado a partir dos últimos anos da década de 1990 permitiu a obtenção de resultados expressivos. Os investimentos em habitação aumentaram 33% entre 1995 e 2005 e responderam por 0,50 ponto percentual da taxa de crescimento econômico de 3,62%. Enquanto a taxa média de crescimento do Brasil entre 1995 e 2005 foi de 2,38%, com uma contribuição de 0,27 ponto percentual dos investimentos em habitação. A comparação com a economia brasileira mostra que a expansão do PIB mexicano foi superior, sobretudo pelo bom desempenho de seu mercado imobiliário (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG 2008).

Mais do que entender os aspectos de política econômica que possibilitaram esse expressivo crescimento do setor da habitação no México, interessa compreender como esse crescimento está associado a questões voltadas para a melhoria da qualidade das habitações, passando inclusive pelo seu desempenho termoenergético. O México possui um sistema de planejamento de longo prazo baseado em Plano Quinquenal de Desenvolvimento, o qual inclui o Programa Nacional de Habitação Sustentável 2007-2012 (MÉXICO, 2008b).

O programa habitacional mexicano, de maneira geral, objetiva corrigir a tendência histórica de um crescimento urbano desordenado que não oferece qualidade de vida para as famílias, promovendo um desenvolvimento habitacional sustentável como novo paradigma de garantia de qualidade das habitações e do seu entorno. Ao analisar os objetivos e as estratégias desse programa, fica claro que o país ainda tem um longo caminho a percorrer. Porém, já apresenta dois resultados importantes: o Código de Edificação de Habitações (MÉXICO, 2007) e o documento de Critérios e Indicadores para o Desenvolvimento Habitacional Sustentável no México (MÉXICO, 2008a). O primeiro tem o propósito de contribuir com as autoridades locais no que se refere à elaboração de instrumentos legais e regulamentos de construção propondo critérios que definem as responsabilidades dos construtores das habitações no que se refere aos direitos dos usuários à segurança, habitabilidade, saúde, acessibilidade e sustentabilidade. Já o segundo apresenta as exigências para certificação de sustentabilidade das edificações habitacionais mexicanas a partir da avaliação das condições urbanas, do uso da energia e da água, do manejo dos resíduos, da estrutura e dos materiais empregados e dos fatores sociais.

Além desses documentos recentes, vale ressaltar que o México, desde a década de 1980, vem construindo um arcabouço de normas, legislações e guias voltados à melhoria do desempenho termoenergético das habitações, como (i) as normas bioclimáticas (Tomo VII); (ii) as normas INFONAVIT, voltadas para melhoria térmica das habitações considerando suas especificidades climáticas; (iii) as normas mexicanas para a eficiência energética das edificações não-residenciais; e (iv) o Guia de Uso Eficiente de Energia nas Habitações. (GÁLVEZ, 2008; MÉXICO, 2006).

Assim como o Brasil, o México ainda tem muitos desafios para superar. Porém o sistema de planejamento sistemático do país vem apresentando avanços sucessivos.

2.3.3. Alemanha

A política energética alemã tem recebido destaque mundial pelos incentivos às fontes de energia renováveis e à eficiência energética. Tal política ganhou muita força no início na década de 1990, segundo o Ministério da Economia e da Tecnologia alemão (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE, 2010). A implantação dessa política passou por todos os setores da economia alemã e alcançou também as edificações e os programas habitacionais do país. O governo alemão entende que o setor da construção civil é um setor fundamental para a economia e a política do país por dois motivos principais: (i) emprega aproximadamente dois milhões de pessoas e (ii) tem estreita relação com outros setores da economia, entre eles o setor energético (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG, 2010).

Essa relação entre o setor da construção civil e o de energia levou à elaboração de programas voltados ao uso eficiente da energia nas edificações. De modo geral, os programas têm foco nas reformas e reabilitações de edificações, pois 75% das 18 milhões de unidades habitacionais do país são anteriores a 1976, ano em que estava em vigor a primeira legislação sobre desempenho das edificações (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG, 2010).

Esse tema vem sendo tratado desde o século 19 no país. Os primeiros trabalhos abordavam a determinação da diferença aceitável entre temperatura média do ar exterior e interior e da taxa de renovação de ar necessária para ambientes com diferentes usos e volume de 75 m³. A primeira norma, que aborda a questão de isolamento térmico nas edificações, data de 1952. A DIN-4108, ainda em vigor, trata da transmitância das superfícies, das pontes térmicas nas esquadrias e do ruído em edifícios multifamiliares, sendo revista em geral a cada três anos (MAAS, 2005).

O impacto da crise do petróleo, na década de 1970, levou a promulgação da lei de conservação de energia – *Energieeinsparungsgesetz* – em 1976. Instituíram-se regras objetivas para definição do isolamento térmico das novas edificações que necessitassem de sistemas de aquecimento ou resfriamento. Naquele momento a determinação da transmitância máxima era feita com base na razão entre área de piso de ambientes aquecidos e o volume desses ambientes. A especificação de materiais da envoltória se dava a partir do limite máximo da transmitância, sendo que esses limites também variavam em função das três zonas climáticas estabelecidas. Os limites máximos foram sofrendo revisões e se tornando mais restritivos ao longo dos anos. Em função das diferenças pouco relevantes e da dificuldade de análise, retirou-se da norma a variação climática. Em 1995 o limite máximo para a razão entre área de piso e volume dos ambientes condicionados passou a ser a demanda anual de energia para aquecimento, avaliando apenas o calor útil demandado para aquecimento da edificação. O foco continuava no isolamento térmico das edificações (MAAS, 2005).

Em 2002, a Alemanha foi obrigada a se adequar a Diretiva nº2002/91/CE, já citada, e promulgou a portaria de conservação de energia, *Energieeinsparverordnung* (EnEV) (PARLAMENTO EUROPEU, 2003). A EnEV 2002 ampliou a avaliação, pois incluiu a energia primária necessária para o aquecimento ambiental, aquecimento de água e ventilação. Porém ainda não contemplava todos os aspectos determinados pela diretiva. A primeira revisão da EnEV aconteceu em 2004 e, na revisão seguinte, em 2007, a diretiva da comunidade europeia estava completamente atendida. A partir da EnEV 2009, versão vigente, tornou-se obrigatório apresentar o certificado de desempenho energético em todas as transações imobiliárias. Se o proprietário do imóvel em negociação não apresentar o certificado ou apresentar o certificado incompleto deverá pagar multa de aproximadamente 15 mil euros.

Essa revisão trouxe ainda uma significativa redução de 30% da demanda de energia primária anual nas novas construções de edifícios residenciais e não-residenciais se comparado com a versão de 2007 (EPBD, 2008). Para a próxima versão, EnEV 2012, espera-se outra redução de demanda, porém menor que a observada entre 2007 e 2009. Além disso, a classificação em letras deve entrar em vigor para facilitar a comparação entre imóveis. A meta da EnEV para 2020 é que seus limites

caracterizem as *Nullenergiehaus*, ou seja, casas de “energia zero” (TUSCHINSKI, 2012). Atualmente as *Nullenergiehaus* já têm viabilidade técnica, havendo, inclusive, alguns exemplos no mercado de empreendimentos que seguem esse conceito. Na verdade, o mercado alemão já dispõe de soluções para produzir edificações chamadas de *Plusenergiehaus*, ou seja, edificações que produzem mais energia do que consomem. Algumas *Plusenergiehaus* demonstrativas têm sido construídas para pesquisas e monitoramento.

Para aumentar o nível de exigência dos requisitos de desempenho da EnEV o principal gargalo é econômico. O conhecimento amplo da realidade econômica do mercado é fundamental para dar base às alterações propostas. O governo acompanha o desenvolvimento das pesquisas e da indústria por um lado e de outro desenvolve cenários futuros de custo de energia e de custo das soluções. Deste modo é capaz de aumentar o rigor da EnEV demonstrando aos consumidores o retorno do investimento em eficiência energética, sendo transparente através da disponibilização das informações no site da Agência de Energia (DENA). Além disso, prepara linhas de financiamentos específicas para os interessados em melhorar o desempenho das edificações. O banco do governo possui uma linha de crédito específica para financiar projetos de renovações residenciais com taxas de juros mais baixas que as praticadas normalmente no mercado. A tendência é que essas taxas se tornem menores ainda no futuro e que haja um volume maior de recursos destinados a essa linha (DENA, 2012).

Para reduzir a rejeição que o mercado poderia ter em relação à certificação da EnEV, foi proposto um sistema de avaliação completamente desburocratizado. A análise das edificações e a emissão dos certificados são feitas por profissionais da área de construção civil (arquitetos, engenheiros civis, técnicos em edificação, etc.) que frequentaram cursos de formação e uma avaliação de conhecimento. Atendendo às exigências, os profissionais podem solicitar a autorização para emitir certificados sem que seja necessário nenhum tipo de organismo de acreditação. Há fiscalização para verificar se os trabalhos são realizados conforme o método estabelecido e se os profissionais são habilitados para aquela atividade, havendo previsão de penalidades aos profissionais (DENA, 2012).

Um aspecto que chama atenção na certificação da EnEV é a base normativa que sustenta o processo. Vale destacar que as normas abrangem todos os setores da construção civil: desempenho dos materiais de construção, métodos de cálculo, método de execução dos serviços de construção, avaliação geral da edificação, entre outras (DENA, 2012). Essa base de procedimentos e métodos, formada por normas presentes no dia-a-dia dos projetistas, torna o processo mais fácil de assimilar e mais respeitado, sendo as normas conhecidas e seguidas pelo mercado. Além disso, as normas passam por revisões periódicas, o que mantém o grau de rigor e a abordagem atualizada. É parte dessa base, inclusive, a norma de desempenho de conforto ambiental (térmico, visual e acústico) para as edificações. Portanto, o aumento do desempenho energético só pode ocorrer se o desempenho de conforto ambiental mínimo for mantido.

O processo permite integração com políticas municipais de uso e ocupação do solo e mitigação das mudanças climáticas. Os municípios podem aumentar as exigências com base nos métodos da EnEV em vigor se isso for possível dentro da sua realidade socioeconômica e política. Isso pode ocorrer para tipologias específicas ou pode ser feito para todas as edificações de uma cidade (DENA, 2012).

Vale mencionar dois pontos relevantes para a disseminação da EnEV na sociedade alemã relacionados com a preocupação de o processo ser reconhecido como uma medida positiva tanto do ponto de vista coletivo como individual. O primeiro é a preocupação em tornar exigências da portaria de conservação de energia somente soluções com viabilidade econômica comprovada. Desde modo, os usuários são capazes de constatar que o investimento inicial será recuperado com a economia na sua conta de energia. O segundo ponto está relacionado com a proposição de um processo desburocratizado para emissão dos certificados, medida que não criou novos entraves para os empreendedores ou proprietários que são obrigados a apresentar o certificado para negociar seus imóveis.

2.4. Conclusão

Confrontando a realidade brasileira com os exemplos internacionais, a primeira observação que se pode fazer está relacionada à recente preocupação com o tema eficiência energética nas edificações no Brasil. Nosso clima, que afeta a demanda

energética nas edificações, e nossa matriz energética são duas fortes justificativas para a tardia atuação governamental sobre o tema. Diferentemente dos casos apresentados, a crise do petróleo da década de 1970 não teve grande impacto sobre o parque edificado no Brasil não suscitando, assim, a atenção do estado para essa questão naquele momento. As edificações passaram a ser observadas somente três décadas mais tarde com a crise no setor de eletricidade brasileiro.

Concomitante à crise energética brasileira, o mundo vivia o aumento da preocupação com as mudanças climáticas, fato que motivou um segundo momento de preocupação com o consumo energético das edificações. Portanto, houve a preocupação em aumentar o desempenho energético das edificações e para tanto foram desenvolvidos políticas e instrumentos de avaliação. O Brasil também precisou estabelecer medidas para superar as barreiras existentes para o uso eficiente da energia (foco principal em eletricidade) nas edificações.

Dez anos após a diretiva da União Europeia 2002/91/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2003) e onze anos após a Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001 (Lei de Eficiência Energética) (BRASIL, 2001) os resultados já alcançados nos países europeus são bem diferentes daqueles obtidos no Brasil. Não se pode esquecer que naqueles países já havia um arcabouço de instrumentos voltados para o desempenho energético das edificações. No Brasil, todo o processo demandou desenvolvimento, desde a identificação das barreiras para melhoria da performance energética até os instrumentos de avaliação. Considerando as políticas apresentadas por Geller (2003) e o contexto brasileiro, percebe-se que o estado trabalhou no sentido de desenvolver políticas para atuar sobre o problema. Porém, pode-se constatar que a desconexão entre essas políticas é significativa. O próprio PNEf (MME, 2011) aponta esse problema, porém não chega a proposição de medidas objetivas para superá-lo. As divergências observadas são relevantes e não podem ser desprezadas. Por exemplo, em relação a estimativa do número de novos domicílios o PNE2030 mostra para o cenário pessimista que o crescimento será de 17,1 milhões de moradias até 2030 e para o otimista, de 25,6 milhões. Porém o PlanHab tem metas de produzir, até 2023, 33,2 milhões de unidades. A significativa diferença entre as estimativas do PlanHab e do PNE2030 pode provocar, no mínimo, problemas de planejamento. A visão fragmentada da questão energética e da

questão habitacional pode causar sérios prejuízos para a sociedade brasileira no que tange a sua economia e qualidade de vida.

Outra desconexão importante ocorre entre o mercado e os planos. Por exemplo, foi mostrado pelo estudo da FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG (2008) que até 2030 o país passará por um grande crescimento do número de novos domicílios, fato provocado pela característica demográfica da população e pela situação econômica do país. O Plano Nacional de Habitação tem previsões até mais ambiciosas neste sentido. Apesar disso, o PNEf (MME, 2011) prevê a obrigatoriedade da emissão das etiquetas do nível de eficiência energética das residências somente em 2031, ou seja, após o grande período de expansão do parque edificado brasileiro. Essa decisão política acarreta na perda da oportunidade de atuar sobre a construção de um grande volume de novas edificações. Além disso, torna mais importante o desafio de atuar sobre as edificações prontas para melhorar o desempenho energético. Nestas condições, o próprio texto do PNEf (MME, 2011), afirma ser menor a capacidade de atuação e os benefícios alcançados.

Poderia ser proveitosa uma revisão nas políticas de habitação e energia com o foco na prioridade da promoção da eficiência energética nas edificações. Para superar as barreiras existentes como informação e treinamento insuficientes, falta de recursos e financiamentos, barreiras de preços, obstáculos políticos, etc. é necessário o desenvolvimento de instrumentos e programas integrados nas diferentes áreas de atuação do estado. Isso permitirá que o Brasil aproveite a oportunidade real que tem de construir um grande volume de domicílios já com o desempenho energético mínimo esperado, evitando, assim, o retrabalho futuro de adequar o seu extenso parque edificado as exigências energéticas.

A situação mostrada indica que a mudança de abordagem não deveria tardar para que essas barreiras existentes sejam superadas. Entretanto Geller (2003) afirma que não há “receitas mágicas” e que superação dos problemas passa pela proposição de políticas desenvolvidas a partir de uma abordagem integrada da questão. A figura 2.6 mostra opções de políticas para facilitar a transformação de mercado.

É sabido que existem políticas em vigor atualmente no Brasil que tratam dessa questão, mas os resultados obtidos ainda são tímidos e podem indicar que essas

precisam passar por uma revisão iniciada na base da curva da figura 2.6. Ainda de acordo com Geller (2003), existem outras opções de políticas bem eficientes. Por exemplo, os financiamentos com taxas de juros atraentes são críticos para que seja bem-sucedida a difusão de medidas de eficiência energética. Esse tipo de política para o setor da habitação teria um significativo impacto sobre a difusão da eficiência energética nas edificações, já que esse setor depende muito da disponibilidade de financiamentos e das taxas de juros praticadas.

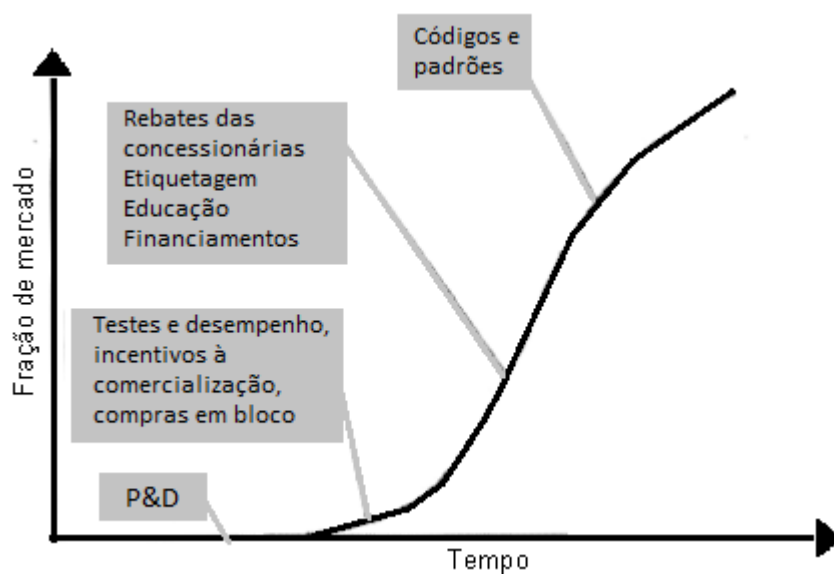


Figura 2.6 – Opções de políticas para facilitar a transformação de mercado

Fonte: Nadel e Latham, 1998, apud Geller 2003¹³.

Obs: “Rebates” deve ser entendido como “Descontos”

Além disso, poderia ser muito proveitoso associá-las a políticas que provocam demanda por parte de mercado, como por exemplo, incentivos fiscais, reservas de mercado, obrigações de mercado. Por exemplo, as regulamentações existentes poderiam evoluir mais rapidamente para obrigações de mercado, não desperdiçando assim a oportunidade que a conjuntura atual oferece de construir edificações energeticamente eficientes. Entretanto, é necessário atentar para que essa política de obrigação do mercado não torne o processo muito lento e burocrático.

¹³ Nadel, S., Latham, L. The Role of market transformation strategies in achieving a more sustainable energy future. Washington, D.C: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1998.

3. Fundamentação teórica

A arquitetura é uma atividade diretamente ligada às alterações do ambiente, seja a transformação primária de ambiente natural em ambiente construído, ou mudanças subsequentes no próprio ambiente construído. Atua diretamente sobre os aspectos físicos e sensoriais dos ocupantes, simultaneamente ao fluxo global de energia e materiais (HEGGER et al, 2008). As consequências dessas alterações são muito relevantes tanto para o meio onde elas ocorrem quanto para os indivíduos que passam a ocupar o ambiente construído. Estão ligadas, por exemplo, às emissões de gases do efeito estufa e geração de resíduos no que se refere à produção dos materiais e componentes da edificação e a operação das mesmas, assim como, ao bem estar e satisfação dos ocupantes. Promover sustentabilidade passa pela superação dos impactos nocivos ao planeta e o incremento da qualidade de vida para as sociedades. É um grande desafio que tem aspectos políticos, econômicos, sociais e tecnológicos. Muitos autores, entre eles Hegger et al (2008), defendem que a solução será alcançada com integração dos atores envolvidos em todas as esferas de decisão. Ainda de acordo com este autor, é um equívoco pensar que apenas acrescentar tecnologia às edificações irá promover seu desempenho sustentável. A questão passa necessariamente pelo desenvolvimento dos projetos, o que deve acontecer de maneira integrada, com o objetivo de: (i) reduzir os danos ambientais por meio da diminuição do consumo energético, do uso de materiais, da geração de resíduos, etc; (ii) dar viabilidade econômica à operação das edificações e, (iii) preservar os aspectos estéticos e sociais que envolvem as edificações (HEGGER et al, 2008).

O caminho para essa abordagem está em construção e os desafios ainda persistem. Não sendo possível atender a todos os pontos que envolvem a sustentabilidade, deve-se começar a atuar sobre aqueles de maior relevância com as ferramentas disponíveis. Um deles é a energia. O crescimento da produção e do uso da energia no mundo está, historicamente, ligado a impactos ambientais expressivos. Um estudo realizado pelo Fundo Monetário Internacional (1998 apud HEGGER et al, 2008) mostra essa relação na escala humana, indicando como o aumento do produto interno bruto per capita está associado ao aumento do consumo per capita

de energia em diferentes países, entre eles o Brasil. Na figura 3.1, observa-se que o Brasil ainda tem um baixo consumo per capita se comparado aos países desenvolvidos.

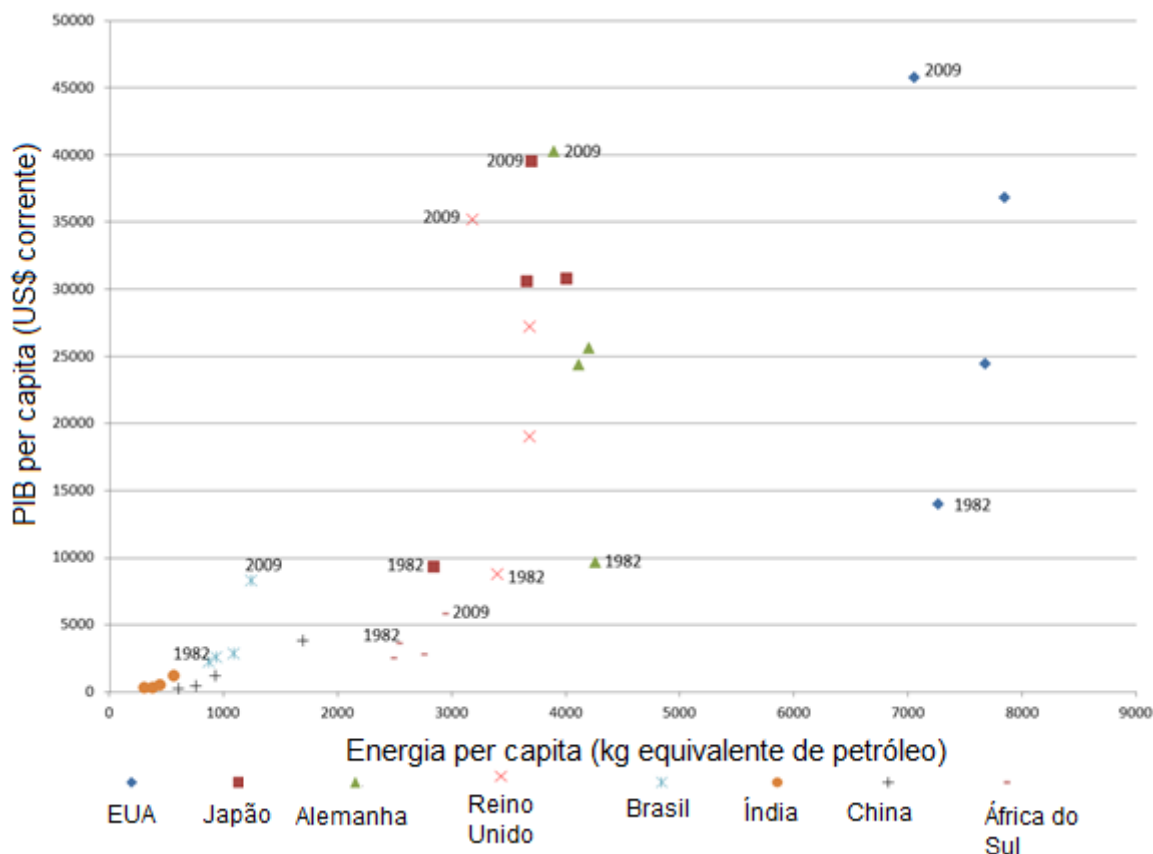


Figura 3.1 – Gráfico de relação entre consumo per capita de energia e renda per capita de diversos países no período de 1982 a 2009.

Fonte de dados: World Bank, 2012. Elaborado pela autora.

Considerando a curva dos países desenvolvidos na figura 3.1, o contexto econômico que o Brasil atravessa e as estimativas de novas unidades habitacionais já apresentadas, pode-se prever que o setor residencial terá um papel relevante no crescimento do consumo energético per capita estimado para o país. Por isso, apesar das limitações que persistem, deve-se atuar para melhorar a eficiência energética das habitações.

Uma das ferramentas disponíveis para auxiliar essa tarefa é o método chamado conceito energético, que deve ser integrado à elaboração dos projetos da edificação. Essa metodologia, apresentada por Hegger et al (2008), é composta de três fases de

trabalho: análise, conceituação e avaliação. Durante a análise são definidas as condições de contorno do projeto relacionadas ao clima, ao uso, às legislações e à arquitetura. O quadro 3.1 mostra um resumo das principais informações tratadas nesta fase.

Quadro 3.1 – Exemplos de informações de interesse durante a fase de análise do método.

Aspectos	Informações de interesse
Clima	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura• Umidade relativa• Velocidade média dos ventos e distribuição da direção• Quantidade e distribuição da precipitação anual• Trajetória solar• Radiação solar (quantidade de energia), etc.
Uso	<ul style="list-style-type: none">• Demanda de áreas condicionadas (resfriadas ou aquecidas)• Qualidade interna do ar• Condições de iluminação, etc.
Legislação	<ul style="list-style-type: none">• Leis de uso e ocupação do solo• Código de obras• Lei de conservação de energia, etc.
Arquitetura	<ul style="list-style-type: none">• Relação com o entorno• Razão entre planta e volumetria,• Razão entre área útil e potencial de área solar, etc.

Fonte: Adaptado de Hegger et al (2008).

Na fase de desenvolvimento do conceito energético são trabalhados dois objetivos diferentes, porém complementares: redução da demanda energética e otimização da energia fornecida. Para alcançar o primeiro objetivo é necessário (i) recorrer a estratégias passivas para promover as condições de ocupação sem o uso de energia e (ii) projetar soluções arquitetônicas com a intenção de contribuir direta ou indiretamente com a eficiência dos sistemas ativos instalados (HEGGER et al, 2008).

De acordo com os autores, o segundo objetivo requer o estabelecimento da cadeia de fornecimento de energia das edificações, ou seja, não é suficiente se ater à demanda de eletricidade. É necessário verificar se aquela solução é realmente necessária e se existe outra solução econômica e tecnicamente viável para atender aquela demanda.

A figura 3.2 mostra que os aspectos analisados na primeira etapa são a base para as avaliações feitas para alcançar os dois objetivos complementares da segunda etapa. De acordo com o conceito energético é necessário verificar a quantificação de todas as demandas energéticas da edificação, assim como, a adequação das soluções para suprimento dessas.

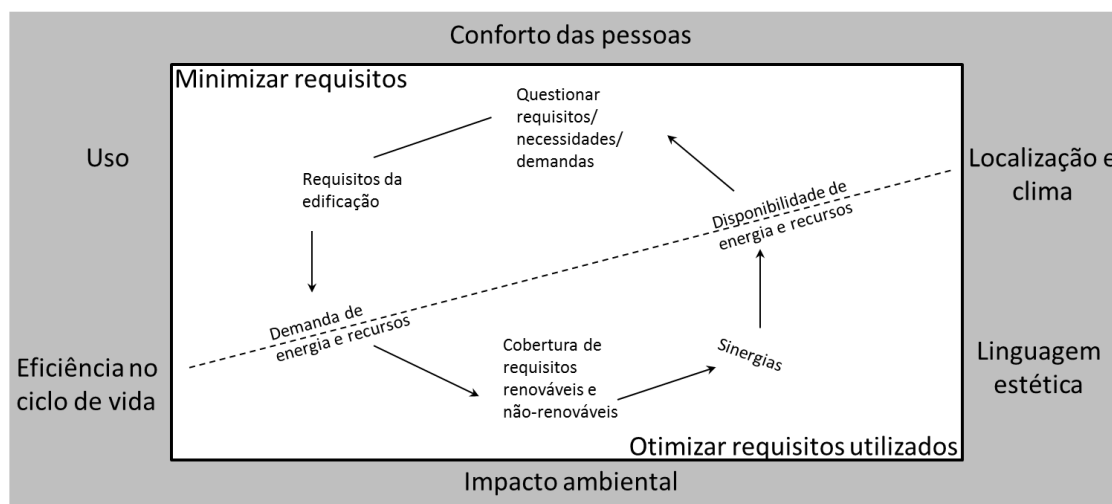


Figura 3.2 – Diagrama esquemático do processo de desenvolvimento do conceito energético
Fonte: Adaptado de Hegger et al, 2008

A etapa de desenvolvimento do conceito energético é a mais longa, pois acontece ao longo do desenvolvimento dos projetos da edificação. É importante mencionar que o sucesso desta etapa depende do estabelecimento da base do conceito energético desde o início do processo de projeto da edificação. Deste modo é possível minimizar os conflitos entre custo de investimento x custo de operação da edificação ao longo de todo o desenvolvimento dos projetos. Para tanto, devem ser definidas as referências de desempenho energético e a relevância da envoltória e dos sistemas prediais no contexto geral, definindo estratégias para orientar o projeto eficiente.

Durante o planejamento preliminar das edificações, deve-se definir a orientação considerando os ganhos energéticos em relação à carga térmica, ventilação e iluminação natural. Passando à envoltória, deve-se considerar se a relação entre áreas de abertura e áreas opacas está adequada às condições climáticas, de uso, arquitetônicas, etc. Os sistemas de condicionamento ambiental e aquecimento de água devem ser selecionados considerando o desempenho energético e a integração das soluções passivas. Ao fim desta etapa do projeto, deve ser possível realizar a primeira estimativa de demanda energética.

Na fase final de projeto, deve-se proceder a integração dos equipamentos e serviços à edificação, bem como detalhar as características dos componentes da envoltória e verificar a demanda energética estimada anteriormente.

Nas fases de contratação e construção da edificação é importante acompanhar se as contratações e os serviços estão de acordo com os projetos de forma que, ao final da construção, seja possível atestar o desempenho da edificação a partir de legislações, normas, organismos de certificação ou critérios internos.

Na última etapa do processo de avaliação deve-se considerar o desempenho da edificação a partir de aspectos ecológicos (por exemplo, emissão de tonelada equivalente de CO₂), econômicos (por exemplo, custo do ciclo de vida), sociais (por exemplo, aceitação dos usuários da edificação) e arquitetônicos.

Ao longo de todo esse processo haverá disputa entre os atores envolvidos e o sucesso da aplicação do conceito energético depende da superação dos conflitos de interesses que eventualmente surgirem (HEGGER et al, 2008).

O conceito energético das edificações foi usado como base para estruturação da metodologia desenvolvida nesta pesquisa. Acredita-se que a ferramenta desenvolvida seja um auxílio à aplicação do conceito energético nos projetos de residências, na medida em que traz uma avaliação de desempenho termoenergético para o início do planejamento do empreendimento, podendo assim auxiliar a realização da primeira etapa do processo acima descrito.

Para construir o arcabouço teórico que lastreia o trabalho são apresentados a seguir três aspectos importantes: (i) planejamento de empreendimentos imobiliários no

Brasil, (ii) critérios para desempenho termoenergético das edificações e (iii) processo de análise e decisão multicritério. Para concluir o capítulo é discutida a repercussão destes referenciais teóricos sobre a metodologia proposta.

3.1. Projeto de empreendimentos imobiliários no Brasil

Para propor uma metodologia para auxiliar a decisão nas fases iniciais dos projetos dos empreendimentos imobiliários residenciais é necessário conhecer e entender como se dá tal processo no Brasil.

O desenvolvimento de empreendimentos de base imobiliária no país tem se tornado cada vez mais uma atividade interdisciplinar, com profissionais de diferentes áreas de atuação compondo a equipe de projetos e de execução dessas edificações. Vale mencionar que a publicação da NBR15.575:2008 *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* é uma forte evidência do interesse em aumentar a qualidade das edificações residenciais produzidas no país.

Reforçando o que já foi apresentado, Hammarlund e Josephson (1992 apud MELHADO, 1994¹⁴) defendem que decisões tomadas nas fases iniciais do empreendimento são importantes, atribuindo-lhes a principal participação na redução dos custos (de investimento e operação) e de falhas do edifício. A figura 3.3 explicita o papel preponderante que às fases iniciais do empreendimento têm sobre as chances de redução da incidência de falhas e dos respectivos custos, além do baixo dispêndio de recursos que demandam.

A noção de qualidade varia entre os atores (empreendedor, construtor, projetista e usuário) envolvidos no desenvolvimento de empreendimentos, o que promove a disputa de interesse entre eles. De modo geral, o empreendedor avalia a qualidade a partir do alcance de seus objetivos empresariais (retorno do investimento, inserção no mercado, etc.); o construtor, com base na clareza e no conteúdo dos projetos que são importantes para planejar a execução; o usuário, a partir de suas aspirações de conforto, bem-estar, segurança e funcionalidade, somando-se a essas, baixos

¹⁴ HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. *Qualidade: cada erro tem seu preço*. Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachich. **Téchne**, n. 1, p.32-4, nov/dez. 1992.

custos de operação e de manutenção; e o projetista, pelas condições de trabalho, remuneração e qualidade do projeto do ponto de vista técnico, entre outros aspectos.

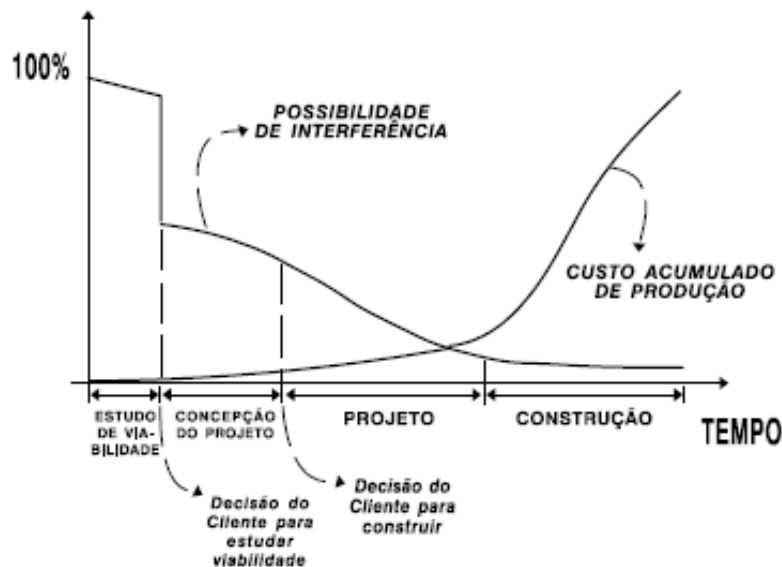


Figura 3.3 – Avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo do edifício.
Fonte: Hammarlund e Josephson, (1992) apud Melhado, (1994)¹⁵.

Porém, o peso da satisfação de cada ator costuma ser diferenciado. A tendência é que o peso do usuário seja menor, pois esse tem menor poder de atuação sobre o projeto e realizará sua avaliação completa, de fato, somente após a ocupação da edificação conforme mostra figura 3.4. O estabelecimento de indicadores de desempenho mínimo compulsórios, em normas técnicas ou códigos de obra, é uma forma de proteger os interesses dos usuários.

Os atores com mais poder, normalmente, são os incorporadores/construtores neste tipo de empreendimento. É interessante observar que a gestão de qualidade nas empresas que atuam em empreendimentos de base imobiliária no Brasil é tratada a partir de duas vertentes principais: gestão da qualidade do processo de projeto e gestão da qualidade do produto (projeto e obra). A primeira passa pela gestão dos custos de desenvolvimento dos projetos, dos prazos e cronogramas das diferentes etapas e pela gestão da comunicação entre os participantes do projeto e a coordenação das soluções das diversas especialidades. A segunda está relacionada

¹⁵ HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. *Qualidade: cada erro tem seu preço*. Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachich. **Téchne**, n. 1, p.32-4, nov/dez. 1992.

à gestão do escopo do projeto, à qualidade do projeto *stricto sensu*, à validação dos projetos e das etapas do desenvolvimento, à gestão de interfaces entre projetos e da interface projeto-obra (FABRICIO et al, 2003). Embora a gestão do processo de projeto seja muito relevante para o sucesso e a qualidade de um empreendimento, a qualidade do produto final (edificação) oferecido depende fundamentalmente da qualidade dos produtos parciais (projetos arquitetônicos, estruturais, instalações, etc.) desenvolvidos.

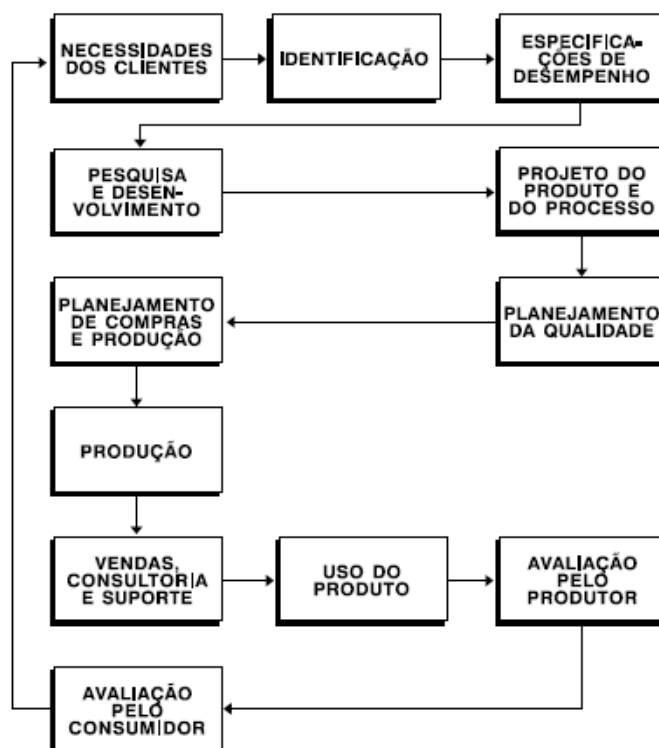


Figura 3.4 – Ciclo de qualidade.
Fonte: Ramos (1992) apud Melhado (1994)¹⁶.

3.1.1. Aspectos de custos das edificações

A partir do ponto de vista do empreendedor, a qualidade de um empreendimento depende, entre outros fatores, dos ganhos econômicos e financeiros proporcionados. De acordo com Goldman e Amorim (2006), de modo geral, os empresários no momento da decisão levam em conta principalmente indicadores de viabilidade econômica do projeto como taxa interna de retorno, valor de exposição máxima, valor presente, valor presente líquido e lucro, entre outros. Isso porque o

¹⁶ RAMOS, A.W. Administração da qualidade. In: ENGENHARIA de produção para a construção civil: curso para a Método Engenharia S.A. São Paulo, Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 1992.

investimento no setor imobiliário requer uma mobilização financeira importante, o que acarreta ao investidor perda de liquidez imediata e atenção sobre as expectativas de ganhos (OLIVEIRA et al, 2007). A obtenção do retorno esperado está condicionada ao cumprimento das receitas, despesas e prazos previstos no estudo de viabilidade econômica. Ainda de acordo com Oliveira et al (2007) quatro estratégias são muito importantes para obter o retorno esperado em empreendimentos imobiliários residenciais, quais sejam:

- Preço de venda: valor definido pelo mercado por comparação com unidades disponíveis semelhantes;
- Distribuição de vendas ao longo do período: velocidade de vendas, que é uma relação entre o número de unidades disponíveis e o número de unidades vendidas em um período de tempo. Indica a atratividade que o produto exerce sobre o mercado, ou seja, o reconhecimento por parte do consumidor dos atributos de qualidade oferecidos pelo empreendedor;
- Programação da obra: programação de execução e desembolso, levando em conta o fluxo de caixa do empreendimento;
- Custo da construção: parte do valor total do investimento, sendo a parcela sobre a qual o empreendedor pode agir com maior facilidade. Neste ponto as questões de coordenação de projeto e gestão de processos são recursos importantes para manter o controle dos gastos e até aumentar os ganhos econômicos, via redução de custos.

No que se refere ao custo da construção, a orçamentação é a atividade responsável por predeterminar os custos prováveis de construção e suas eventuais variações. Os orçamentos resultantes podem ser de três tipos principais: (i) orçamento por estimativas; (ii) orçamento preliminar e (iii) orçamento detalhado. O orçamento por estimativas, também chamado de paramétrico, é uma maneira simplificada de se estimar os custos diretos da construção de um empreendimento imobiliário. Ele é útil nas fases iniciais do planejamento e conta, muitas vezes, com dados técnicos e financeiros parciais e estimativas, pois os projetos ainda não estão prontos. As estimativas podem ser feitas com base no Custo Unitário Básico por metro quadrado (CUB/m²), pelo percentual incidente de custo por serviço principal e também por

índices desenvolvidos nas próprias empresas, entre outros. O segundo tipo, orçamento preliminar, é elaborado com base no projeto arquitetônico preliminar e nas demais informações constantes no memorial descritivo. Por fim, o orçamento detalhado é elaborado com base nos projetos executivos completos, a partir da composição de custos para execução de serviços ou atividades considerando individualmente cada insumo, como mão-de-obra, material, equipamentos, etc. (GOLDMAN e AMORIM, 2007; MATTOS, 2006).

Porém, para discutir sobre os custos envolvidos numa edificação não se deve limitar ao período de desenvolvimento do empreendimento (planejamento e execução), sendo necessário ampliar o horizonte de tempo de forma a considerar os custos de operação e manutenção do mesmo. Para isso o ideal seria recorrer à metodologia de *Life-cycle cost* (LCC). Originalmente, a LCC é um método de análise econômica para avaliação de quaisquer tipos de projetos que inclui todos os custos relacionados: aquisição, operação, manutenção e disposição (U. S DEPARTMENT OF COMMERCE, 1995). A metodologia de BIM abriu possibilidades para, num futuro relativamente próximo, se facilitar a operacionalização da avaliação ao longo do ciclo de vida que atualmente é muito dispendiosa e morosa. Todavia, é preciso considerar que a LCC não é capaz de lidar com aspectos mais subjetivos como o conforto térmico dos ocupantes, por exemplo (ASHRAE, 1993).

Mesmo assim, considerando o ponto de vista do usuário, a abordagem da LCC é a mais adequada, pois trata dos custos que impactarão mensalmente a operação do edifício. Entretanto, observa-se que no Brasil o usuário trata dos custos em dois momentos distintos: compra e uso. Durante a aquisição do imóvel, de acordo com Rocha Lima Júnior (1995), o comprador, futuro usuário, avalia diretamente sua capacidade de pagar o preço cobrado pela habitação, que é definido a partir de comparação com os demais produtos oferecidos pelo mercado. Nesta decisão, normalmente, se considera: forma e prazo de pagamento e capacidade de endividamento futuro.

Num segundo momento, já na posição de usuário, os custos de operação (água, energia elétrica, telefonia, manutenção, etc.) do imóvel se apresentam. Seria natural esperar que os consumidores estivessem muito preocupados com estes custos no

momento da compra do imóvel, já que eles irão persistir durante todo o período de vida útil da edificação. Porém, Batalha-Vasconcelos e Vasconcelos (2008), apontam que os consumidores ainda não estão conscientizados a ponto de se preocuparem com essas questões no momento da compra. São poucas as empresas que atualmente usam em suas estratégias de marketing informações sobre redução do custo do condomínio, por exemplo (BATALHA-VASCONCELOS e VASCONCELOS, 2008).

A explicação para a pouca importância dada aos custos de operação no momento da compra, entre outros fatores, passa pela dificuldade ainda enfrentada pelos cidadãos para obter recursos (próprios ou financiamento) para adquirir o imóvel. Além disso, pode-se perceber no material apresentado no capítulo anterior que essa também é a postura do estado brasileiro. A Política Nacional de Habitação (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004) e o Plano Nacional de Habitação (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008) não fazem sequer menção aos custos de operação das unidades habitacionais neles previstas.

A título de exemplo, cabe mencionar dois trabalhos que avaliaram o desempenho termoenergético versus custos (construção e *retrofit*) para obter informações para desenvolvimento de políticas públicas.

O primeiro trabalho foi desenvolvido para avaliação dos custos marginais e dos benefícios dos investimentos em eficiência energética no setor residencial suíço. Conforme Jakob (2006), a decisão sobre investimento em eficiência energética no setor residencial (edificações novas e/ou reabilitação das existentes) tem dois obstáculos importantes: (i) os custos marginais de medidas de eficiência energética e (ii) a falta de domínio completo das questões de custos, benefícios indiretos e novas tecnologias por parte dos arquitetos e dos investidores. O artigo mostra resultados de um trabalho empírico de quantificação dos custos marginais dos investimentos em eficiência energética que foi capaz de estimar, pela primeira vez no caso da Suíça, os benefícios indiretos obtidos como, por exemplo, melhoria da qualidade do ar, conforto ambiental, redução de ruídos entre outros. Com base nos dados levantados foi realizada uma ampla análise de custo-benefício que considerou o desenvolvimento de novas tecnologias e seus custos associados. Além disso, fez-

se uma avaliação dos custos e das economias obtidas na situação atual e em condições futuras. Os resultados desse trabalho geraram diretrizes claras para a política de investimentos em eficiência energética no setor residencial suíço, além de conscientizar os proprietários sobre as economias possíveis e motivar investidores privados a entrar neste mercado.

O outro estudo trata da eficiência energética do setor residencial nos 27 países da União Européia. Trabalhando com dois cenários e um horizonte de estudo até 2060, Uihlen e Eder (2010) avaliaram o potencial de impactos ambientais e econômicos das políticas existentes para a eficiência energética das habitações. Um dos cenários propõe a substituição de coberturas e esquadrias com base em critérios de desempenho mais rígidos que a norma. O outro pretende mensurar os ganhos obtidos com a redução do tempo entre as reformas e substituições nas edificações. Os resultados mostraram que os critérios mais rígidos para o desempenho oferecem um substancial potencial de economia de energia para as residências, sendo que o valor economizado com a redução do consumo de energia é maior que o investimento necessário para implementação das soluções. Em relação ao segundo cenário, que visa reduzir o tempo entre reforma das edificações, o trabalho mostrou que os custos adicionais não se justificam perante a economia obtida. Essas informações mostram claramente que tipo de políticas deverá ser mais efetivo.

3.1.2. Fluxo de informação nos projetos

Pode-se dizer que o sucesso de um empreendimento imobiliário está relacionado com a eficácia do fluxo das informações sobre o projeto. As equipes de projeto são cada vez maiores e mais interdisciplinares. Neste contexto, de acordo com Melhado (1994), o projeto arquitetônico, por exemplo, não pode ser entendido como entrega de desenhos e de memoriais. Espera-se que o projetista esteja comprometido com a busca de soluções que permitam alcançar os objetivos dos empreendimentos, tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista econômico, social e ambiental. Por isso, o volume de informações geradas aumentou e o mercado vem se adequando a essa realidade do ponto de vista gerencial e tecnológico.

Sob o ponto de vista gerencial, um bom exemplo, desta mudança é o surgimento do profissional de coordenação de projeto. De acordo com Fabrício et al (2003) o objetivo desta atividade é garantir que as decisões tomadas nas diversas especialidades de projetos sejam compatíveis e levem em conta os requisitos globais do empreendimento, ampliando a qualidade e a construtibilidade dos projetos de edifícios, em outras palavras, é gerenciar as informações técnicas do projeto. A organização dessas informações tem demandado tanta atenção que no ano de 2010 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR ISO 12006-2:2010 Construção de edificação — Organização de informação da construção – Parte 2: Estrutura para classificação de informação, baseada na norma internacional ISO 12006-2 (ABNT, 2010). O objetivo é definir “uma estrutura e um conjunto de títulos recomendados de tabelas apoiados em definições, mas não o conteúdo detalhado destas tabelas. Ela se destina ao uso por organizações que desenvolvem e publicam sistemas de classificação e tabelas em âmbito nacional ou regional” (ABNT, 2010).

Nos dias de hoje, sob o ponto de vista tecnológico, o principal avanço é a disponibilidade de uso comercial de ferramentas de *Building Modelling Information – BIM*. O BIM, de acordo com Batista (2010), é uma evolução da sistematização predominante no desenvolvimento de projetos de edificações. Tal sistematização teve início na Renascença com a separação do trabalho intelectual do manual nas construções. Atualmente, o modelo de trabalho mais recorrente divide o projeto de edificações em etapas definidas e sequenciais, conta-se com profissionais de especialidades distintas e os desenhos técnicos antecipam o resultado final da obra. Alguns autores responsabilizam tal separação, entre projeto e obra, pela perda de qualidade das edificações (BATISTA, 2010).

Desde a década de 1960 vêm sendo desenvolvidas ferramentas digitais com o objetivo de dar maior celeridade ao processo de desenho, tendo o uso dessas ferramentas se consolidado na década de 1990 (LAISERIN, 2008). Na década seguinte a circulação de informação digital sobre os projetos se tornou amplamente utilizada. Porém, os desenhos e as informações não-geométricas estavam separados. O principal avanço do BIM é o de associar esses dois tipos de informação num mesmo modelo digital da edificação. Os primeiros passos do BIM

foram dados na década de 1970 pela indústria automotiva. Nos últimos 40 anos a metodologia foi se aprimorando, tornando-se uma ferramenta importante de auxílio ao método de projeto tradicional. A plena utilização das ferramentas BIM irá provocar mudanças importantes nas atividades de projetos de edificações porque todos os projetistas e especialistas envolvidos no empreendimento irão trabalhar sobre o mesmo modelo, onde a informação geométrica e não-geométrica referente àquela edificação estará concentrada. O BIM demanda o fornecimento de informações técnicas desde os primeiros estágios de desenvolvimento do projeto, ou seja, são mais horas dedicadas à elaboração do projeto em si e menos horas dedicadas aos desenhos técnicos, porque esses são gerados quase que automaticamente (LAISERIN, 2008). Além do ganho de qualidade com a circulação da informação, com a consolidação do BIM são esperados benefícios relacionados à maior precisão dos desenhos técnicos, realização de simulações computacionais a partir do mesmo modelo, sincronia entre projeto e execução e antecipação de decisões sobre operação e manutenção da edificação, etc. Algumas empresas brasileiras estão na primeira fase de implantação do BIM, ou seja, usando-o principalmente nos projetos arquitetônicos como uma evolução do CAD que fornece rápida produção e documentos como quantitativos para orçamentação e desenhos técnicos (BATISTA, 2010). Ainda existem muitas limitações para chegar à terceira fase, implantação completa, na qual uma equipe multidisciplinar trabalha sobre o mesmo modelo gerando um fluxo contínuo de informações e evitando perdas e sobreposições. Há problemas relacionados à interoperabilidade dos *softwares*, à falta de banco de dados nacionais, mão de obra ainda escassa, entre outros. Entretanto, espera-se a superação dos obstáculos existentes e a implantação completa em torno de cinco anos.

Diante da expectativa de operacionalização completa do BIM, espera-se que as edificações projetadas com o auxílio desta ferramenta tenham melhor desempenho, inclusive termoenergético, já que será possível realizar diversos tipos de simulação do modelo trabalhado. Conforme já foi evidenciado, as informações técnicas desde as fases iniciais de concepção são fundamentais. Desde modo, uma ferramenta para auxílio à decisão nesta fase, como a desenvolvida na presente pesquisa, poderá ser muito útil aos projetistas.

3.2. Critérios de desempenho termoenergético e normalização existente

3.2.1. A envoltória das edificações

A envoltória das edificações é a fronteira entre o espaço interior e o exterior. Define a aparência da edificação, tem o papel de estabelecer diálogo arquitetônico com o entorno e mostra os atributos de aparência, proporção, materiais e técnicas de uma época ou cultura.

Face à necessidade de melhorar o desempenho termoenergético para as edificações, as envoltórias passaram a merecer uma maior atenção. As trocas térmicas realizadas pela envoltória são muito significativas para o balanço térmico da edificação e dependem das características térmicas dos componentes da envoltória. Essas características variam se os componentes são opacos ou transparentes/translúcidos. Numa envoltória de edificação residencial normalmente as superfícies opacas estão localizadas nas coberturas, embasamentos e em parte das superfícies verticais. Já as superfícies semi-transparentes e translúcidas são observadas, mais frequentemente, nos panos verticais da envoltória em forma de janelas, portas, grandes panos de vidro, etc.. Além disso, as superfícies da envoltória podem ser usadas para a produção de energia térmica e/ou elétrica (com sistemas fotovoltaicos).

O projeto de uma envoltória eficiente energeticamente deve ser capaz de considerar os fatores externos tanto para reduzir a demanda energética como para promover as condições requeridas para uso. A figura 3.5 apresenta de forma esquemática um resumo das demandas internas e externas sobre a envoltória de uma edificação. Busca-se promover as condições internas de uso durante todo o ano com o menor aporte possível de equipamentos energeticamente ativos. Para isso, devem ser adotadas estratégias de projeto adequadas às condições climáticas do local.

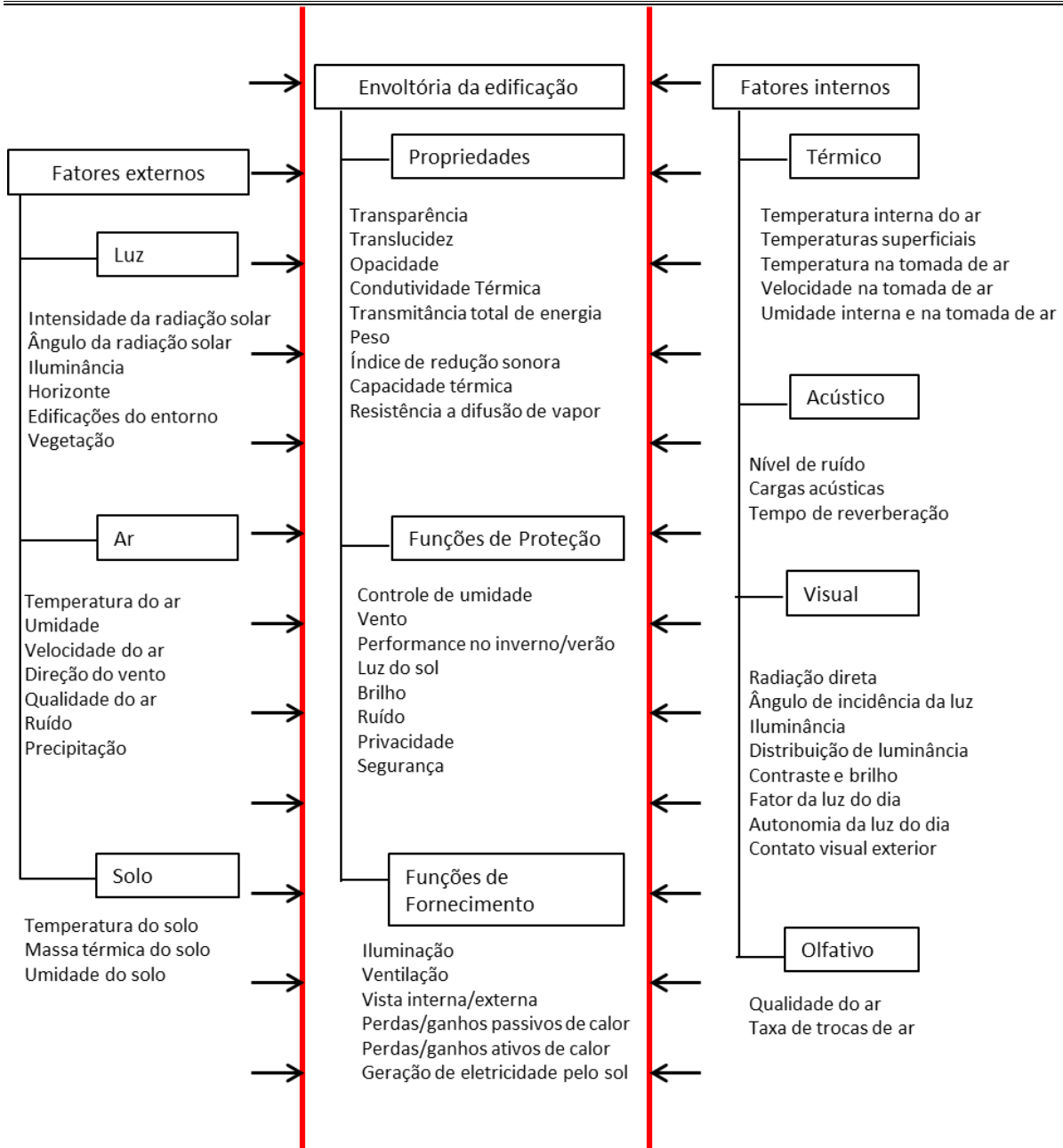


Figura 3.5 – Papel desempenhado pela envoltória diante de fatores externos e internos
 Fonte: Adaptado de Hegger (2008).

Considerando o envelope da edificação, são apresentadas as condições para existência de trocas térmicas entre corpos e os fatores que interferem no comportamento térmico das edificações. Basicamente são necessárias duas condições para existência de trocas térmicas entre os corpos: (i) existência de um diferencial de temperatura entre os corpos e (ii) mudança do estado de agregação da água ou de um fluido.

A primeira condição leva a troca de calor sem que haja mudança de estado. Essa interação é chamada de troca seca e o calor envolvido é denominado de sensível. Há três tipos de trocas secas:

- **Convecção:** é um processo de transferência de calor que se dá devido ao deslocamento de um fluido. Considerando as envoltórias de uma edificação, é a troca que ocorre devido ao movimento de ar.
- **Radiação térmica:** troca de energia entre dois corpos, que guardam entre si uma distância e posicionamento quaisquer, através da capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Pode-se dar inclusive no vácuo.
- **Condução:** troca de calor entre dois corpos em contato que apresentam temperaturas distintas.

A outra condição, de mudança de estado de agregação da água ou de um fluido envolve a transferência de calor latente, ou seja, há mudança de estado físico da matéria. Nesta se sobressaem os materiais com mudança de fase que, encapsulados em paredes das edificações estocam ou restituem em tempos distintos a energia térmica armazenada; e a questão da absorção da umidade e sua evaporação pelos materiais usuais de fechamento na envoltória. Neste último caso, como nas questões que envolvem o conforto higrotérmico humano essas trocas térmicas são denominadas de úmidas:

- **Evaporação:** troca térmica proveniente da mudança do estado líquido para o de vapor da água, neste caso específico, envolvendo a absorção de energia.
- **Condensação:** inversa à evaporação, ou seja, troca proveniente da mudança do estado de vapor da água para o estado líquido, envolvendo a dissipação de energia.

Para uma avaliação das trocas térmicas secas ao nível da envoltória da edificação faz-se necessário determinar para as superfícies opacas: (i) coeficiente global de transmissão térmica ou transmitância térmica, medida em $W/m^2\text{°C}$ (que considera as trocas condutivas e convectivas), (ii) absortividade da radiação solar, (iii) emissividade no infravermelho (iv) irradiância solar global (W/m^2). As trocas em

superfícies semi-transparentes ou translúcidas dependem também de sua transmissividade à radiação solar.

Outro fator muito importante para o desempenho térmico satisfatório da envoltória é a sua inércia térmica que é função da massa específica, condutividade térmica e da capacidade calorífica do material.

Para garantir condições climáticas adequadas aos usuários das edificações é possível recorrer a dois tipos de solução de climatização – natural (soluções passivas), como ventilação natural, geometria da edificação, transmitância térmica da envoltória, proteção solar, etc. e artificial (soluções ativas). É relevante destacar que métodos de avaliação de desempenho da edificação como, por exemplo, o apresentado por Borel e Croiset citados em Frota e Schiffer (1999)¹⁷ e também diagramas bioclimáticos, como o desenvolvido por Givoni (1992), mostram que as soluções passivas não são capazes de oferecer a sensação de conforto para os usuários em todas as condições climáticas. As condições extremas de calor e frio demandam soluções ativas para promover o conforto térmico para os ocupantes.

Mesmo ainda nessas últimas situações deve-se analisar o papel das soluções passivas, incluindo desde a definição do partido arquitetônico apropriado até a especificação dos materiais adequados para a envoltória. É evidente que um melhor desempenho para a edificação irá requerer também o correto dimensionamento dos equipamentos e a opção por aqueles que apresentem melhor eficiência. Conforme indica Mascaró (2010), em edificações com climatização artificial há algumas situações em que é possível reduzir significativamente o consumo de energia dos sistemas, e por consequência o custo de operação das edificações, melhorando o isolamento térmico¹⁸ da envoltória. O gráfico da figura 3.6 evidencia essa variação considerando particularmente a cobertura. Por outro lado, vale salientar que em climas quentes deve-se ter cuidado com a utilização de vedações verticais com alto isolamento.

¹⁷ BOREL, J. *Le confort thermique em climat chaud*. Cours professé à la FAU-USP, São Paulo, 1967, (mimeo)

CROISSET, M. *L'hygrothermique dans le bâtiment*. Paris, Eyrolles, 1972.

¹⁸ Neste caso o autor se refere a atuar sobre a transmitância térmica dos sistemas componentes da envoltória e sobre a inércia térmica dos materiais.

É interessante observar a estreita relação entre o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações. O desempenho térmico está relacionado com uma sensação de conforto dos ocupantes de uma edificação, e que depende das condições reinantes de temperatura, velocidade e umidade do ar e das condições do usuário (metabolismo e vestimentas). O desempenho energético, por sua vez, diz respeito à quantidade de energia consumida por uma edificação e a seu nível de eficiência.

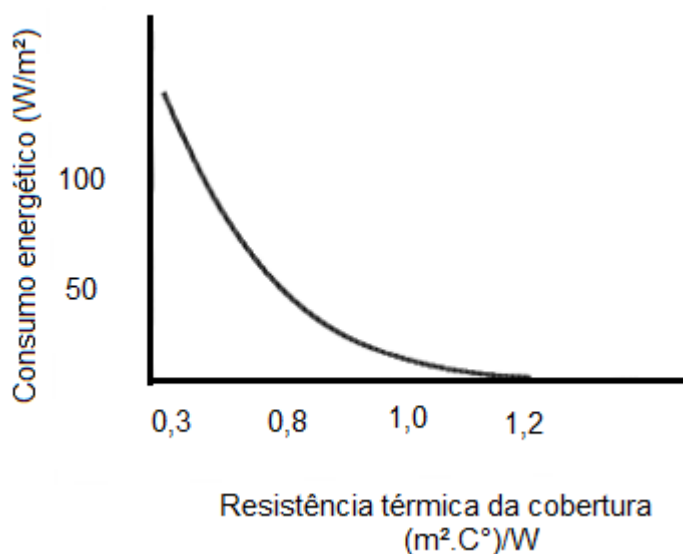


Figura 3.6 – Variação do consumo de energia em função do isolamento térmico da cobertura.
Fonte: Mascaró (2010).

A preocupação com o desempenho térmico das edificações tem foco principal na sensação de bem estar e na produtividade dos ocupantes (ASHRAE, 1993). No caso das residências, por exemplo, interfere diretamente no anabolismo dos indivíduos, ou seja, no repouso. Isto comprometendo indiretamente a produtividade durante as atividades diárias.

Por outro lado a preocupação com a eficiência energética tem foco na (i) questão econômica (custo de operação de uma edificação e necessidade de investimentos em geração) e (ii) na questão ambiental (emissão de poluentes, necessidade de represamento de rios e alagamentos de área verdes, etc.). Estabelece-se, deste modo, relação com a política energética de um país, pois o consumo mais ou menos

eficiente das residências provoca impactos sobre a demanda energética e, assim, sobre a matriz energética do país.

Embora tal expressão - eficiência energética nas edificações – esteja sendo muito usada, ela não é de definição simples. De acordo com Meier et al (2002) para se ter eficiência energética em uma edificação é necessário que esta atenda a três aspectos: (i) ter sido construída de maneira adaptada à sua localização e ser equipada com equipamentos eficientes; (ii) oferecer aos ocupantes as condições de uso esperadas; e (iii) estar sendo operada com baixa energia se comparada à edificações semelhantes. Portanto, para se falar de eficiência energética das edificações é necessária uma abordagem sobre o ciclo de vida, considerando os aspectos construtivos da edificação, os equipamentos escolhidos e as condições de operação.

3.2.2. Sistemas de aquecimento de água em residências

Para estruturar a base teórica da metodologia proposta, deve-se dedicar atenção também aos sistemas de aquecimento de água¹⁹ usados em residências. Esse uso final é crítico em relação à eficiência energética nas residências, pois 25% do consumo de eletricidade dessas edificações são destinados, em média no Brasil, ao aquecimento de água para banho (ELETROBRÁS, 2010). Além disso, ocorre um significativo impacto sobre a curva de carga do sistema elétrico nacional. Somente o chuveiro elétrico, de acordo com o PNEf (MME, 2011), representa 18% do pico de demanda do sistema.

O aquecimento de água utilizado tem sido feito por diferentes fontes de energia. De acordo com o PROCEL (2007), 73,5% das residências brasileiras possuem sistema de aquecimento a partir da eletricidade. O gás é utilizado por 5,9% dos domicílios e o solar por 0,4%. É importante frisar que mais de 18% de unidades habitacionais no país não possuem nenhum tipo de sistema de aquecimento de água. Na presente análise serão consideradas as três fontes de energia supracitadas.

¹⁹ O sistema de aquecimento de água é composto pelo conjunto de componentes para aquecimento, pelos elementos de distribuição e os pontos de utilização.

Estão disponíveis vários tipos de sistemas em termos das fontes de calor, da configuração dos aquecedores e do circuito de distribuição de água quente. Sob o ponto de vista de atendimento os sistemas podem ter atendimento a um só ponto de uso; unifamiliar (todos os pontos de uma unidade habitacional); e multifamiliar (todos os pontos de um conjunto de unidades habitacionais).

Além disso, considerando a forma de aquecimento os sistemas podem ser instantâneos e de acumulação. O sistema instantâneo aquece a água no momento do uso, assim requer uma potência nominal mais elevada que o sistema de acumulação. Neste último a água é aquecida lentamente, sendo necessário armazená-la adequadamente para que esteja nas condições esperadas no momento do uso.

Considerando a eletricidade, a transferência de calor ocorre através do contato da água com um resistor aquecido. Na geração a gás, o calor gerado pela combustão do gás com o ar do ambiente é utilizado por um trocador de calor que transfere essa energia para a água. No caso do aquecimento solar, a radiação oriunda do sol é captada pelo absorvedor do coletor solar e transferida termicamente para a água que circula internamente em uma tubulação.

A partir dessas três fontes de calor, a metodologia proposta abrange quatro tipos de sistema de aquecimento:

1. Sistema instantâneo individual: atende a um ponto. Tipos: Chuveiro elétrico e aquecedor elétrico de passagem individual (Ex: Sistemas Cardal).
2. Sistema instantâneo central: atende normalmente a uma unidade habitacional. Tipos: Aquecedor de passagem a gás (GN ou GLP) e elétrico.
3. Sistema acumulação privativo: atende normalmente a uma unidade habitacional. Tipos: Solar, gás (GN e GLP) e elétrico unifamiliar.
4. Sistema de acumulação coletivo: atende a múltiplas unidades habitacionais. Tipos: Solar, gás (GN e GLP), elétrico e bomba de calor para uso multifamiliar.

O padrão de funcionamento dos sistemas de aquecimento é estabelecido por diferentes normas da ABNT. Há normalização que trata da infraestrutura de distribuição de água quente; sobre os combustíveis; e até aquelas sobre os equipamentos de aquecimento em si.

O chuveiro elétrico é o sistema mais comum nos domicílios brasileiros. Isso ocorre devido ao seu baixo custo de aquisição e facilidade de instalação e manutenção. Os sistemas a gás natural são frequentemente encontrados nas cidades onde há rede pública deste gás canalizado, principalmente Rio de Janeiro e São Paulo. O sistema solar de aquecimento de água teve aumentada significativamente sua participação no mercado na última década, atualmente são 874.000 unidades habitacionais com sistema de aquecimento solar instalado no país (MME, 2011). A figura 3.7 mostra a economia obtida, em termos de consumo de energia elétrica, por meio da adoção deste sistema e a estimava para os próximos 20 anos. A projeção de crescimento indica que em 2030, aproximadamente, cinco milhões de unidades habitacionais brasileiras terão sistemas solar de aquecimento de água instalados (MME, 2011). Esse crescimento, vale lembrar, entretanto, que a simples inserção do sistema de aquecimento de água solar não significa uso eficiente deste sistema. É necessário que a instalação seja projetada, instalada e mantida adequadamente.

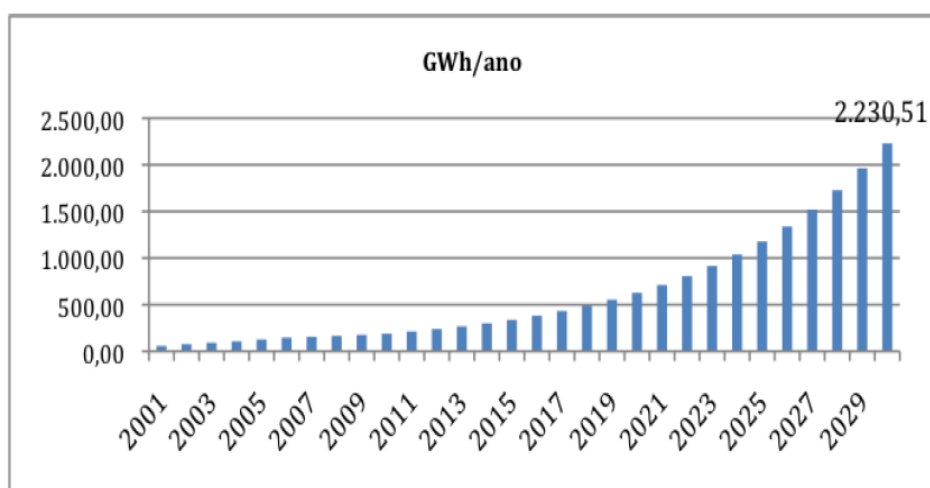


Figura 3.7 – Projeção da economia de energia com a utilização do sistema solar para aquecimento de água no Brasil (GWh/ano).

Fonte: MME, (2011).

3.2.3. Ferramentas de avaliação de desempenho termoenergético no Brasil

As discussões sobre o desempenho da edificação se iniciaram na década de 1960. Em 1970, o CIB (*Conseil International Du Bâtiment*) criou uma comissão de trabalho – *CIB W60: The performance concept in building* – que tinha como objetivo estabelecer uma estrutura conceitual e uma tecnologia sobre desempenho dos edifícios que pudesse ser adotada em âmbito internacional. No Brasil, os primeiros trabalhos sobre esse assunto se iniciaram na mesma década no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Em 1984, foi publicada a ISO 6241:1984 (ISO,1984) que definiu uma lista de requisitos funcionais para os usuários de imóveis. O objetivo da norma ISO 6241:1984 (ISO, 1984) foi auxiliar os países no desenvolvimento de normas de desempenho para as edificações.

Desde então o Brasil apresentou alguns avanços nesta área. Em 2005, foi publicada a primeira norma nacional, NBR15.220:2005 *Desempenho térmico de edificações*, tratando do desempenho térmico de edificações. Foram apresentados métodos de cálculo, de medição, além de um zoneamento bioclimático do país e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Finalizando um processo de 10 anos, em 2008 foi publicada a NBR15.575: 2008 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Essa é uma norma mais ampla, que trata de cinco sistemas das habitações: estrutural, pisos internos, vedações verticais, cobertura e hidrossanitário. Atualmente esta norma está em revisão. Espera-se sua plena aplicação em março de 2013.

Mais recentemente, em 2010, foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, voltado para o desempenho energético da envoltória e do sistema de aquecimento de água. A primeira revisão deste regulamento foi publicada em janeiro de 2012.

Além desses instrumentos, surgiram, por iniciativas do mercado, outros relacionados à sustentabilidade da edificação, que direta ou indiretamente também avaliam o desempenho termoenergético. Os exemplos mais relevantes são o LEED (GBCBRASIL, 2012) e o AQUA (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2010). Porém esses

procedimentos não foram tratados neste trabalho porque (i) tratam de metodologias desenvolvidas em outros países e apenas adaptadas a realidade brasileira e (ii) são voltados, principalmente, a empreendimentos de alto padrão. Além disso, o primeiro não possui uma abordagem para edificações residenciais no Brasil. Neste segmento de certificações independentes surgiu também o Selo Azul da Caixa Econômica Federal voltado para habitações (CAIXA ECÔNICA FEDERAL, 2010). Esse não foi abordado porque trata da eficiência energética a partir dos mesmos instrumentos supracitados.

3.2.3.1. NBR-15.220:2005 Desempenho térmico de edificações – Parte 3

Ao tratar do desempenho termoenergético das edificações é muito relevante apresentar a NBR15.220:2005 *Desempenho térmico de edificações*, pois foi a primeira ferramenta normativa a tratar deste assunto, sendo composta de cinco partes listadas a seguir:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

A parte 3 desta norma é de interesse especial, pois estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e apresenta um conjunto de recomendações e estratégias construtivas voltadas às habitações de unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005). Cabe destacar que as recomendações estabelecidas não têm caráter

normativo, ou seja, as recomendações não são de adoção obrigatória. Atualmente esta parte da norma se encontra em processo de revisão.

O zoneamento dividiu o país em oito zonas bioclimáticas, estabelecendo estratégias construtivas para condicionamento passivo considerando tamanho das aberturas para ventilação, proteção solar das aberturas e tipo de envoltória. Determinou-se três tamanhos de aberturas, três classificações térmicas para paredes e outras três para cobertura. Alguns exemplos de características térmicas de materiais de envoltória estão presentes nos anexos da NBR15.200:2005 – Parte 3.

O texto da norma não menciona nenhuma estratégia para melhorar a eficiência energética das edificações, não trata dos sistemas de aquecimento de água, nem de condicionamento ambiental, foca apenas nas estratégias bioclimáticas para conforto térmico passivo.

A norma utiliza apenas um índice de conforto térmico para a avaliação da sensação de conforto dos usuários em todo o território nacional. Entretanto, estudos realizados por Araújo (1996), Xavier (1999) e Gonçalves (2000) em diferentes regiões do país, respectivamente Natal, Florianópolis e Belo Horizonte, mostram que para cada uma dessas regiões é recomendado a utilização de um índice específico. Deste modo, a adoção de apenas um índice para todo o país pode incorrer em avaliações equivocadas da sensação de conforto das pessoas.

3.2.3.2. NBR-15.575:2008 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho

Em 1998, se iniciou o processo de desenvolvimento de uma norma de desempenho para edificações residenciais com até cinco pavimentos no Brasil. Esse processo foi finalizado dez anos mais tarde com a publicação da NBR15.575:2008 *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos*. Para Borges (2009) o grande desafio da abordagem de desempenho na construção civil é traduzir as necessidades dos usuários em requisitos e critérios objetivos, considerando determinadas condições de exposição e uso, além de viabilidade técnica e

econômica. Partindo das definições das necessidades dos usuários e das condições de contorno definidas pelo comitê desenvolvedor da norma, estabeleceu-se requisitos qualitativos e critérios quantitativos para a avaliação das habitações. Os métodos de avaliação variam entre análise de projeto, simulações computacionais, análises laboratoriais, medições *in loco*, etc.

A norma é composta de seis partes. Na primeira são apresentados os requisitos gerais e nas subsequentes os cinco sistemas avaliados: estrutural (parte 2), pisos internos (parte 3), vedações verticais (parte 4), coberturas (parte 5) e hidrossanitário (parte 6). A avaliação de desempenho é feita a partir de dez aspectos: estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, térmico, acústico, luminoso, durabilidade e manutenção, conforto antropodinâmico e adequação ambiental (ABNT, 2008). Em relação ao conteúdo desta norma, o interesse do presente trabalho se restringe ao desempenho térmico dos sistemas de vedação vertical, cobertura e hidrossanitário.

Inicialmente, estava prevista a exigência plena da norma a partir de novembro de 2010. Porém, diante da reação do mercado contrária, a norma foi submetida à revisão ainda em 2010. Espera-se sua exigibilidade plena para março de 2013.

A NBR 15.575:2008 (ABNT, 2008) inicia a abordagem sobre o desempenho térmico das edificações destacando a importância da localização da obra e faz referência ao zoneamento bioclimático apresentado na parte 3 da NBR15.220:2005. Estabelece três procedimentos para a verificação da adequação dos sistemas de vedação vertical e cobertura em relação ao desempenho térmico nas oito zonas bioclimáticas do país: pelo procedimento simplificado, por simulação computacional e por meio de medições realizadas nas edificações ou nos protótipos em escala real.

Os requisitos de condições de conforto térmico apresentados na norma se dividem em duas situações: verão e inverno. Os critérios são baseados nos valores máximos e mínimos diários da temperatura do ar no interior de ambientes de longa permanência dependendo da zona bioclimática em que a edificação se localiza.

Além dessa avaliação geral da edificação a norma determina requisitos mais específicos relacionados às características térmicas da cobertura e da fachada. Os

critérios são transmitância térmica, absorvância e capacidade térmica das superfícies. Especificamente para as coberturas é necessário observar o fator de ventilação do ático. Já para as fachadas demandam atenção a área de abertura e a proteção solar da mesma. A área mínima de abertura varia em função das zonas bioclimáticas, sendo que a presença de proteção solar é obrigatória em todas as aberturas dos dormitórios de todas as zonas bioclimáticas (ABNT, 2008).

Na parte 6, que trata do sistema hidrossanitário, o desempenho térmico está relacionado à temperatura de utilização da água. De acordo, com a NBR15.575:2008 deve haver no mínimo água quente no chuveiro nos locais onde as médias das temperaturas mínimas absolutas nos meses mais frios for inferior a 8°C (ANBT, 2008). Não há diferenciação entre os sistemas de aquecimento, o que deixa claro que o desempenho energético não está sendo considerado por essa norma.

3.2.3.3. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) teve sua primeira versão publicada em 2010 e a primeira revisão em janeiro de 2012, estando em fase de adoção voluntária.

Esse instrumento tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares (INMETRO, 2012). Nas edificações multifamiliares devem ser avaliadas todas as unidades autônomas, sendo possível avaliar também as áreas de uso comum.

Diferentemente das normas apresentadas, o foco do RTQ-R é o desempenho energético das edificações residenciais, por isso os objetos principais de avaliação das unidades autônomas são a envoltória e o sistema de aquecimento de água. São estabelecidas bonificações para iniciativas relacionadas a ventilação natural, iluminação natural, uso racional da água, iluminação artificial, condicionamento artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada. A eficiência da envoltória é avaliada a partir de pré-requisitos e equações, que variam em função da zona bioclimática e do tipo de condicionamento ambiental (natural ou artificial).

Pode ser empregado um método de avaliação prescritivo ou por simulação computacional (INMETRO, 2012). A determinação da eficiência do sistema de aquecimento também apresenta pré-requisitos, o método de avaliação varia em função do tipo de sistema adotado. Eventualmente, são realizadas as avaliações das bonificações. A eficiência da unidade autônoma é determinada a partir da ponderação das eficiências da envoltória e do sistema de aquecimento em função da região em que a edificação se localiza, sendo acrescido o valor obtido com as bonificações (INMETRO, 2012).

3.2.3.4. Análise comparativa das ferramentas

As três normas apresentadas (NBR15220-3:2005, NBR15575:2008 e RTQ-R versão 2010) têm aspectos semelhantes, apesar da diferença de objetivos, e apresentam uma evolução na abordagem da análise do desempenho termoenergético de edificações. Para identificar melhor os pontos semelhantes, as diferenças e as divergências vale destacar uma análise comparativa feita por Loura et al (2011), tendo a zona bioclimática 8 (ZB8), onde se situa a cidade do Rio de Janeiro, como foco principal. Para realizar a comparação, aplicaram-se os métodos prescritivos presentes na NBR 15.575:2008 e no RTQ-R versão 2010 em uma edificação hipotética. Tal análise possibilitou a identificação de pontos que precisam ser aprimorados ou detalhados nos documentos de referência.

No que se refere ao RTQ-R a tabela apresentada com os percentuais de áreas mínimas para ventilação em relação à área do piso foi adaptada da NBR 15.575:2008 – parte 4. Entretanto existe uma diferença entre elas relativa ao valor mínimo estabelecido para a ZB8. O RTQ-R é mais permissivo que a norma, pois o limite mínimo do RTQ-R é de $A \leq 10\%$ e o da norma, de $A \leq 15\%$. A versão 2012 do RTQ-R mantém esse valor.

Ainda sobre o RTQ-R, é relevante comentar o método para o cálculo dos dispositivos de proteção solar em edificações residenciais, apresentado no anexo 1 do Regulamento. Tratando inicialmente do procedimento de geração dos dispositivos de proteção, observou-se clareza e coerência em sua aplicação. Na segunda parte, que apresenta o cálculo da variável “somb” de uma determinada abertura, alguns aspectos geraram dúvidas e questionamentos durante a aplicação.

No que se refere à denominação dos ângulos das proteções, em um momento são chamados de ângulos mínimos de proteção e em outro, como ângulos recomendados para proteção. Ao longo do texto, percebe-se que se trata dos mesmos ângulos. Desta forma seria interessante que o texto oferecesse uma explicação para os ângulos mínimos se tornarem os recomendados.

Em relação à avaliação dos valores de ângulos recomendados para a cidade do Rio de Janeiro, constatou-se que não há recomendação de proteção solar para aberturas menores que 25% da área do piso nas fachadas Norte e Leste. Esse fato, de acordo com o texto consultado, impede que se considere para o cálculo de “somb” proteções solares nestas aberturas. Desse modo, resta ao projetista recorrer à proteção por venezianas. A existência deste tipo de proteção em qualquer tipo de abertura voltada para qualquer orientação permite a utilização do valor máximo (1) para a variável em questão. Testes realizados por Louira et al (2011) mostraram que a exclusão das venezianas nos dormitórios provoca impacto negativo sobre os equivalentes numéricos dos ambientes dos apartamentos.

Quanto à NBR 15.575:2008, de modo geral, o texto não apresenta a clareza necessária para a aplicação em avaliação de projetos, sendo inclusive um dos motivos de sua revisão (LOURA et al, 2011). Exemplificando, a NBR 15.575:2008 cita, em sua Parte 5, o “fator de ventilação” (FV), que teria sido estabelecido pela NBR 15.220:2005, Parte 2. Tal fator, entretanto, não foi encontrado nesta norma. Porém na Parte 3, a NBR 15.22:2005 define o “fator de correção da transmitância” (FT). A equação para cálculo do FT foi proposta pelos autores do zoneamento bioclimático brasileiro, considerando os resultados de Lamberts (1988) e se baseia no fato de que a ventilação do ático é benéfica para habitações em clima quente úmido. A alta umidade desses climas embolora rapidamente as telhas, elevando significativamente suas absorções solares e, por consequência, elevando também as temperaturas dos áticos. Por outro lado, nesses mesmos climas as temperaturas do ar exterior à sombra são sempre mais baixas do que as que ocorrem nos áticos não ventilados. Assim, a ventilação substitui o ar quente interior pelo exterior mais frio, reduzindo os ganhos térmicos das edificações.

Loura et al (2011) notaram semelhanças entre a utilização do FV na NBR 15.575:2008 e a utilização do FT na NBR 15.220:2005: ambos se referem ao ático das coberturas na ZB8 e estão relacionados ao limite da transmitância térmica das coberturas. Pode-se supor, portanto, que: (i) a NBR 15.575:2008 faz referência equivocada a NBR 15.220:2005 e (ii) usou o nome e a sigla da variável de maneira distinta que a apresentada na NBR 15.220:2005.

A aplicação deste fator, entretanto, é diferente nos documentos analisados. No RTQ-R e na NBR 15.220:2005 – parte 3 é possível optar pela multiplicação deste fator caso se esteja adotando áticos ventilados. Nesta situação específica, a norma permite que se opte por limites de transmitância mais elevados que aqueles determinados nas tabelas de pré-requisitos do RTQ-R. Já na NBR 15.575:2008 é obrigatório que se multiplique a transmitância por esse fator para chegar ao valor da transmitância permitida. Deste modo, pode-se inferir que esta norma tem limites mais restritivos para a transmitância térmica dos sistemas de cobertura na ZB8 (LOURA et al, 2011).

Conforme ainda apontam Loura et al (2011), há diferença na classificação dos ambientes em relação à permanência. Na NBR 15.575:2008 a cozinha é considerada como ambiente de permanência prolongada. A mesma classificação não se repete, todavia, para este ambiente no RTQ-R. Outra diferença é a exigência de proteção solar obrigatória em todos os dormitórios, na NBR 15.575:2008 – parte 4. Ainda assim, a norma não detalha o método de avaliação de sua eficácia. O RTQ-R, por sua vez, não exige tal proteção para alcançar os níveis mais elevados de desempenho.

Para finalizar os comentários relacionados, o quadro 3.2 apresenta um comparativo entre os agrupamentos das zonas bioclimáticas constantes no Regulamento, na NBR 15.575:2008, em relação à NBR 15.220:2005 – parte 3.

A NBR 15.220:2005 – parte 3 é usada como referência tanto pelo RTQ-R como pela NBR 15.575:2008 quando se trata do zoneamento bioclimático do país. Aqui vale ressaltar que a NBR 15.220:2005 – parte 3 foi desenvolvida com foco nas habitações de interesse social e pode não ser capaz de abranger edificações residenciais de outras tipologias. Porém, observando o quadro 3.2, observa-se que

essa norma é mais restritiva em relação à transmitância térmica da envoltória se comparada ao RTQ-R e a NBR15.575:2008. Nos documentos analisados não são esclarecidas as justificativas para os distintos agrupamentos propostos pelo RTQ-R e pela NBR 15.575:2008. Essas diferenças têm impacto direto sobre o desempenho termoenergético das edificações, bem como no resultado das avaliações realizadas a partir dessas ferramentas.

Quadro 3.2 – Comparativo de agrupamento das zonas bioclimáticas.

	NBR 15.220:2005-Parte 3		RTQ-R		NBR 15.575:2008	
	Grupo	Valores	Grupo	Valores	Grupo	Valores
Paredes	ZB1 e ZB2	$U \leq 3,00$	ZB1 e ZB2	$U \leq 2,50$ e $CT \geq 130$	ZB1 e ZB2	$U \leq 2,50$ e $CT \geq 130$
	ZB3, ZB4, ZB8	$U \leq 3,60$	ZB3, ZB4, ZB5, ZB6 e ZB7	$U \leq 3,70$, se $\alpha \leq 0,6$ e $CT \geq 130$	ZB3, ZB4, ZB5, ZB6 e ZB7	$U \leq 3,70$, se $\alpha \leq 0,6$ e $CT \geq 130$
				$U \leq 2,50$, se $\alpha > 0,6$ e $CT \geq 130$		$U \leq 2,50$, se $\alpha > 0,6$ e $CT \geq 130$
	ZB4, ZB6, ZB7	$U \leq 2,20$	ZB8	$U \leq 3,70$, se $\alpha \leq 0,6$	ZB8	$U \leq 3,70$, se $\alpha \leq 0,6$
$U \leq 2,50$, se $\alpha > 0,6$				$U \leq 2,50$, se $\alpha > 0,6$		
Cobertura	ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	$U \leq 2,00$	ZB1 e ZB2	$U \leq 2,30$	ZB1 e ZB2	$U \leq 2,30$
	ZB7	$U \leq 2,00$	ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	$U \leq 2,30$, se $\alpha \leq 0,6$	ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	$U \leq 2,30$, se $\alpha \leq 0,6$
				$U \leq 1,50$, se $\alpha > 0,6$		$U \leq 1,50$, se $\alpha > 0,6$
	ZB8	$U \leq 2,30FT$	ZB7 e ZB8	$U \leq 2,30$, se $\alpha \leq 0,4$	ZB7 e ZB8	$U \leq 2,30FV$, se $\alpha \leq 0,4$
$U \leq 1,50$, se $\alpha > 0,4$				$U \leq 1,50FV$, se $\alpha > 0,4$		

Nota: U é a transmitância térmica (W/m^2K); CT é a capacidade térmica (kJ/m^2K); FT é o Fator de transmitância pra coberturas, estabelecido na NBR15.220-3; FV é o Fator de ventilação estabelecido na NBR15.200-2.

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Loura et al (2011), já eram esperados resultados distintos entre si por causa da abrangência de cada norma. Esperava-se alcançar o desempenho mínimo na avaliação que considera a NBR 15.575:2008, o que não ocorreu. Por

outro lado, a avaliação a partir do RTQ-R apontou um desempenho nível B, numa escala que vai de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), para a envoltória em questão. Em outras palavras, a mesma edificação alcançou um nível satisfatório na avaliação usando um instrumento de avaliação voluntário (RTQ-R) e não alcançou o desempenho mínimo exigido pela NBR 15.575:2008 que, após a revisão, será de adoção obrigatória. Esses resultados foram considerados contraditórios e incoerentes, pois se esperava maior rigor do instrumento de avaliação voluntário (RTQ-R) já que esse visa destacar o empreendimento em relação ao seu desempenho energético. Tal fato pode causar dificuldades ao mercado da construção civil no desenvolvimento de produtos que atendam as exigências normativas e ao RTQ-R e suscitar uma maior resistência às avaliações de desempenho. Além disso, há que considerar os problemas legais decorrentes de uma etiquetagem incompatível com o resultado de uma norma técnica.

3.2.4. Outras ferramentas de avaliação do desempenho termoenergético

Além das normas e regulamentações apresentadas para avaliação de desempenho termoenergético apresentadas, o mercado brasileiro tem se movimentado no sentido de buscar outras ferramentas de abrangência mais ampla para certificação de sustentabilidade das edificações. Esse movimento ainda se concentra, principalmente, no segmento de edifícios comerciais de alto padrão utilizando a certificação LEED e o processo AQUA. No que se refere ao desempenho termoenergético dessas certificações, observa-se a demanda pela realização de simulações computacionais para mensurar a economia obtida com as medidas para aumento de performance energética frente a uma edificação padrão. Tanto o RTQ-C, como o RTQ-R e a NBR15575:2008 oferecem a simulação como opção para avaliar o desempenho termoenergético das edificações. Esse recurso também pode ser usado em edificações em utilização com o objetivo de promover melhor utilização dos sistemas existentes e/ou planejar *retrofits*.

As simulações possibilitam avaliações voltadas para a fase de planejamento dos empreendimentos como a comparação entre projetos e entre alternativas para um

mesmo projeto. Permite também comparar uma edificação existente com ela mesma, verificando se sua operação está ocorrendo da maneira mais adequada possível. As simulações em fase de projeto fornecem informações sobre as condições de conforto ambiental dos ocupantes e de consumo de energia de um edifício. Elas também auxiliam no dimensionamento dos equipamentos necessários para refrigeração ou aquecimento do edifício e iluminação. Sendo assim, analisando os resultados de uma simulação é possível tomar decisões que contribuirão para uma maior eficiência energética da edificação. A simulação computacional está a cada dia se tornando mais usual, principalmente devido à sua alta velocidade de resposta, flexibilidade de aplicação e ao baixo custo, se comparado à uma experimentação (GARD, 2003). Uma importante ferramenta para ampliação de realização de simulações de desempenho termoenergético de edificações é a plataforma BIM. De acordo com a Autodesk (2012), atualmente já é possível exportar arquivos criados por seus softwares BIM para alguns softwares de análise termoenergética como o EnergyPlusTM, o eQUEST®, etc., reduzindo significativamente o tempo de trabalho como modelagem. Espera-se que seja possível ampliar a interoperabilidade entre os softwares, tornando o processo de simulação computacional termoenergética integrado ao processo de projeto.

É preciso, entretanto, compreender que a simulação computacional de desempenho termoenergético é baseada em modelos de edificações, portanto lida com muitas simplificações da realidade porque um modelo é uma entidade que representa outra entidade, porém reduzida às características de interesse (MAHDAVI, 2004). Apesar disso, não pode ser entendida como um procedimento simplista. De acordo com Haves (2004), os modelos matemáticos que descrevem as edificações são detalhados e as interações ocorridas durante a simulação refletem as variadas condições.

3.2.4.1. EnergyPlusTM

Existem muitos programas para realização de simulações de desempenho termoenergético de edificações. Atualmente, o programa EnergyPlusTM tem sido frequentemente usado pelos simuladores brasileiros porque realiza a simulação de

desempenho termoenergético de edificações e dos seus sistemas (iluminação, climatização, ventilação, cargas internas, rotinas de ocupação, etc.) de maneira integrada. Isso é possível porque o programa, desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo Departamento Energia dos Estados Unidos (DOE-US), reuniu os algoritmos usados nos programas BLAST e DOE-2 para a simulação de edificações com condicionamento artificial e implantou procedimentos de avaliação econômica e de conforto térmico e luminoso para os ocupantes (DOE, 2011). Além disso permite a integração de outros módulos ao programa como é o caso do módulo de sistemas fotovoltaicos, de ventilação natural, de telhados-verdes entre outros (CRAWLEY et al, 2001). O programa tem apresentado avanços com periodicidade devido às atualizações quase semestrais.

Apesar de sua interface pouco amigável, esse programa tem sido cada vez mais adotado como ferramenta de simulação, pois é aprovado pelo método BESTEST da norma estadunidense ASHRAE 140 (ASHRAE, 2001) e permite realizar simulações de longo prazo (anual) e de curto prazo (dias de projeto).

Sua organização se baseia em três conjuntos de módulos (i) gerenciamento da simulação, (ii) balanço térmico das cargas e (iii) simulação dos sistemas. Para a simulação de dias de projeto, os dados são inseridos durante a modelagem, enquanto a anual requer a utilização de um arquivo climático.

Para realizar uma simulação termoenergética com o EnergyPlusTM é necessário que o edifício avaliado seja dividido em zonas e que todas as características das estruturas interior e exterior da edificação sejam detalhadas. Normalmente, uma edificação é composta por mais de uma zona, sendo que os ambientes que compõem uma zona devem ter características térmicas semelhantes, ou seja, mesma orientação, mesma carga interna, etc. As zonas são formadas por superfícies que podem ser de três tipos: superfícies de transferência de calor (paredes, tetos, pisos, janelas e portas); superfícies de sombreamento separadas da edificação (árvores, edifícios do entorno, etc.) e superfícies de sombreamento integradas à edificação (*brises-soleil*, venezianas, etc.). Cada superfície é formada por uma sobreposição de camadas de materiais (*construction*). É por meio das

informações das características térmicas dos materiais que o programa calcula o desempenho térmico das superfícies e das zonas (GARD, 2003).

3.3. Análise para decisão

Segundo Rocha Lima Junior (1995), o processo de decisão que viabiliza a realização de empreendimentos de base imobiliária tem dois atores principais: (i) os planejadores que desenvolvem a análise de qualidade do empreendimento que dará suporte a decisão e (ii) o investidor. Para que o empreendimento se concretize, o primeiro precisa desenvolver a análise arbitrando a postura do investidor que até aquele momento não está presente no processo. Aliás, essa análise deve abranger os diferentes perfis de investidores. É preciso esclarecer, ainda conforme o mesmo autor, que o investidor decide avaliando se aquele empreendimento o atende nos quesitos referentes ao desempenho econômico e financeiro.

Entretanto, para o planejador chegar a essas informações de interesse dos investidores, de modo geral, ele precisa desenvolver a conceituação do empreendimento e a definição do produto oferecido. Normalmente nessas etapas as questões relativas ao custo são estimadas de maneira pouco detalhada. De modo geral também, os projetos das edificações residenciais brasileiras ainda não têm os critérios de desempenho como parte dos princípios norteadores, o que a NBR15.575:2008 (ABNT, 2008) procura reverter. Assim, os custos das soluções voltadas à melhoria de desempenho ainda são desconhecidos da maioria do mercado, e isso dificulta que se inclua essa abordagem nas primeiras fases de planejamento. Quando essas questões são levantadas, o orçamento já está pré-estabelecido e as medidas para melhoria do desempenho termoenergético, por exemplo, passam a concorrer com outras necessidades, de modo a ter que se ajustar no orçamento já fixado. Essa desconsideração inicial tende a dificultar a adoção de medidas efetivas para melhorar o desempenho termoenergético das edificações.

Quando se propõe a análise multicritério nas fases iniciais de desenvolvimento do projeto, o objetivo é justamente quebrar esse ciclo que coloca as decisões de

desempenho termoenergético frequentemente como adendos ao orçamento original. A intenção é que seja possível fazer uma estimativa inicial do desempenho termoenergético da edificação e dos custos associados para que esse critério possa ser inserido no conceito da edificação residencial. Essa abordagem poderá facilitar a disseminação das soluções e provocará impactos sobre a cultura de projeto e sobre os custos das soluções, numa segunda análise.

Em ambientes complexos de planejamento, como empreendimentos imobiliários, que envolvem múltiplos critérios, dados imprecisos, vários agentes decisores e, diferentes objetivos, a análise multicritério pode proporcionar a tomada de decisão de maneira objetiva, seja através da seleção de uma entre várias soluções ou por meio da classificação de uma lista de alternativas possíveis. Além disso, segundo Wang et al (2009), a análise de decisão é um método capaz de realizar avaliação integrada dos aspectos de sustentabilidade (econômicos, ambientais e sociais).

De acordo com Climaco J. (1997 apud Pohekar e Ramachandran, 2004)²⁰, a análise multicritério é dividida em dois tipos, a saber: (i) *Multi-objective decision making* e (ii) *Multi-attribute decision making*. O primeiro tipo de análise não está baseado em uma lista pré-existente de alternativas para avaliação. Neste caso o objetivo é construir a melhor solução para a questão. O segundo tipo parte de uma lista de alternativas pré-existente e tem como objetivo identificar a melhor alternativa dentre aquelas pré-estabelecidas. De modo geral, o processo de decisão multicritério pode ser descrito conforme mostra a figura 3.8.

3.3.1. Métodos de análise multicritério

Existem muitos métodos para a realização de análise multicritério. Como já foi dito, eles possuem uma diferença básica principal que é trabalhar ou não com alternativas pré-determinadas. Porém, Wang et al (2009) fazem outra classificação desses métodos em três tipos, quais sejam:

- Métodos Elementares: incluem métodos como o *Weighted sum method* e o *Weighted product method*. São mais usados em problemas mais simples.

²⁰ Climaco J, editor. *Multicriteria analysis*. New York: Springer-Verlag; 1997.

Existem alternativas e a definição é feita a partir da soma (WSM) e da multiplicação (WPM) dos valores finais de cada alternativa.



Figura 3.8 – Processo de decisão multicritério. Adaptado de Pohekar e Ramachandran, (2004)

- Método de critério único síntese: entre os exemplos estão o *Analytical hierarchy process* e o *Multi-attribute utility theory*. Busca identificar a melhor alternativa para a solução do problema.
- Métodos de *ranking*: A família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e a PROMETHE são as principais representantes dessa classe. A vantagem que apresenta sobre os anteriores é a possibilidade de manter a incomparabilidade entre as alternativas. Tanto o ELECTRE como o PROMETHE

são chamados famílias, pois apresentam variações dos métodos que se adequam melhor a uma situação específica. Grosso modo, a família ELECTRE é a mais recomendada quando se quer tratar de questões com poucos critérios e muitas alternativas. Já a PROMETHE resolve bem problemas com grande número de critérios que, inclusive, podem apresentar conflitos entre si.

Para enfrentar o problema identificado nesta pesquisa a família ELECTRE é a mais recomendada, pois foram definidos cinco critérios e 16 alternativas são analisadas por vez. Todo o procedimento é descrito detalhadamente no capítulo seguinte. Basicamente, essa variação do método ELECTRE possui dois estágios de aplicação: (i) construção das relações entre alternativas e (ii) exploração das relações para se estabelecer o *ranking* final (WANG et al, 2009). Esse método ainda é capaz de avaliar as alternativas de maneira discreta sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo. O *ranking* é feito escolhendo as alternativas que têm nível de concordância e menor nível de discordância entre os critérios. Essa seleção é feita por comparações sucessivas entre duas alternativas, de modo que se eliminem as que são menos favoráveis e se dê preferência às mais favoráveis (ROY; BOYSSOU, 1985.).

3.3.1.1. ELECTRE-III

O método ELECTRE-III, desenvolvido por Roy (1977), constrói seu *ranking* a partir de uma relação de preferência. São comparadas duas alternativas por vez para identificar (i) uma preferência forte ou fraca por uma das ações, ou (ii) indiferença entre as ações, ou ainda (iii) incomparabilidade entre elas. A avaliação de cada ação ou alternativa a_i ($i=1,2,\dots,n$) perante múltiplos critérios adotados, Cr_1, Cr_2, \dots, Cr_m , é feita por um vetor com multiatributos $\{ei_1, ei_2, ei_3, \dots, ei_m\}$. O limite de preferência “P” que indica a diferença a partir da qual uma preferência estrita pode ser estabelecida entre duas avaliações e, o limite de indiferença “Q” que aponta a diferença a partir da qual não se podem estabelecer preferências entre as alternativas que caracterizam as situações. Para definir a incomparabilidade entre as ações é usado o limite de veto “V” para cada critério, representando a diferença a partir da qual se deve ignorar a comparação entre duas ações. Esses limites podem ser calculados a

partir de equações padrões definidas no método ou também podem ser estabelecidos pelo usuário que realiza a análise. As equações usadas nesta pesquisa são apresentadas no anexo 9.1.

Para montar a matriz de avaliação são necessários: (i) a lista de alternativas, (ii) os critérios e seus respectivos pesos e (iii) a definição dos limites supracitados. O método se baseia numa relação binária de sobreclassificação (subordinação) definida a partir do conjunto de alternativas. São realizados dois testes: de concordância e de discordância sobre a hipótese se a alternativa “A” sobreclassifica (subordina) a alternativa “B”. O teste de concordância estabelece se há uma maioria de critérios que favorecem “A”, já o teste de discordância estabelece se não há uma forte minoria em favor de “B”, fazendo a hipótese verdadeira.

Os cálculos de avaliação das alternativas $Cr(A_i)$ segundo um critério “Cr” a partir de uma preferência forte, de uma preferência fraca, de indiferença ou incomparabilidade são feitos do seguinte modo:

“A” é fortemente preferida em relação à “B”, se $Cr(A)-Cr(B)>p$

“A” é fracamente preferida em relação à “B”, se $q<Cr(A)-Cr(B)\leq p$

“A” é indiferente em relação à “B”, se $|Cr(A)-Cr(B)|\leq q$

Em seguida são calculados para “A” e “B” o Índice de Concordância $c(A,B)$ e o Índice de Discordância $d(A,B)$. O primeiro mostra o grau de confiança da hipótese “A” sobreclassifica “B” e o segundo o grau de desconfiança para a mesma. Após os cálculos são construídas duas matrizes, uma para concordância e outra para discordância, onde se compara todos os possíveis pares de ações “A,B”. Desta comparação surge a terceira matriz, a matriz de credibilidade, que atribui uma medida quantitativa para a veracidade da hipótese “A” sobreclassifica “B”.

O *ranking* das alternativas é estabelecido com base na matriz de credibilidade. A ordenação é feita por um procedimento de destilação, ou seja, as alternativas são posicionadas segundo sua classificação decrescente (melhor para pior) e crescente (pior para melhor). Obtêm-se duas pré-classificações a partir das quais se define a classificação final das alternativas.

3.3.1.2. Estado da Arte da aplicação de análise multicritério para avaliação de desempenho termoenergético

Ainda na década de 1980, os custos envolvidos na melhoria do desempenho termoenergético das edificações eram parte das preocupações das companhias energéticas estadunidenses. Um trabalho realizado com o patrocínio da *Energy Conscious Construction Administrator (s/d)* examinou a relação entre duas variáveis importantes: custos iniciais e consumo energético de edificações comerciais. O trabalho apresenta uma análise comparativa de 50 estratégias para economia de energia. Para cada uma delas foi estimado, por meio de simulação com o *software* DOE-2.1, o consumo de energia para os sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação e outros, além do consumo total, da demanda e do consumo de pico. Associados aos consumos foram calculados os custos das estratégias propostas, tendo sempre o caso base como referência. A metodologia usada não aborda métodos de análise multicritério, apesar das características do problema enfrentado. Todavia, a estrutura do trabalho gera indicativos de que a abordagem poderia ser útil para esse tipo de análise. Entretanto, naquele momento essa abordagem não era usual para resolver esse tipo de questão. O trabalho também apresenta uma síntese das 50 propostas de intervenções para melhorar o desempenho do caso base. As cinco alternativas eleitas como melhores foram aquelas que apresentavam potencial de economia sem elevação de custo de construção. Entretanto, a utilização de um método de análise multicritério poderia avaliar a interação das 50 estratégias, o que resultaria em um diagnóstico mais amplo do desempenho das soluções.

Uma das primeiras iniciativas que aborda a questão do custo e do desempenho de maneira associada é do *National Institute of Standards and Technology (NIST)* dos Estados Unidos. Essa entidade desenvolveu um programa para realizar a seleção de produtos para edificações “verdes” a partir do seu custo efetivo (LIPPIAT e BOYLES, 2001). O *Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)* é um programa capaz de mensurar a performance ambiental dos produtos de construção usando a avaliação de ciclo de vida – ACV – desenvolvida pela norma ISO 14040 da série ISO 14000. Os produtos são avaliados ambientalmente em todos os seus estágios – aquisição de mão-de-obra, produção, transporte,

instalação, uso e descarte. Além disso, utiliza a metodologia do custo do ciclo de vida – LCC – da *American Society for Testing and Materials (ASTM)* para avaliar esse mesmo produto pelo ponto de vista econômico. Essas duas avaliações são combinadas utilizando a norma da ASTM para Análise de Decisão Multiatributos. O *software* foi expandido e refinado pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos (LIPPIAT e BOYLES, 2001). Atualmente permite a comparação de dois ou mais materiais de construção destinados ao mesmo objetivo (por exemplo, comparação entre tintas), de modo que os projetistas podem optar por aquele que apresente o menor custo efetivo. O programa não aborda diretamente o desempenho termoenergético das edificações, pois se trata de avaliação de materiais de construção, mas foi uma iniciativa importante para estabelecer a análise multicritério como ferramenta no desenvolvimento de metodologias de avaliação do desempenho, neste caso, econômico e ambiental das edificações.

Para Wright et al (2002), o projeto de edificações é um problema de decisão multicritério, passando sempre pela competição entre despesas de capital, custos de operação e conforto térmico dos ocupantes. Para lidar com essa problemática os autores propõem a utilização de um método de análise multicritério, o algoritmo genético multiobjetivo (MOGA). O MOGA foi aplicado na identificação das características de otimização dos lucros a partir do custo da energia e do conforto térmico dos ocupantes. Foram analisadas três condições climáticas distintas (dias de projeto de verão, inverno e equinócio) e três diferentes envoltórias (coeficiente de transmitância térmica). Wright et al (2002) recomendam o uso desta metodologia como apoio ao processo de projeto para que o projetista possa tomar decisões mais interessantes para resolver o problema existente. A proposta de Wright et al (2002) não está relacionada às primeiras fases do planejamento de um empreendimento, mas sim à fase de desenvolvimento em si dos projetos. Num primeiro momento, não tem como ser aplicada, pois precisa de um caso para ser otimizado, ou seja, precisa de um projeto para ser analisado. Não é uma ferramenta de diretrizes para projeto, mas sim de avaliação das decisões já tomadas.

Outro tipo de avaliação interessante para a presente pesquisa foi desenvolvida por Anastaselos et al (2009). A ferramenta de avaliação realizada é focada nas soluções de isolamento térmico para o parque residencial edificado grego e trabalha com a

análise multicritério para apoio à fase de desenvolvimento efetivo dos projetos. A avaliação se dá em três escalas distintas: (i) materiais (comparação entre os materiais disponíveis), (ii) sistema de isolamento da envoltória (desempenho da cobertura, pisos, paredes de sustentação e paredes de vedação) e (iii) edificação completa. Os critérios utilizados para as três escalas de avaliação foram: consumo energético, impactos ambientais e custo. Segundo os autores a ferramenta desenvolvida apresentou resultados satisfatórios e atingiu aos objetivos de avaliar as alternativas construtivas a partir de diferentes critérios.

A análise multicritério foi adotada também por Diakaki et al (2010) com o objetivo de ampliar a própria abordagem multicritério que normalmente se aplica com base num número limitado de alternativas. Os autores propõem um método de abordagem chamado modelo de decisão multiobjetivo (MDMO) que permite a análise potencial de um número infinito de alternativas. Os critérios escolhidos para a realização desse trabalho foram o consumo anual de energia primária, emissões anuais de dióxido de carbono e custo inicial da construção. Esses critérios são ajustados de acordo com as preferências do decisor e são otimizados com o auxílio do método de programação específico do MDMO. O grande diferencial é que não são necessárias outras ferramentas, como a simulação, por exemplo, para se realizar a decisão. Todo o processamento de informações para gerar as informações que alimentam os critérios é feito pelo modelo MDMO. Isso demanda um grande investimento no desenvolvimento deste modelo. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade do método, embora seja necessário melhorar o modelo para que seja possível aplicá-lo em edificações mais complexas considerando também outros critérios, como conforto térmico e custo de operação.

Outra ferramenta para auxiliar o projeto arquitetônico com a análise multicritério foi desenvolvida na Austrália tendo como referência as normas existentes no país. Nesta metodologia a edificação de interesse deve ser sempre comparada a uma edificação de referência, como exigem as normas locais. Além disso, o projetista é capaz de testar estratégias de projeto a partir de critérios distintos. De acordo com Soebarto e Williamson (2001), esta ferramenta (i) avalia o sistema de condicionamento de ar, (ii) confronta a edificação de interesse com as normas vigentes, (iii) tem entrada de dados simples e permite alterações sem dificuldades e

(iv) permite avaliação baseada em mono e em multicritério. Os critérios são: uso da energia, qualidade interna do ar, conforto térmico, carga de operação, custos (inicial, operação e manutenção) e outros impactos ambientais (poluição atmosférica, combustíveis nucleares, madeira de reflorestamento, etc.) De acordo com os autores, a ferramenta é capaz de mostrar como está o desempenho de uma edificação perante as demais.

Além de avaliação de edificações, os métodos de análise multicritério podem ser usados para abordagens anteriores à fase de projeto. Um exemplo é a metodologia desenvolvida por institutos de pesquisas europeus e apresentada por Caccavelli e Gugerli (2002) para ser aplicada nas fases iniciais de projeto com o intuito de identificar de maneira prática as questões mais relevantes ao desempenho termoenergético de edificações que passarão por reabilitação na Suíça. O TOBUS – nome da ferramenta – foi desenvolvido para analisar exclusivamente edificações de escritórios com o objetivo de dar suporte às decisões dos gerentes e donos das edificações oferecendo estratégias de renovação já com uma estimativa de custo global. Os autores enfatizam que esta não é uma ferramenta de projeto, mas sim uma ferramenta para planejamento. Pode ser utilizada para (i) definir as ações com melhor custo efetivo, (ii) elaborar cenários consistentes sobre a reabilitação e (iii) calcular o investimento necessário para intervenção nas fases iniciais de projeto. Os critérios considerados são: condição de degradação da edificação, custos, obsolescência dos sistemas da edificação, consumo energético e qualidade interna do ar. Embora tenha sido desenvolvida para uma tipologia específica, é possível ampliar e adaptar a ferramenta a outras tipologias e a outros países da Europa, o que vem sendo feito, de acordo com os autores.

É relevante mostrar trabalhos que usaram o método de análise multicritério, ELECTRE-III, para suas avaliações. A intenção é mostrar que este método é adequado à aplicação em diferentes escalas, como um exemplo sistemas de fornecimento de energia e definição do melhor equipamento de ar condicionado para um prédio.

O trabalho de Catalina et al (2011) usa o ELECTRE-III para auxiliar na decisão sobre o sistema de energia renovável mais adequado à situação analisada. Considera

como critérios: aspectos econômicos, performance energética e impactos sobre o ambiente. Os autores concluem que a metodologia tornou mais fáceis as avaliações que eram complexas e repletas de incertezas.

Já Piguet et al (2011) recorrem ao ELECTRE-III para integrar uma metodologia ampla desenvolvida com objetivo de incluir aspectos de sustentabilidade (utilização de fontes energéticas renováveis) no plano diretor do subúrbio Praille-Acacias-Vernets localizado em Genebra, Suíça. O método geral consiste (i) no estabelecimento de uma base de dados geográfica usando *GIS*, (ii) na identificação, localização e quantificação dos recursos energéticos disponíveis e (iii) na identificação e discussão sobre todas as sinergias e conflitos levantados. O ELECTRE-III foi usado como auxiliar durante o processo de decisão que criou *ranking* para os cenários energéticos considerando os critérios e os pesos estabelecidos pelos atores envolvidos. A metodologia desenvolvida foi capaz de identificar o potencial e a viabilidade de utilização da energia geotérmica naquela localidade.

O ELECTRE-III foi aplicado também para auxiliar o projeto de *retrofit* de um edifício de escritórios na Suíça. Rey (2004) se propôs a integrar critérios de sustentabilidade no processo de projeto de edificações. A intenção era obter, com uma abordagem holística, uma solução técnica e financeiramente viável, ambientalmente responsável e socialmente aceita. A utilização do ELECTRE-III permitiu o estabelecimento de um *ranking* global das soluções considerando simultaneamente critérios de custos, sociocultural e ambiental. A análise multicritério, de acordo com o autor, foi apropriada para ser integrada ao processo de projetos de *retrofit* de edificações.

Avgelis e Papadopoulos (2009) apresentam um método para escolha e gerenciamento do sistema de condicionamento de ar (HVAC) considerando a melhor condição possível para um edifício de escritórios localizado em Thessaloniki, Grécia. Associam a análise multicritério (ELECTRE-III) com a simulação computacional da edificação para fazer uma ampla avaliação do sistema. Os resultados obtidos mostram ser possível classificar as alternativas de projeto levando em consideração simultaneamente critérios econômicos, energéticos, ambientais e de satisfação dos usuários.

Por fim são apresentados dois trabalhos realizados no Brasil em que foi utilizado o ELECTRE-III como auxílio à concepção do projeto de edificações. O primeiro foi desenvolvido por Castro (2005), sendo produzido um *software* para auxílio à concepção arquitetônica na classificação das alternativas de projeto de edificações de escritórios no Rio de Janeiro. Foram considerados os seguintes critérios: conforto térmico, conforto visual, quantidade de luz natural, qualidade interna do ar e consumo de eletricidade. Por meio de simulação foi obtido o desempenho de cada solução em relação aos critérios avaliados e geradas as curvas de tendência que descrevem o comportamento da edificação. O aplicativo computacional desenvolvido tem interface simples para ser usada pelos projetistas durante a fase de anteprojeto (CASTRO, 2005). Porém, ainda de acordo com o autor, cada tipologia construtiva e cada tipo de clima demandam um banco de dados específico e um grande número de simulações para se chegar às curvas de tendência, o que pode dificultar sua utilização em escritórios de projeto. O aplicativo desenvolvido por Castro (2005) serviu de ponto de partida para o desenvolvimento do *software* resultante da presente pesquisa.

O segundo trabalho realizado no Brasil foi desenvolvido por Fontenelle (2012) e busca auxílio do aplicativo multicritério desenvolvido por Castro (2005) para ressaltar os potenciais de contribuição da abordagem multicritério na concepção arquitetônica. Fontenelle (2012) avalia a definição de aberturas laterais de um edifício de escritórios do Rio de Janeiro. Os critérios trabalhados foram (i) nível de iluminação natural no plano de trabalho, através de simulações computacionais (utilizando o programa Daysim 3.1); (ii) visualização para o exterior, pelo cálculo dos ângulos visuais, e (iii) eficiência energética, através da aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Os resultados indicam que (i) as soluções sombreadas apresentam um desempenho global mais satisfatório que as desprotegidas, mesmo quando nestas são adotados vidros de controle solar; e (ii) as aberturas de maiores dimensões apresentam melhores resultados globais para aquele ambiente estudado. A autora concluiu que a abordagem multicritério foi útil na compatibilização dos critérios, podendo contribuir para uma tomada de decisão mais consistente na fase de concepção arquitetônica.

3.4. Características do estudo de caso

A principal motivação para realização do estudo de caso foi avaliar o procedimento desenvolvido e verificar sua aplicabilidade. Para isso, optou-se pelo município do Rio de Janeiro em função de dois pontos principais: (i) o setor residencial é o maior consumidor de energia elétrica da cidade e (ii) a posse de ar condicionado está muito acima da média de todas as regiões brasileiras (IBGE, 2011).

A região Sudeste do Brasil consumiu 53,9% da energia elétrica do país, de acordo com o BEN 2008, e o estado do Rio de Janeiro foi responsável pelo consumo de 29% de toda a energia elétrica dessa região (EPE, 2009). Além disso, sua capital é a segunda maior cidade consumidora de energia elétrica do país. Cabe mencionar ainda que pelos dados de consumo no Brasil, o setor residencial responde por apenas 22,3% do consumo total (EPE, 2009), enquanto pelas características da economia carioca, observa-se que o setor residencial em 2007 foi responsável por 40% da eletricidade consumida no município (LIGHT S.A apud PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2012²¹). Ainda de acordo com os dados de consumo municipal, o setor residencial tem apresentado aumento significativo de participação no consumo nos últimos anos, conforme mostra a figura 3.9.

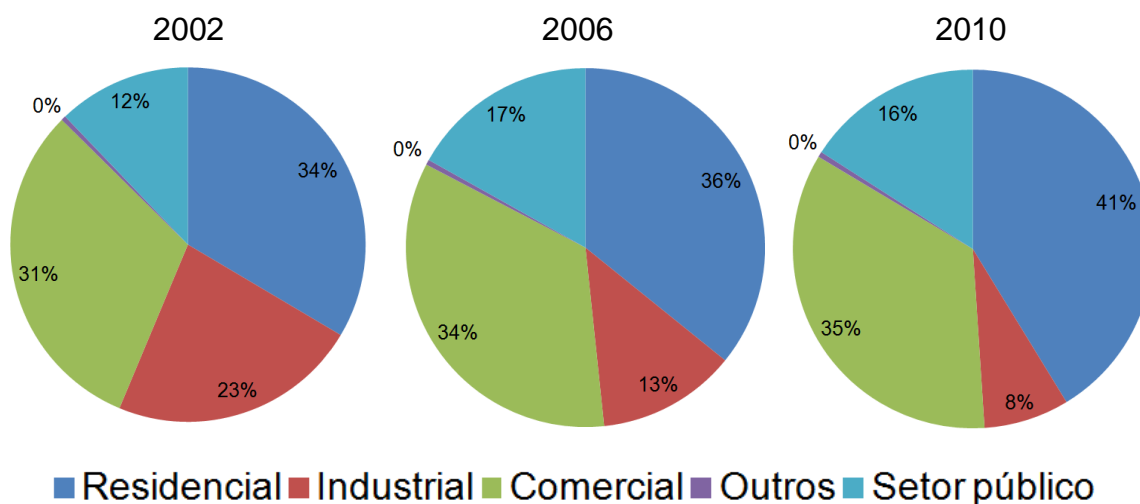


Figura 3.9 – Percentual de consumo de eletricidade por setor no município Rio de Janeiro. Fonte de dados: Light S.A apud Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2012. Elaborado pela autora

²¹ Light Serviços de Eletricidade S.A. *Consumo de energia elétrica por classe de consumo*. Rio de Janeiro, 2011.

No Rio de Janeiro, grande parte da energia elétrica consumida nas residências está relacionada ao condicionamento ambiental. De acordo com o IBGE (2010b), 60% dos domicílios cariocas possuem pelo menos um equipamento de ar condicionado. Esse valor é muito superior ao observado na pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso realizada pelo PROCEL para todas as regiões brasileiras, conforme já apresentado. A maior média é observada na região Norte do Brasil, onde esse equipamento está presente em 16,5% das residências. A região Sudeste, apesar de ser grande consumidora de energia elétrica, aparece com o menor percentual de domicílios (7%) com, pelo menos, um desses aparelhos. A pesquisa do PROCEL indicou ainda que mais de 77% dos equipamentos tem menos de 10 anos de uso, o que indica que os aparelhos devem ser eficientes (PROCEL, 2007).

O Rio de Janeiro, de acordo com o IBGE (2011), tem uma população estimada em 6.186.710 de habitantes, sendo a segunda maior cidade do país também em número de habitantes. Ainda de acordo com o IBGE, a cidade possui o segundo maior PIB do país entre os municípios, sendo que o setor de serviços tem participação de aproximadamente 69%. A área total do município é 1.182,30 km² e seus limites extremos dados pelas referências de (i) latitude e (ii) longitude são os seguintes: (i) 22°45'05" Sul a 23°04'10" Sul; e (ii) a Leste de 43°06'30" W e a Oeste de 43°47'40" W (IBGE, 2011). Assim como normalmente se observa nas cidades litorâneas, no Rio de Janeiro também a maior área territorial está situada abaixo da cota de 50 metros. O inusitado é a presença de três maciços rochosos nos quais se observam altitudes que variam de 100 a mais de 900 metros (SMU, 2010). A cidade está no bioma da Mata Atlântica e, de acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (1999), possui 30% do seu território de áreas naturais, sendo que 45% delas são compostas por florestas. O clima, de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, ou seja, clima quente com forte precipitação anual, principalmente nos períodos de verão, ausência de invernos rigorosos e temperatura média do mês mais frio do ano superior a 18°C, conforme dados das normais climatológicas 1961-1990 apresentados no quadro 3.3 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992).

De acordo com dados do PNUD (2000 apud INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2003²²), a cidade apresenta um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,842, que é considerado alto. Um olhar mais detalhado mostra a relevante desigualdade social, sendo que em algumas regiões da cidade o IDH se assemelha aos países escandinavos, caso da Gávea (0,970), Leblon (0,967), entre outros. Outras regiões apresentam valores muito inferiores à média, caso do complexo do Alemão (0,711) e Rocinha (0,732), por exemplo.

Quadro 3.3 – Dados Normais Climatológicas do Rio de Janeiro – 1961 a 1990

VARIÁVEIS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
T (°C)	MÁX. ABS.	38,5	37,0	37,5	37,3	36,5	32,8
	MÁX. MÉD.	29,4	30,2	29,4	27,8	26,4	25,2
	MÉDIA COMP.	26,2	26,5	26,0	24,5	20,4	21,5
	MÍN. MÉD.	23,3	23,5	23,3	21,9	23,0	18,7
	MÍN. ABS.	18,5	19,5	18,5	17,5	11,0	12,0
UR(%)	MÉDIA	79,0	79,0	80,0	80,0	80,0	79,0
Chuva (mm)	MÉDIA	115,0	105,0	103,0	135,0	85,0	82,0
VARIÁVEIS		JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
T (°C)	MÁX. ABS.	33,2	36,0	37,5	37,0	38,0	37,5
	MÁX. MÉD.	25,3	25,6	25,0	26,0	27,4	28,6
	MÉDIA COMP.	21,3	21,8	21,8	22,8	24,2	25,2
	MÍN. MÉD.	18,4	18,9	19,2	20,2	21,4	22,4
	MÍN. ABS.	13,5	13,8	14,0	15,8	16,5	19,0
UR(%)	MÉDIA	77,0	77,0	79,0	80,0	79,0	80,0
Chuva (mm)	MÉDIA	55,0	52,0	90,0	91,0	95,0	170,0

Fonte: Ministério da Agricultura, 1992.

3.4.1. Panorama do mercado imobiliário

O setor de construção civil da cidade do Rio de Janeiro é composto, de acordo com o Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON-RIO, 2010), por 2.200 empresas que atuam principalmente nas seguintes áreas: legislação fiscal, trabalhista e previdenciária; relação do trabalho; relacionamento com concessionárias de serviços públicos; meio ambiente; qualidade e produtividade;

²² PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. *Atlas de desenvolvimento humano no Brasil*. Rio de Janeiro, s/d.

materiais e tecnologia; planejamento e desenvolvimento urbano, obras públicas; habitação social; e mercado imobiliário. De todo esse universo, 125 empresas atuam diretamente com o setor de mercado imobiliário (ADEMI, 2010).

Para descrever o mercado imobiliário, é relevante fazê-lo por meio de dados relativos ao seu desempenho. Desta forma, vale destacar os dados da pesquisa da Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário do Rio de Janeiro (ADEMI-RJ) sobre o mercado imobiliário. A Associação criada em desde 2003, tem por objetivo acompanhar e analisar “(...) *o comportamento do mercado imobiliário do Rio de Janeiro, através da apuração de informações referentes a preço de venda de imóveis novos, quantidade ofertada, características de novos empreendimentos, movimentação nos stands e índice VSO (vendas sobre oferta) em um determinado universo de empreendimentos das principais empresas do mercado imobiliário do Estado do Rio de Janeiro*” (ADEMI, 2010). A figura 3.10 mostra a recuperação do mercado imobiliário da cidade a partir do segundo semestre de 2006, observa-se um constante aumento do número de unidades disponíveis²³.

Dentre os imóveis residenciais lançados no período de 2003 a 2009, aproximadamente 43% são de dois quartos e 30% de três quartos como mostra a figura 3.11 a seguir.

A figura 3.12 apresenta a quantidade de vendas dos imóveis disponíveis na diferentes fases do empreendimento (planta, obra e pronto) de 2004 a 2008. Fica clara uma tendência de aumento das vendas na planta. Isso pode ser entendido como uma boa consequência da Lei 10.931/2004 (BRASIL, 2004) que foi capaz de dar ao consumidor mais segurança para realizar investimentos em empreendimentos em fase inicial.

²³ Unidades Disponíveis, de acordo com a pesquisa da ADEMI, são todas as unidades colocadas a venda, isto é, todas as unidades do empreendimento menos as permutadas, as vendidas e as fora de venda.

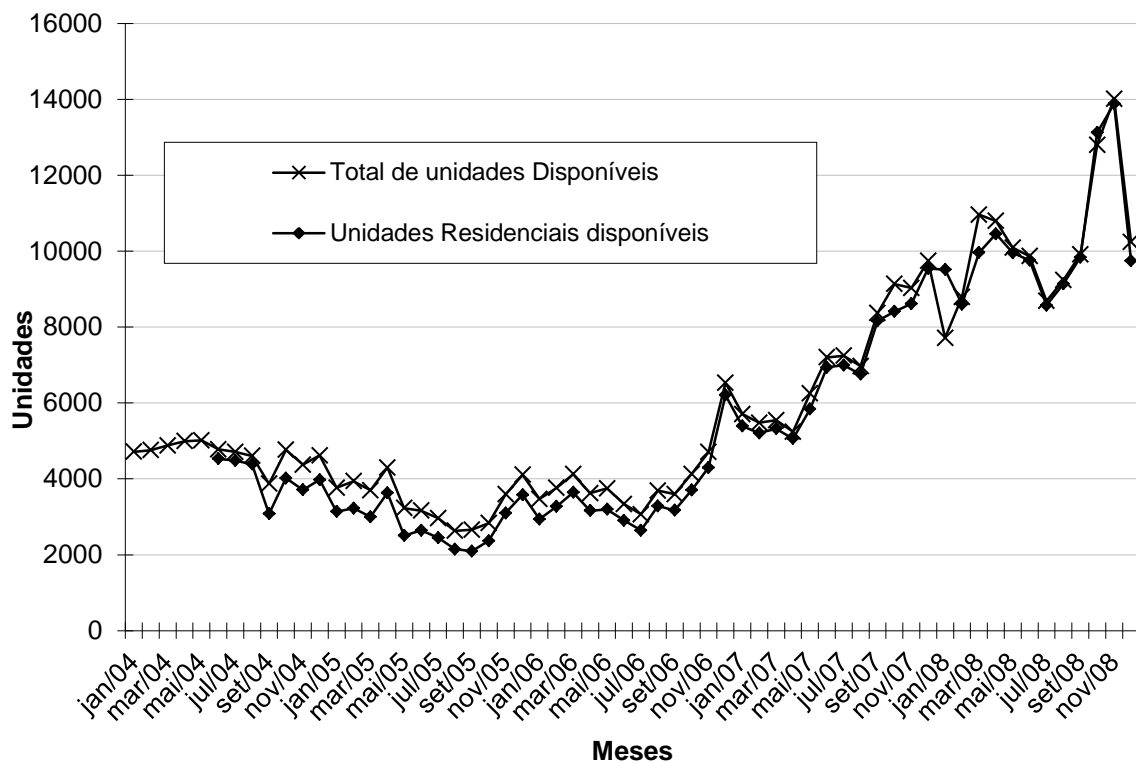


Figura 3.10 – Gráfico de unidades disponíveis no Rio de Janeiro – 2004 a 2008
 Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

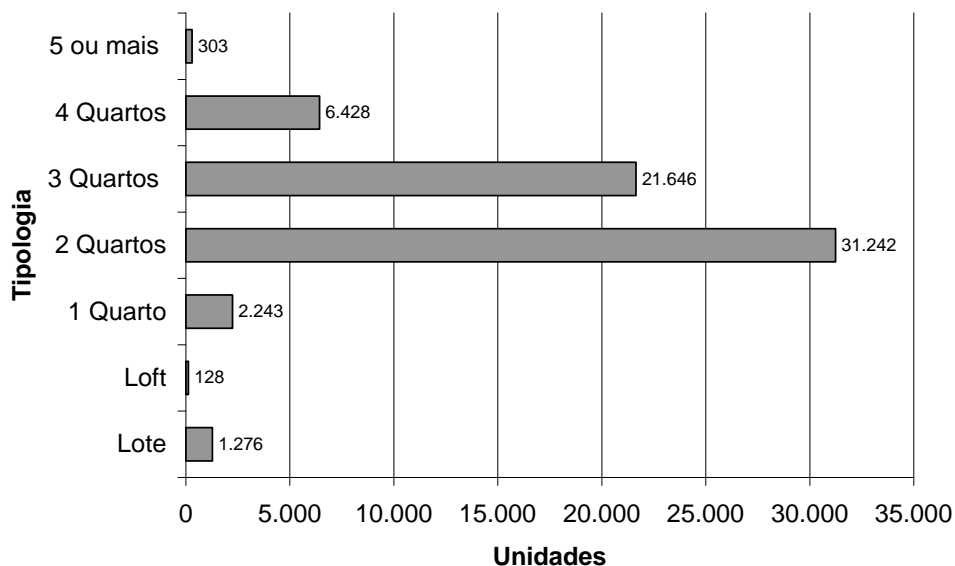


Figura 3.11 – Gráfico de tipologias - 2003 a 2009
 Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

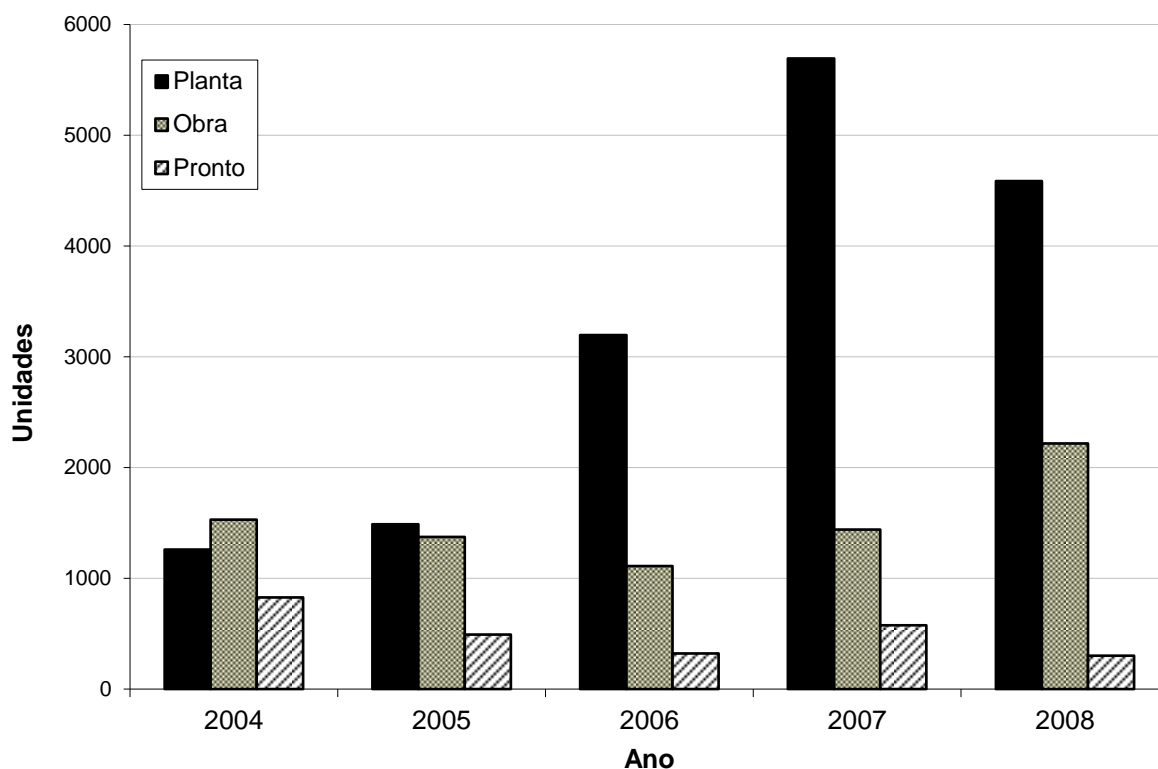


Figura 3.12 – Gráfico de vendas de imóveis em diferentes fases do empreendimento - 2004 a 2008.
Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

Constatou-se ainda que nos últimos anos vem aumentando, além da oferta de imóveis, o valor desses imóveis. Considerando o valor em R\$/m², a figura 3.13 mostra a redução da oferta de imóveis mais baratos e a elevação da oferta de imóveis mais caros em valores absolutos. Em 2008, em termos percentuais, pode-se dizer que praticamente não houve disponibilidade de imóveis com valores inferiores a R\$100 mil no Rio de Janeiro.

Quanto ao perfil de financiamento dos imóveis residenciais vendidos, também houve mudanças nestes últimos anos (2004 a 2008). A figura 3.14 mostra a queda significativa dos financiamentos diretos com as construtoras e o aumento da participação do financiamento via bancos, tanto pela Caixa Econômica Federal (CEF) como pelos demais.

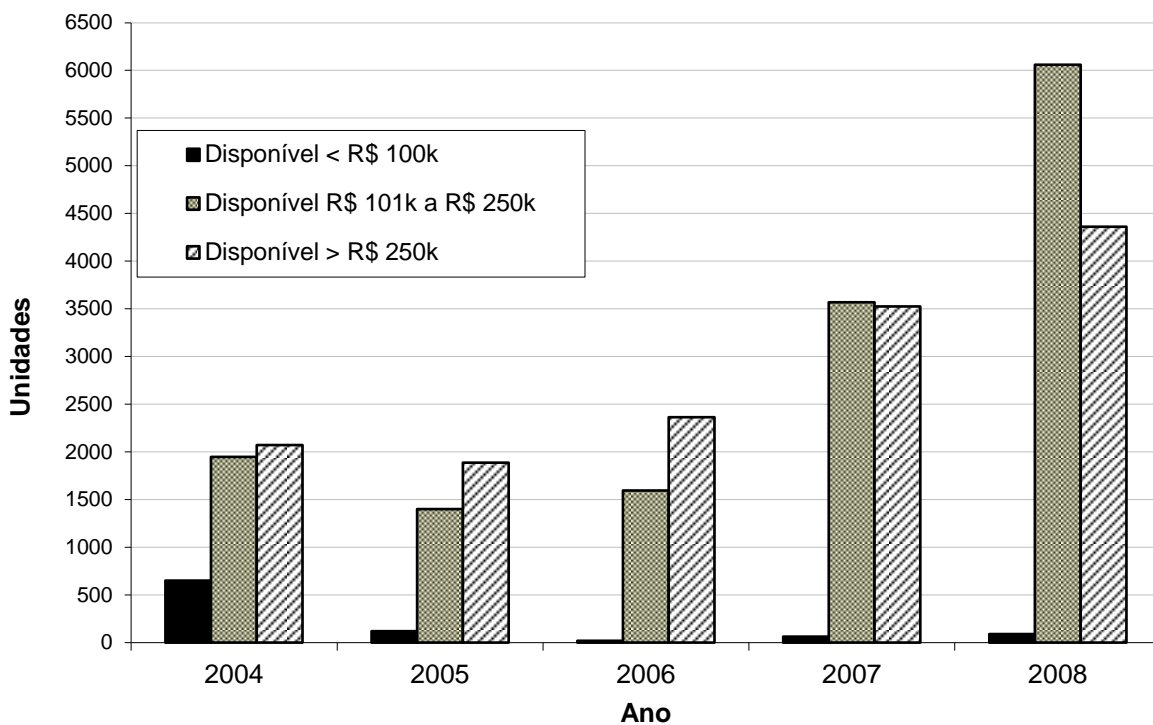


Figura 3.13 – Gráfico de disponibilidade de imóveis em função do valor - 2004 a 2008
 Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

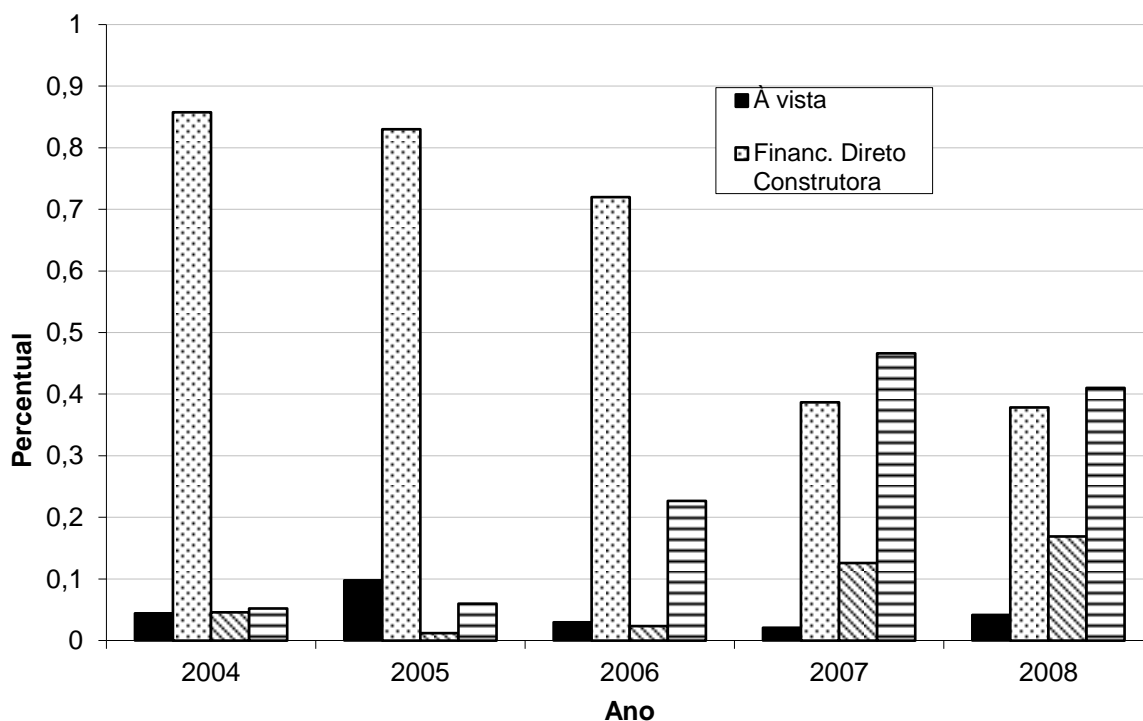


Figura 3.14 – Fontes de recursos - 2004 a 2008
 Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

A partir desses dados fica claro que o contexto do setor da construção civil brasileiro, descrito no capítulo 2, é claramente observado na capital fluminense. Essa expansão tem ocorrido principalmente na Zona Oeste (ZO) da cidade, como mostra a figura 3.15, nas regiões administrativas da (i) Barra da Tijuca, que engloba os bairros Joá, Itanhangá, Barra da Tijuca, Camorim, Vargem Grande, Vargem Pequena, Recreio dos Bandeirantes e Grumari; e de (ii) Jacarepaguá, que engloba os bairros Jacarepaguá, Anil, Gardência, Curicica, Freguesia, Pechincha, Taquara, Tanque, Praça Seca e Vila Valqueire.

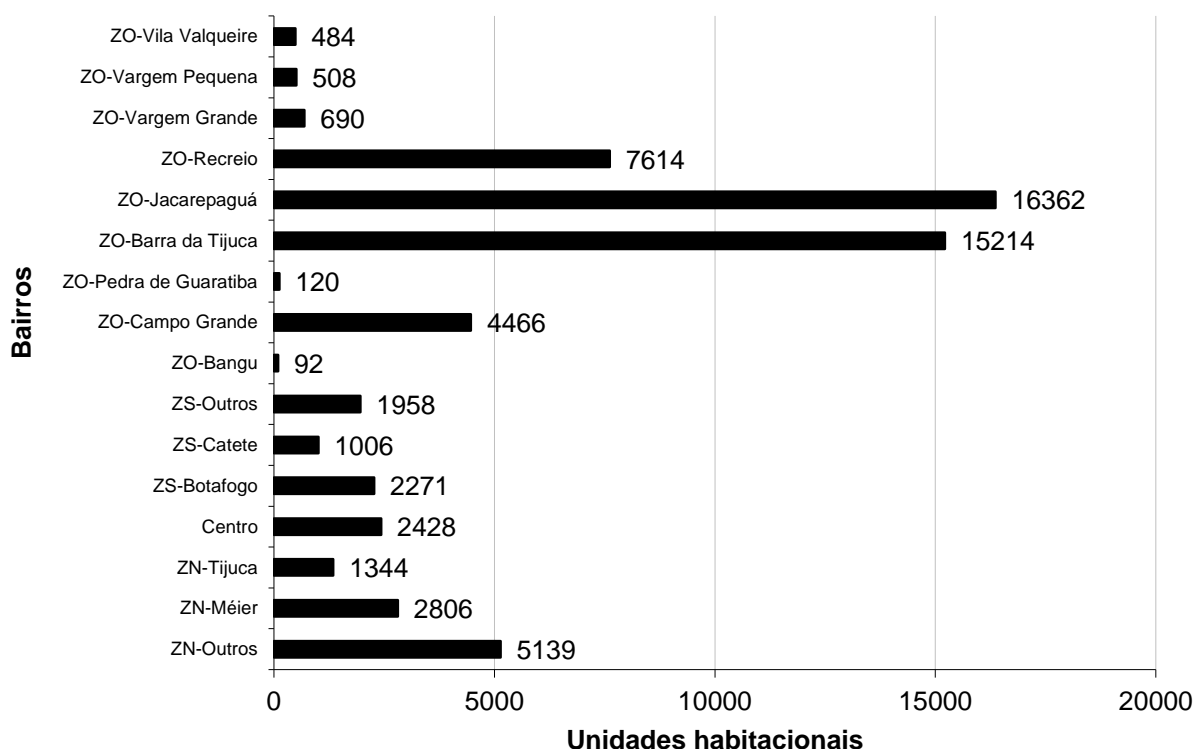


Figura 3.15 – Lançamento por bairros - 2003 a 2009
Fonte de dados: ADEMI, 2010. Elaborado pela autora

3.4.2. Aspectos urbanísticos da área de interesse

De acordo com Caderman e Caderman (2004), a ocupação da Barra da Tijuca é anterior à ocupação de Jacarepaguá, que está passando atualmente pela aceleração da ocupação e mudança de uso e de escala das edificações em função principalmente do Plano de Estruturação Urbana da Taquara (RIO DE JANEIRO, 2004). Esse plano fez chamar a atenção do mercado imobiliário para essa região, além de estar grande parte da infraestrutura do Parque Olímpico de 2016 sendo

construído nesta área. A figura 3.16 mostra a área que abrange essas duas regiões administrativas.



Figura 3.16 – Área de planejamento 4, Barra da Tijuca e Jacarepaguá.
Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2007.

A área administrativa de Jacarepaguá já estava entre as regiões mais populosas da cidade em 2000, como mostra a figura 3.17. De acordo com o censo 2000, o número de habitantes era de 507.698, tendo crescido à taxa de 16% no período de 10 anos. Este crescimento equivalente a cerca de 80 mil novos habitantes no período de 10 anos, provavelmente devido ao fluxo migratório municipal para a região (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2003).

Apesar do elevado número de habitantes e do crescimento observado entre 1991 e 2000, a região administrativa de Jacarepaguá ainda apresenta densidades demográficas baixas para a cidade. Apenas o bairro Pechincha tem densidade considerada como média, ver a figura 3.18.

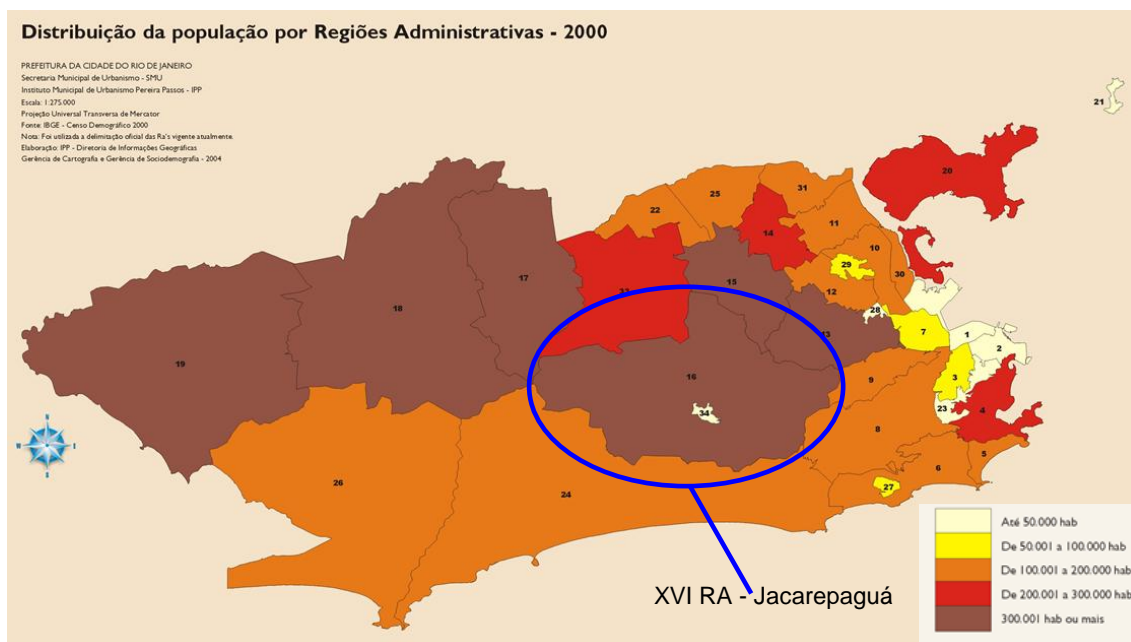


Figura 3.17 – Distribuição da população por regiões administrativas.
Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2010. Adaptado pela autora.

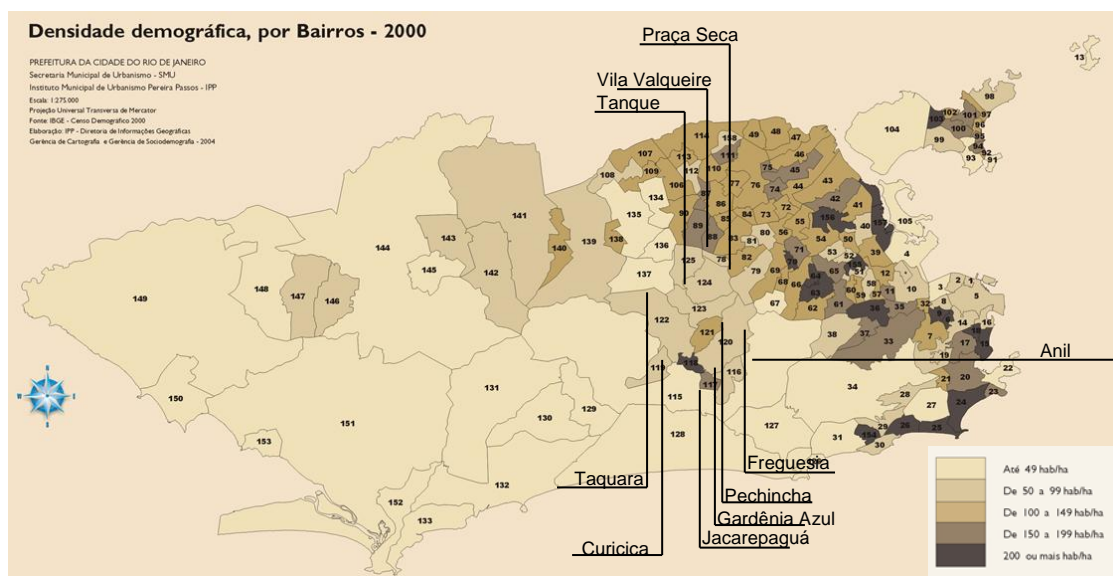


Figura 3.18 – Densidade demográfica por bairros.
Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2010. Adaptado pela autora.

A região de Jacarepaguá está classificada como de médio-alto desenvolvimento humano, tanto pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH=0,800), como pelo Índice de Condições de Vida (ICV=0,795). A renda média (05 salários mínimos) está abaixo da média da cidade (06 salários), mas supera esses valores nos bairros da

Capítulo 3 – Fundamentação teórica

Freguesia e do Anil (em torno de 08 salários) e em Vila Valqueire e Pechincha (cerca de 07 salários) (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2003).

A figura 3.19 traz a proporção de domicílios com ar condicionado por região. De acordo com a Prefeitura Municipal (2004), de 50% a 89% das residências da XVI RA possuem pelo menos um equipamento de ar condicionado.

A respeito do histórico recente de legislações urbanísticas da região, tem-se no plano diretor elaborado pelo arquiteto Lúcio Costa em 1969 e aprovado pelo Decreto-Lei nº42 do mesmo ano o primeiro instrumento legal de incentivo à ocupação da área. Esse plano era adequado à necessidade de expansão da cidade, apresentando um zoneamento menos rígido e mais aberto a propostas com características de interesse social (CARDEMAN e CARDEMAN, 2004).

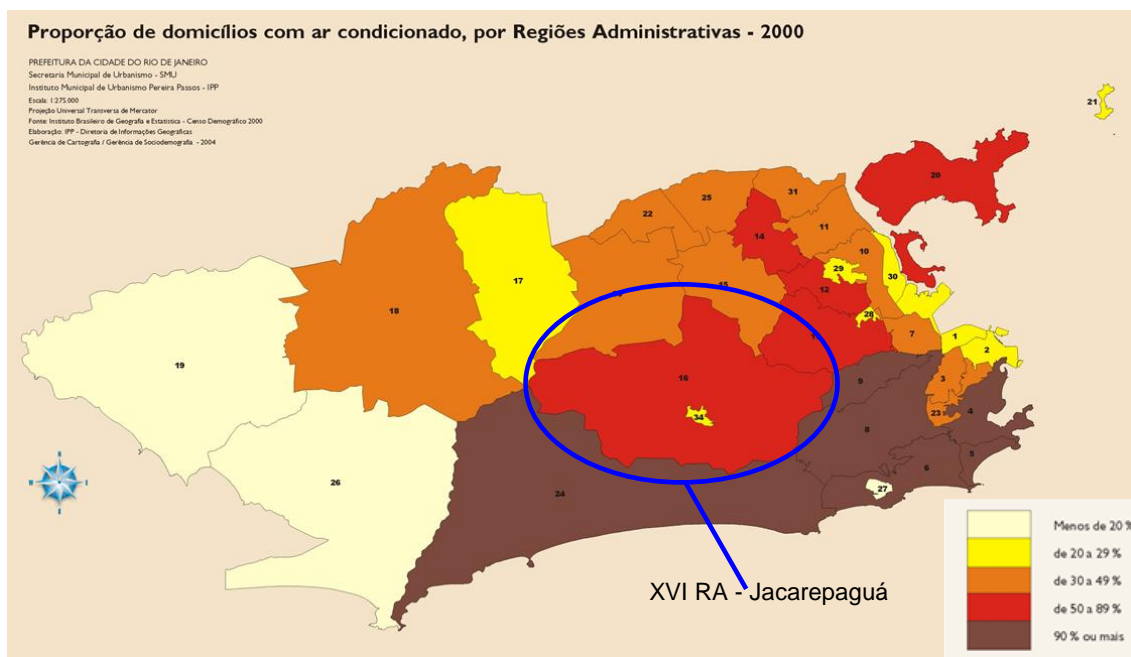


Figura 3.19 – Proporção de domicílios com as condicionado, por regiões administrativas. Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2010. Adaptado pela autora.

Em 1992, o plano diretor decenal do município estabeleceu as diretrizes de uso e ocupação daquela área de planejamento (AP-4). De acordo com a Lei Complementar nº16, de 04 de junho de 1992, o adensamento era desejável desde que compatível com a infraestrutura dos bairros do Pechincha, Freguesia, Taquara, Tanque e Praça Seca, todos compreendidos na área de interesse desse trabalho.

Além disso, a regulação incentivava a instalação de atividades geradoras de emprego no centro de comércio Taquara-Tanque para redução de deslocamento para outras regiões da cidade (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 1992). Esse mesmo plano ainda definiu os índices de aproveitamento de terrenos para os bairros da região administrativa de Jacarepaguá, sendo os bairros de Anil, Gardênia Azul e Curicica com o menor índice, 1,0. Freguesia, Pechincha, Praça Seca e Vila Valqueire apresentam índice de 3,0. Já para Taquara e Tanque, determinou-se o maior índice, 4,0.

Em 06 de julho de 2004, foi aprovada a Lei Complementar nº70 que instituiu o Projeto de Estruturação Urbana (PEU) dos bairros de Freguesia, Taquara, Pechincha, e Tanque. Em 25 de agosto do ano seguinte, foi publicado o Decreto nº25.699 (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2005) definindo os parâmetros de usos do solo e regulamentando a Lei Complementar nº70 (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2004).

Vale destacar que o bairro de Jacarepaguá não fez parte desse projeto. Uma pequena parte do bairro foi contemplada pela Lei Complementar nº79 (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2006), de 30 de maio de 2006. Entretanto, a maior área ainda é atingida por duas legislações bem diferentes, os decretos nº 2.418/79 e nº3.046/81 (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 1979 e 1981). De acordo com a Prefeitura Municipal (2010), o primeiro está adequado à realidade local e necessita de alguns ajustes, como por exemplo, mudar a dimensão mínima para os lotes em zona residencial (ZR -1 A), de 5.000,00m², para dimensões compatíveis com os padrões determinados pelo mercado local atual. No entanto, ainda de acordo com a Prefeitura (2010), o segundo decreto apresenta contradições na legislação. Para resolver essas questões, além do impacto sobre o mercado imobiliário local que o PEU da Taquara provocou, a prefeitura está desenvolvendo um PEU específico para Jacarepaguá. Seus objetivos são, primordialmente, o equilíbrio entre o desenvolvimento das atividades e a melhoria da qualidade de vida dos bairros; e a compatibilização entre a ocupação urbana e as limitações do meio físico, desde que considerada a capacidade da infraestrutura existente e aquela a ser implantada.

Em função da situação apresentada anteriormente, o trabalho se restringe às unidades especiais de planejamento 42 e 43 (UEP 42 e 43) compostas pelos bairros: Freguesia, Pechincha, Taquara e Tanque, abrangidos pelo PEU Taquara. O PEU Taquara subdividiu as UEP's 42 e 43 em nove zonas, como mostra a figura 3.20

A maior parte do território é classificada como Zona Residencial 2 (ZR2), onde é permitido, além do uso residencial, o uso comercial e de serviços. A atividade industrial também é permitida desde que não seja pólo gerador de tráfego, atividade atratora de veículos de carga, geradora de incômodos, que seja nociva e ou potencialmente modificadora do meio ambiente. Os parâmetros de uso e ocupação do solo mais relevantes para o uso residencial multifamiliar determinados pela legislação são os seguintes:

- Número máximo de pavimentos: foi definido por zona. A contabilização não inclui os pavimentos em subsolo completamente enterrados ou semi-enterrados (piso do pavimento superior até +1,50m). Admitem-se pavimentos de cobertura com ocupação máxima de 50% da área do pavimento inferior.
- Índice de aproveitamento do terreno (IAT): indica o potencial construtivo do terreno. Varia em função do uso e da zona.
- Área total da edificação (ATE): para realizar o cálculo da área total permitida para a edificação é permitido computar na área do terreno as áreas atingidas por recuos e as faixas não-edificáveis.
- Taxa de ocupação (TO): não há taxa de ocupação máxima determinada, exceto para zonas de conservação ambiental.
- Afastamentos: estipula afastamento frontal mínimo para todas as edificações em todas as zonas. É permitido balancear as varandas abertas e sacadas até o limite de dois terços do afastamento frontal. Há ainda limitações para os afastamentos laterais e de fundos mínimos, afastamento mínimo entre edificações e forma de ocupação dos afastamentos.

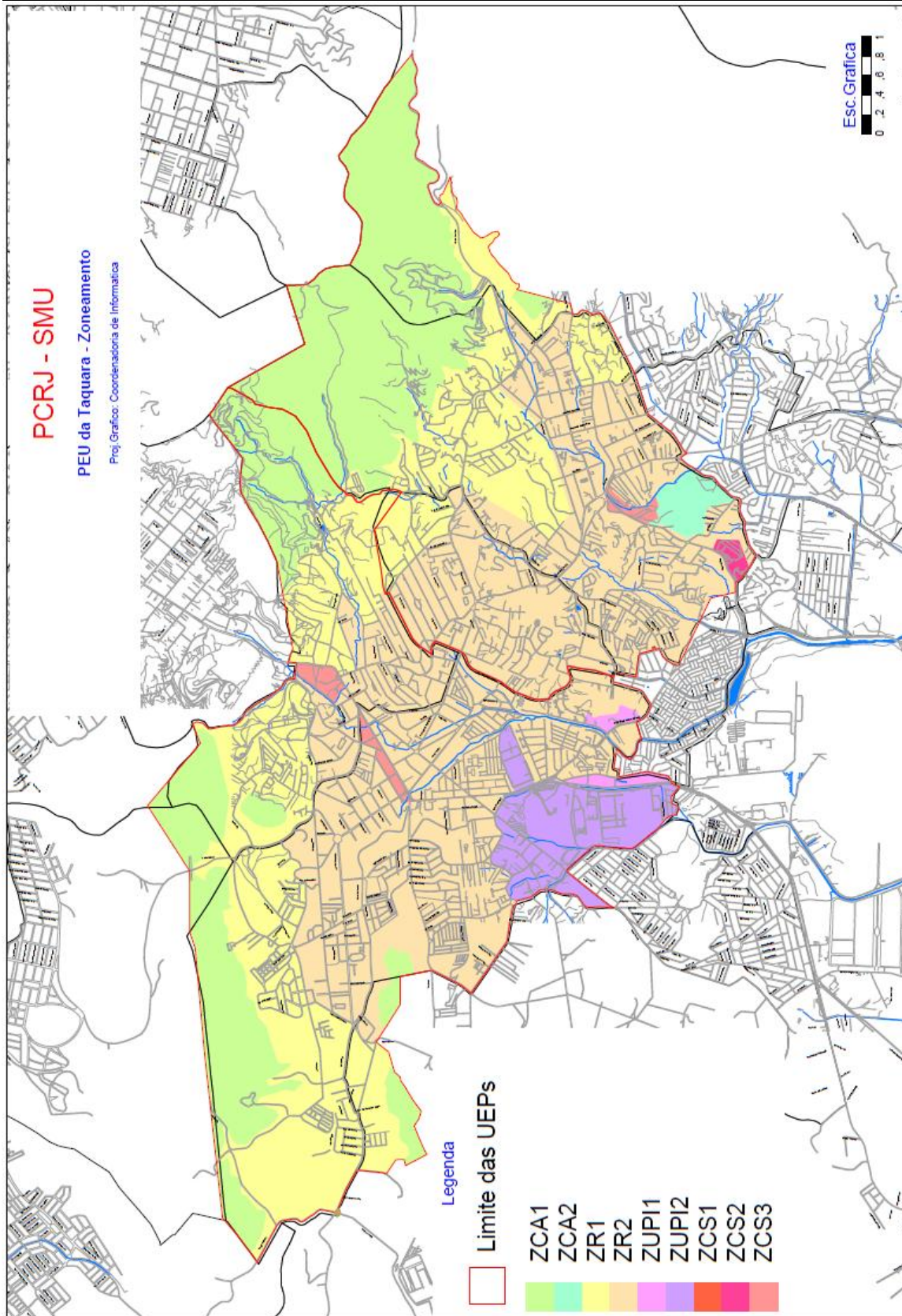


Figura 3.20 – Zoneamento PEU Taquara.
Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2004.

- Dimensões da projeção horizontal: determina que as dimensões máximas da projeção horizontal das edificações devem permitir a sua inserção em um polígono de perímetro máximo igual a 160 metros e cuja maior dimensão não ultrapasse 40 metros, exceto os pavimentos dispensados de afastamentos das divisas.
- Taxa de permeabilidade (TP): são definidas para cada zona e se exige que seja livre de pavimentação e construção, inclusive em subsolo. A área permeável pode estar localizada no afastamento frontal. Para lotes em encosta a TP deve acompanhar a linha de drenagem natural do terreno.
- Área útil mínima da edificação: 30 m².
- Coeficiente de adensamento (Q): parâmetro urbanístico que tem a finalidade de controlar o número máximo de unidades residenciais permitidas no lote. Este número máximo de unidades será obtido pela divisão da área do terreno pelo coeficiente de adensamento. Nesta legislação foi definido apenas para as ZR1 e ZUPI1.

A seguir o quadro 3.4 mostra a quantificação dos parâmetros para o uso residencial na ZR2, que ocupa a maior parte da área.

Quadro 3.4- Parâmetros para ocupação da zona residencial 2 (ZR2)

Zona	IAT	Nº Máx. Pav.	Afast. Frontal	TP	Vagas
ZR2	3	- 8 pav. até a cota +40m; - 6 pav. entre as cotas +40 e +50 m; - 4 pav. para cotas superior a +50m;	3 m	20%	- 1 vaga p/ unidades até 120m ² - 2 vagas p/ unid. Com mais de 120m ²

Fonte de dados: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (2005). Elaborado pela autora.

Outros critérios, ausentes no PEU Taquara, são colocados pelo Decreto nº7.336 de 05 de janeiro de 1988 para a construção de edificações residenciais multifamiliares (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 1988). Ao longo dos anos esse decreto foi sofrendo alterações e adendos, sendo as informações condensadas no quadro 3.5.

Todos os decretos e leis complementares que alteram o primeiro, pois todos se encontram no código de obras da cidade.

Quadro 3.5 - Parâmetros para edificações multifamiliares presentes no Decreto nº7.336/1988

Afastamentos laterais e de fundos	O maior valor entre de 2,5 m ou 1/5 da altura ²⁴ da edificação
Pé-direito longa permanência	2,5 metros
Pé-direito curta permanência	2,2 metros
Iluminação longa permanência	No mínimo 1/6 da área do piso do ambiente
Iluminação curta permanência	- Cozinha/copa: no mínimo 1/8 da área do piso do ambiente - IS: não há valor mínimo
Ventilação longa permanência	No mínimo 50% da área de iluminação
Ventilação curta permanência	- Cozinha/copa: no mínimo 1/8 da área do piso do ambiente - IS: no mínimo 1/8 da área do piso do ambiente ou sistema mecânico.
Profundidade máxima longa permanência	- 2,5 vezes o pé-direito do ambiente para áreas de abertura de 1/6 da área de piso - 4 vezes o pé-direito do ambiente para áreas de abertura de 1/4 da área de piso
Profundidade máxima curta permanência	- 2,5 vezes o pé-direito do ambiente para áreas de abertura de 1/8 da área de piso - 4 vezes o pé-direito do ambiente para áreas de abertura de 1/6 da área de piso

Fonte de dados: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (1988). Elaborado pela autora.

A legislação determina ainda a explicitação das proteções solares no projeto, para aprovação, e limita os balanços delas em relação às linhas limites de afastamento ou alinhamento em no máximo 0,6m. Para o isolamento térmico, o regulamento determina que a espessura mínima das paredes externas acabadas seja de 0,15m para alvenaria de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto e de 0,08m para aquelas executadas em concreto monolítico. Cabe mencionar que são possíveis outras espessuras se comprovado o desempenho no mínimo equivalente às paredes externas citadas, porém não há nenhum esclarecimento sobre os requisitos

²⁴ Altura da edificação é a medida entre o nível do 1.º compartimento iluminado ou ventilado e o nível superior do último pavimento, não sendo considerado o eventual pavimento de cobertura.

avaliados e as formas de avaliação. Sobre o aproveitamento energético, a legislação se limita a permitir a instalação de sistemas de aquecimento solar de água nas edificações.

3.5. Repercussões sobre a metodologia

A seguir é apresentada uma síntese sobre o material apresentado nos capítulos de contextualização e fundamentação teórica, identificando a repercussão dos pontos apresentados sobre a proposta metodológica.

No segundo capítulo, foram apresentadas algumas políticas internacionais relativas a eficiência energética em edificações, sendo a escolha dos três casos proposital. As experiências vividas pelos países escolhidos são relevantes de serem confrontadas com a situação brasileira para que se possa refletir sobre a postura do Brasil em relação às políticas de eficiência energética nas edificações. Foi possível evidenciar a falta de integração entre os setores de planejamento do país, sendo necessária maior articulação entre os agentes envolvidos. Das experiências apresentadas observou-se exemplos de (i) abordagem integrada da questão do desempenho energético das edificações associada à política de habitação, (ii) celeridade na implantação do processo obrigatório de avaliação de desempenho energético de habitações e a desburocratização deste, e (iii) preocupação com questões relevantes ao empreendimento como viabilidade econômica das exigências.

Voltando a situação brasileira, é preciso evidenciar que o desafio do desempenho energético das edificações não se refere a apenas individualmente as edificações, mas também como impacto direto sobre o desenvolvimento urbano e regional. Para se ter uma noção, quando as projeções do mercado (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS e ERNST & YOUNG, 2008) mostram a expectativa de construção de 37 milhões de unidades até 2030 ou 1,6 milhões de unidades por ano, o que significa dizer que a cada ano no Brasil será construído o mesmo número de domicílios particulares existentes no estado do Maranhão em 2010, quando esse possuía 1,653 milhões de domicílios particulares permanentes (IBGE, 2011). Não é difícil compreender que o impacto total dessas unidades sobre o tecido urbano, o meio

ambiente, a matriz energética, etc., é muito maior que a soma dos impactos de cada unidade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004).

Como já foi citado, o foco deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para avaliação do desempenho termoenergético de envoltórias de edificações habitacionais, sistemas de aquecimento de água para banho e os custos associados para as primeiras etapas do processo de projeto de empreendimentos. Diante disso é interessante esclarecer como o *software* RESIDE seria incorporado ao processo de projeto. Na fase de Idealização ou Conceituação do Produto ocorre a formulação de algumas propostas iniciais para atender as necessidades e restrições previamente definidas no Programa de Necessidades. A fase seguinte, de Desenvolvimento do Produto, realiza a avaliação da(s) solução(ões) inicial(is) segundo critérios que contemplam custo, tecnologia, adequação ao usuário, restrições legais, etc. A intenção deste trabalho é que o *software* RESIDE seja incorporado a esse conjunto de avaliações, o que permitirá examinar o desempenho termoenergético da edificação previamente a definição do Estudo Preliminar.

Considera-se que o objetivo principal da presente pesquisa é o de desenvolver uma ferramenta com base no método de decisão multicritério ELECTRE-III que avalia aspectos relativos ao desempenho termoenergético para auxiliar a tomada de decisão em fases iniciais de planejamento do empreendimento (conceituação e definição do produto e estudo preliminar do projeto). Diante deste objetivo foi estabelecida a identificação da repercussão da teoria apresentada sobre a metodologia proposta no capítulo seguinte.

Para tanto, considerou-se a utilização do conceito energético durante o desenvolvimento dos projetos arquitetônicos. Na descrição da primeira etapa deste método de trabalho foram apontados quatro aspectos (clima, uso, legislação e linguagem arquitetônica) que devem ser considerados desde o momento da conceituação da edificação para que o seu projeto concorra para que a edificação seja energeticamente eficiente.

O recorte estabelecido, que tem como base a envoltória da edificação e do sistema de aquecimento de água para banho, é justificado, pois estes juntos são responsáveis pela maior parte da energia consumida nas edificações para promover

o conforto dos usuários. Mostraram-se, ainda, as vantagens de considerar este enfoque nos primeiros momentos de desenvolvimento dos projetos de edificações, quando há liberdade para alcançar significativos avanços com baixo custo associado.

Não se pode desconsiderar o impacto que o custo inicial tem sobre a decisão de lançar ou não um novo empreendimento imobiliário. Por um lado, esse custo é uma questão fundamental para os investidores, que buscam obter lucro com aquela atividade. Por outro lado, o custo inicial do empreendimento também é de interesse dos poderes públicos que atuam na produção de habitação de interesse social. Neste caso, o dinheiro público usado para financiar o empreendimento deve possibilitar a construção do maior número possível de unidades, desde que respeitando requisitos mínimos de qualidade.

Entretanto essas considerações não eliminam a análise sobre o custo da unidade habitacional ao longo do seu ciclo de vida. É muito relevante que as políticas públicas e os usuários das edificações fiquem atentos para os custos de operação do imóvel deste o momento inicial de decisão a respeito do investimento. A metodologia proposta pode contribuir para disseminação de informações indiretas relativas aos custos relacionados à operação do sistema de condicionamento ambiental da habitação, uma vez que essas podem ser usadas no plano de *marketing* do empreendimento.

Para tratar dos diferentes critérios relevantes para o desempenho termoenergético das edificações e seus custos foi necessário recorrer à análise multicritério. Dentre os métodos existentes, o ELECTRE-III se mostrou mais adequado para lidar com o número considerado de critérios e de alternativas construtivas. Além disso, este método é de fácil utilização até para os usuários iniciantes e as respostas são rápidas, uma vez que se possui o banco de dados pronto. Já o programa EnergyPlusTM possibilita a realização das simulações computacionais para obter as informações relativas aos critérios que tratam do desempenho termoenergético de cada uma das alternativas. No capítulo a seguir, é detalhado o desenvolvimento dessa metodologia a partir do material apresentado.

4. Metodologia

Esse trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, tecnológica e de caráter interdisciplinar, de abordagem geral indutiva, visto que lida com fatos e dados. Intenta-se um procedimento de generalização, ligado a processo de tomada de decisão em planejamento arquitetônico de um empreendimento. Os dados têm natureza objetiva e sua procedência é principalmente secundária. Entretanto, existem dados de origem primária provenientes de simulações computacionais.

Como já discutido no terceiro capítulo, quando das fases iniciais de planejamento dos empreendimentos imobiliários no Brasil, constata-se que há uma carência de metodologias autóctones de decisão para estabelecer com relação às soluções arquitetônicas propostas uma classificação em termos de melhor desempenho termoenergético e em consonância com um critério de economicidade. Procurando contribuir para a resolução desta problemática, a presente pesquisa tem o objetivo de propor uma ferramenta computacional para auxiliar a tomada de decisão fundamentada na análise multicritério e indicar a sua viabilidade de utilização.

O método experimental foi o caminho escolhido para tal desenvolvimento. Tem-se a definição da premissa ou hipótese (apresentada no primeiro capítulo), a fase de experimentação e a generalização do resultado. A fase de experimentação está relacionada ao desenvolvimento da metodologia e do *software*. Já a generalização se refere à aplicação da metodologia desenvolvida e do *software*. O caso apresentado é uma forma de exemplificar a aplicação da metodologia.

O primeiro passo foi buscar a identificação dos aspectos mais relevantes envolvidos no processo decisório a partir da premissa do trabalho. O momento certo para se estabelecer um adequado desempenho termoenergético de uma edificação multifamiliar dá-se quando da tomada de decisões nas primeiras fases de desenvolvimento do projeto arquitetônico (conceituação e definição do produto), e da articulação entre as políticas públicas e incorporação imobiliária. Sendo que o desempenho termoenergético da edificação depende da consideração simultânea das variáveis físicas, formais, e custos da envoltória, e do sistema de aquecimento de água. É interessante destacar que o custo deve ser considerado a partir de duas

ólicas. A primeira focando no custo inicial das alternativas construtivas da envoltória e dos sistemas de aquecimento de água e a segunda, nos custos de operação da edificação.

Foram identificadas cinco variáveis de interesse nesta pesquisa. Duas dessas são consideradas independentes, ou seja, variáveis que se altera para observar efeito sobre as variáveis dependentes, a saber: características físicas / formais da envoltória; e características técnicas do sistema de aquecimento de água (fontes de calor, configuração dos aquecedores e tipo de circuito de distribuição de água quente). Já as três variáveis dependentes (que se mede ou observa-se) estão relacionadas com a envoltória:

- Condição de conforto higrotérmico dos usuários da habitação: medida pelo percentual de horas de conforto por ano sem utilização de condicionamento artificial.
- Demanda de condicionamento artificial: medida em graus-hora/ano.
- Custo da envoltória: medido pela variação percentual do custo das soluções para a envoltória a partir do custo calculado para a solução padrão presente na NBR12.721:2006.

No decorrer do processo de identificação dessas variáveis tornou-se evidente uma grande complexidade quando se tenta realizar uma análise simultânea com base em todas estas variáveis para as soluções arquitetônicas concebidas. A revisão da literatura indicou que um método de análise multicritério permitiria a realização da avaliação desejada. O passo seguinte foi identificar qual dentre os vários métodos multicritérios de análise existentes seria o mais adequado ao trabalho, sendo apontado pelos estudos o ELECTRE-III, como foi mostrado na descrição do estado da arte.

Assim, nesta pesquisa, a metodologia de trabalho para elaboração da ferramenta de auxílio à decisão foi organizada em atendimento às características do método multicritério selecionado. A seguir é apresentado o procedimento para elaboração desta ferramenta.

4.1. Procedimento para elaboração da ferramenta de auxílio à decisão multicritério

A estrutura do procedimento para realização da análise multicritério pelo método escolhido, ELECTRE-III, pode ser sintetizada conforme mostra a figura 4.1.

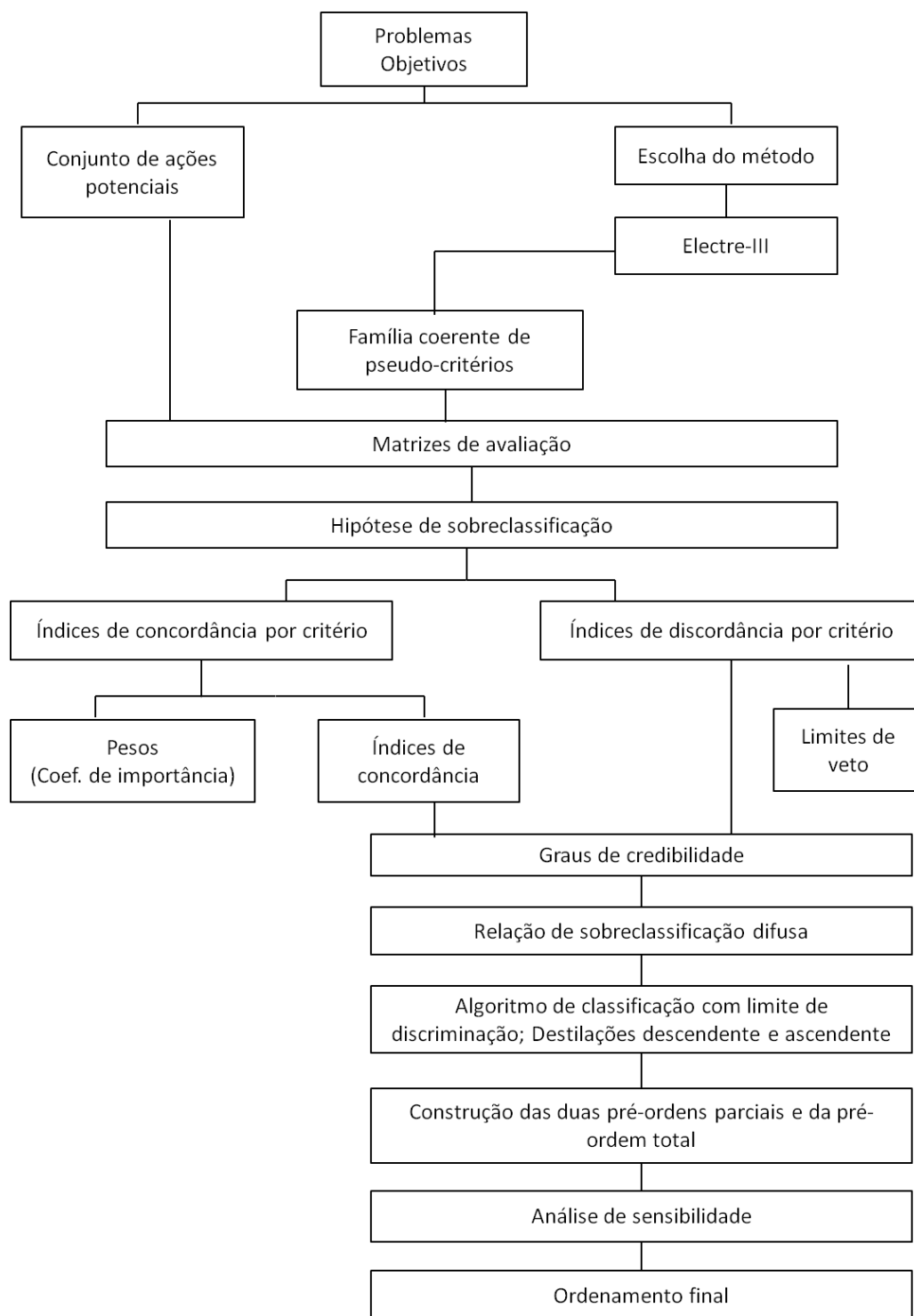


Figura 4.1 – Procedimento de aplicação do ELECTRE-III.
 Fonte: Adaptado de Castro, (2005)

Para elaborar as matrizes de avaliação é necessário estabelecer o conjunto de ações que têm potencial para resolver o problema estabelecido. Esse conjunto de ações nesta pesquisa é composto por alternativas para soluções técnicas de envoltória (cobertura e parede) e sistemas de aquecimento de água. O item 4.1.1 a seguir descreve detalhadamente as alternativas definidas.

Para iniciar as análises, é interessante retomar algumas características do ELECTRE-III. O método é capaz de avaliar pseudo-critérios²⁵.

De acordo com Buchanan et al (1999), o ELECTRE-III se distingue de outros métodos multicritério por realizar análise não-compensatória, ou seja, uma pontuação muito ruim em um critério não pode ser compensada por bons resultados em outros critérios. Além disso, o ELECTRE-III permite a incomparabilidade entre alternativas. Não se deve confundir incomparabilidade com indiferença. A noção de incomparabilidade de duas alternativas significa que se uma alternativa é superior em alguns critérios e inferior nos outros critérios não é possível compensar essas diferenças e comparar essas alternativas.

A indiferença, por sua vez, significa que não é possível perceber nenhuma evidência clara em favor de uma ou outra alternativa. Por exemplo, deve-se optar entre duas xícaras com a mesma quantidade de chá, uma contendo 10 mg de açúcar e outra 11 mg de açúcar. Essa diferença é suficiente para apontar qual a melhor xícara? As soluções tradicionais apontam para a preferência de uma sobre a outra porque a quantidade de açúcar é diferente. Entretanto, o ELECTRE considera a questão de outra maneira, introduzindo os limites de indiferença (Q). Assim, a alternativa A é preferida sobre a B se o critério Cr_j da alternativa A - $Cr_j(A)$ - é maior que a soma do critério g_j da alternativa B - $Cr_j(B)$ - com o limite de indiferença (Q). Por sua vez, a relação de indiferença existe se a diferença entre $Cr_j(A)$ e $Cr_j(B)$ for igual ou inferior ao limite de indiferença. É necessário estabelecer também a situação oposta, quando um tomador de decisão tem preferência estrita de uma alternativa sobre a

²⁵ Quando se trata de um critério real ocorrerá indiferença se duas alternativas têm desempenho igual. No caso de um pseudo-critério, a indiferença é estendida para uma zona onde a diferença entre duas alternativas é inferior a um determinado limiar. Ou seja, existe uma zona de fraca preferência, enquanto outros métodos trabalham apenas com as zonas de preferência e indiferença (NATIVIDADE-JESUS et al, 2007). Essa característica reduz o impacto subjetivo da interferência do decisor.

outra. Para isso foi estabelecido o limite de preferência (P) e conseqüentemente foi criada uma zona intermediária, em que o tomador de decisão hesita entre preferência e indiferença. Essa zona de hesitação é chamada de preferência fraca. Deste modo tem-se que a alternativa A é fortemente preferida em relação a B se a diferença entre $Cr_j(A)$ e $Cr_j(B)$ é maior que o limite P.

Já a alternativa A é fracamente preferida em relação a B se a diferença entre $Cr_j(A)$ e $Cr_j(B)$ for maior que o limite Q e menor ou igual ao limite P. Portanto, após o cálculo²⁶ desses limites o método parte para a construção das matrizes de avaliação e das hipóteses de sobreclassificação.

Após a elaboração da matriz de avaliação e da hipótese de sobreclassificação, apresentada na fundamentação teórica, são realizados os testes para aceitação das hipóteses usando dois princípios: da concordância e da não-discordância. O princípio de concordância exige que a maioria dos critérios, depois de considerar a sua importância relativa (peso), seja a favor da afirmação da hipótese de sobreclassificação e o de não-discordância, que nenhum dos critérios seja fortemente contra a hipótese.

É necessário verificar também se há alguma discordância em relação a essa hipótese e para isso deve-se trabalhar com o limite de veto. Ele permite que se verifique se o critério $Cr_j(B)$ é estritamente preferido em relação ao $Cr_j(A)$, logo não há concordância com a hipótese que $Cr_j(A)$ é preferido em relação a $Cr_j(B)$. Para isso ocorrer é necessário que $Cr_j(B)$ seja maior que a soma do limite de veto (V) e do $Cr_j(A)$. Vale destacar que um critério discordante é suficiente para descartar a hipótese de sobreclassificação (subordinação).

O passo seguinte do método é combinar estas duas medidas (de concordância e de discordância) para construir uma matriz de credibilidade que avalia o grau de credibilidade (valor entre 0 e 1) de cada hipótese de sobreclassificação (subordinação) que a alternativa A é pelo menos tão boa quanto a B. Em seguida o método ELECTRE-III deve produzir um *ranking*, para isso são realizados dois processos de destilação descendente e ascendente respectivamente, a partir da

²⁶ Veja método de cálculo dos limites P e Q no Anexo 9.1.

matriz de credibilidade²⁷. As alternativas que terminam o processo de destilação no mesmo grupo são colocadas na mesma posição do *ranking*, o que significa afirmar que uma é pelo menos tão boa quanto a outra.

Neste trabalho a ferramenta computacional desenvolvida realiza todas as etapas, após o usuário definir as alternativas técnicas de interesse e oferece ainda a opção de realizar uma etapa de análise de sensibilidade com intuito de avaliar a estabilidade do *ranking* diante de mudanças dos pesos dos critérios. No item 4.2 é feita a apresentação do *software* desenvolvido.

4.1.1. Definição das alternativas

O banco de dados referente à metodologia proposta deve ter como base o clima local, as exigências de conforto térmico dos usuários, outros requisitos de uso, além da legislação vigente. Dessa forma, a ferramenta poderá atuar na fase de desenvolvimento do projeto da edificação e ser capaz de auxiliar às decisões relacionadas ao clima, uso e legislação.

Tal banco de dados é constituído de uma lista de alternativas para alimentar a ferramenta de análise multicritério, o que inclui distintas soluções formais e técnicas para o sistema da envoltória e de aquecimento de água. As alternativas de soluções arquitetônicas a serem examinadas podem se diferenciar pela variação dos seguintes parâmetros: (i) orientação da edificação, (ii) tamanho das janelas, (iii) presença ou não de proteção solar nas aberturas, (iv) sistema de vedação da envoltória (paredes e cobertura) e (v) sistema de aquecimento de água. Em consequência devem estar presentes neste banco de dados informações sobre as características climáticas e econômicas de cada contexto analisado, assim como os distintos padrões construtivos e formais das edificações a serem estudadas. A seguir são apresentados, detalhadamente, esses aspectos que definem o conjunto de alternativas.

²⁷ Os detalhes matemáticos do método podem ser encontrados em Roy (1977).

4.1.1.1. Orientação

A orientação da edificação em relação ao Sol e aos ventos dominantes no sítio tem impacto sobre as trocas térmicas da envoltória, entre outras coisas, porque afeta a quantidade de radiação incidente sobre as superfícies e as condições de ventilação natural dos ambientes. Por isso, é importante permitir a análise de diferentes orientações para um mesmo empreendimento. A definição das alternativas considera a possibilidade de opção entre oito faixas de orientações para a implantação do eixo principal da edificação (o maior), sempre com relação ao Norte Verdadeiro (NV), a saber: Norte (faixa de 337,5° a 22,5°); Nordeste (de 22,5° a 67,5°); Leste (de 67,5° a 112,5°); Sudeste (de 112,5° a 157,5°); Sul (de 157,5° a 202,5°); Sudoeste (de 202,5° a 247,5°); Oeste (de 247,5° a 292,5°); e Noroeste (de 292,5° a 337,5°). A figura 4.2 exemplifica a orientação das edificações.



Figura 4.2 – Orientação das edificações
Elaborado pela autora.

Os resultados das simulações de desempenho termoenergético das edificações que compõem o banco de dados foram realizados para as orientações principais: Norte (0°); Nordeste (45°), Leste (90°), Sudeste (135°), Sul (180°), Sudoeste (225°), Oeste (270°) e Noroeste (315°).

4.1.1.1. Tamanho das aberturas

O único aspecto formal definido de maneira direta nas alternativas de soluções formais para a edificação é o tamanho da janela. Aspectos importantes como a forma e a altura da edificação estão presentes de maneira indireta, pois os critérios relacionados ao desempenho termoenergético são obtidos a partir de simulações computacionais em que as soluções propostas são semelhantes quanto à forma da planta e o número de pavimentos. Deste modo, o analista deve selecionar a priori, um banco de dados que possua similaridades destes parâmetros com o empreendimento de interesse.

A definição das áreas de aberturas²⁸ considera três faixas, como na NBR15.220:2005 (ABNT, 2005). A primeira faixa é composta por aberturas menores ou iguais a 15% da área do piso do ambiente e denominada de aberturas pequenas. A segunda faixa define aberturas com variação de 15% a 25% da área do piso do ambiente, sendo denominadas de aberturas médias. Finalmente, a terceira faixa considera as aberturas grandes e contempla aquelas com área superiores a 25% da área do piso do ambiente.

Um levantamento em legislações de uso e ocupação do solo e códigos de obras dos municípios feitos nesta pesquisa mostrou que a exigência mais frequente para ambientes de longa permanência (quartos e salas) é uma área de abertura igual ou superior a 1/6 da área do piso do ambiente, o que equivale a 16,7%. Isso restringe a utilização das aberturas pequenas em muitos contextos.

²⁸ Áreas de abertura são todas as áreas da envoltória do edifício abertas ou com fechamento translúcido ou transparente (que permitam a entrada de luz e/ou ar) incluindo janelas, portas de vidro, aberturas zenitais, etc. (INMETRO, 2012). Neste trabalho as áreas de abertura podem ser iguais às áreas para iluminação, caso toda a área do vão permita a passagem de luz. Já a área de ventilação máxima considerada é de 50% da área de abertura, por causa do tipo de esquadria selecionado.

Neste ponto é importante comentar que não há variação dos tipos e dos materiais dos elementos de vedação das aberturas (esquadrias, vidros, etc.). Manteve-se o padrão estabelecido na NBR12.721:2006 para cálculo do Custo Unitário Básico da construção (CUB), que é a janela de correr com 50% de área de abertura efetiva, com esquadria de alumínio e vidro liso de três milímetros. As variações de formas de abertura e materiais certamente têm impacto sobre o desempenho e o custo da envoltória. Porém, introduzir essas variações em fases iniciais de planejamento não se justifica considerando o volume de trabalho a mais necessário para elaborar o banco de dados com variações sobre a forma (pivotantes, de correr, de abrir, etc.), de materiais (alumínio, aço, PVC, madeira, etc.), e de vidros (espessuras, cores, presença de películas, etc.).

4.1.1.2. Sombreamento das aberturas

Tratar do sombreamento das aberturas permite gerar um número muito grande de soluções possíveis. As opções consideram desde *brises soleil* com diversos formatos e composições até janelas com elementos de vedação opaca. Além disso, os tipos de proteção geram diferentes percentuais de horas de sombreamento total e/ou parcial nas aberturas. Novamente, estudar detalhadamente diversas soluções geraria um volume de trabalho que poderia inviabilizar a construção dos bancos de dados. Sendo assim, optou-se por abordar a questão de maneira mais simplificada, possibilitando a opção por aberturas totalmente sombreadas ou parcialmente sombreadas/não sombreada. O sombreamento total, para os arquivos de simulação, foi proporcionado por uma veneziana de placas de alumínio anodizado em tom natural presente na janela e externa ao vidro, sendo permeável à ventilação, conforme ilustra as imagens na figura 4.3. Vale destacar que se um estudo geométrico da incidência solar nas fachadas mostrar que as edificações vizinhas ou a própria geometria da edificação promovem sombreamento total nas aberturas recomenda-se considerar para análise as janelas sombreadas.

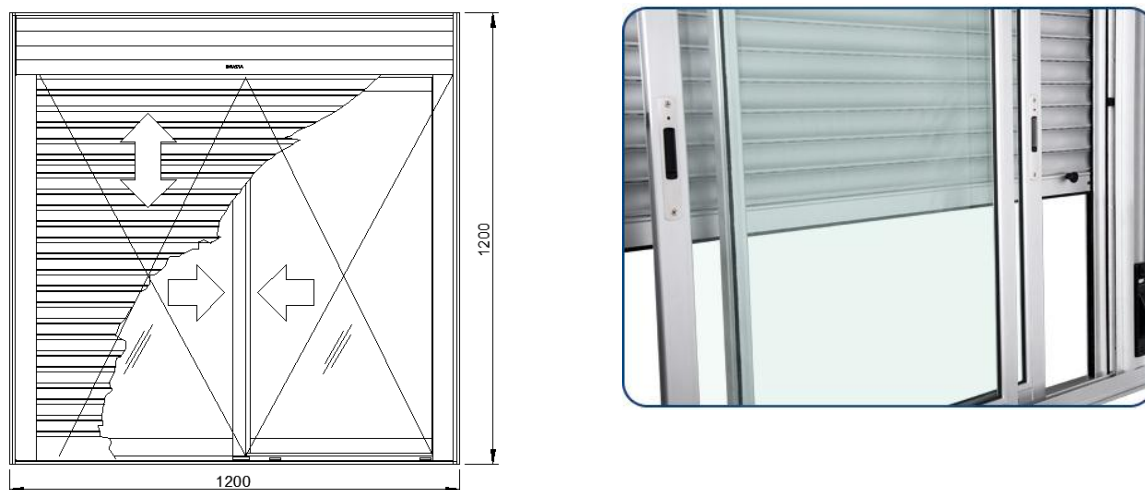


Figura 4.3 – Imagens de um exemplo da veneziana externa considerada
Fonte: <http://www.gravia.net.br/portas-e-janelas/produtos.php?linha=2&cat=11>

A segunda opção oferecida agrupa as soluções com sombreamento parcial ou sem sombreamento. Considera-se sombreamento parcial aquele propiciado pelas características formais da própria edificação, como reentrâncias e marquises, e também pelo entorno. Não se considerou sombrear as áreas de permanência transitória.

4.1.1.3. Sistemas construtivos

Atualmente há disponíveis no mercado diversos sistemas construtivos para a execução das envoltórias das edificações residenciais multifamiliares. Para definição das alternativas, optou-se por apresentar os sistemas mais frequentemente utilizados nas construções de empreendimentos multifamiliares, com base na experiência da autora. Foram selecionadas nove soluções para a vedação vertical e seis soluções para o sistema de cobertura.

As opções de vedação vertical são compostas por três sistemas construtivos distintos: (i) alvenaria de bloco cerâmico, (ii) alvenaria de bloco de concreto e (iii) alvenaria de bloco de concreto celular. Foram feitas três variações de espessura desses sistemas, com base nos valores encontrados no mercado. Para as duas primeiras opções de vedação vertical as espessuras dos blocos são de 9, 14 e 19 cm para as paredes externas e de 9 cm para as paredes internas. Os blocos de

concreto celular usados nas paredes externas têm espessuras variando entre 10, 15 e 20 cm e para paredes internas foi mantida a espessura de 10 cm.

Para que o acabamento não influencie nos estudos comparativos, considerou-se um mesmo acabamento padrão para todas as nove alternativas, composto por (i) acabamento externo com emboço e reboco feitos com argamassa de cimento e areia industrializada (espessura total 2,5 cm) e com pintura acrílica fosca e (ii) acabamento interno com argamassa de gesso (0,2 cm) e pintura com tinta acrílica fosca. A cor branco - neve foi aquela considerada nas superfícies de ambos os acabamentos interno e externo.

Para o estudo das alternativas para sistemas de cobertura, procurou-se representar a maior parte das soluções existentes no mercado, que são bem mais diversificadas que as alternativas de vedação vertical. Não foi possível abarcar todas as alternativas disponíveis, mas fez-se uma escolha de sistemas com conceitos bem distintos, por exemplo: **laje plana impermeabilizada** (opção 1 do quadro 4.1); **cobertura simples com ático** (opção 2 do quadro 4.1), **cobertura com ático e elementos de proteção contra radiação solar** (opção 3, 4 e 5 da quadro 4.1); **cobertura verde** (opção 6 do quadro 4.1). O quadro 4.1 apresenta o detalhamento dos sistemas considerados.

É importante salientar que a metodologia permite alguma flexibilização para as soluções de envoltória. Durante a construção do banco de dados o analista pode optar por outras alternativas que não aquelas previamente selecionadas. Entretanto, é necessário manter o número de opções, ou seja, até nove opções de soluções para vedação vertical e até seis opções para os sistemas de cobertura.

Há uma sensível diferença entre o peso da cobertura e da vedação vertical sobre o desempenho termoenergético das edificações, especialmente, em edificações de múltiplos andares. O desempenho termoenergético do último pavimento das edificações multifamiliares é muito influenciado pela composição do sistema de cobertura. Sobre os demais pavimentos a cobertura tem impacto relativamente pouco relevante e as vedações verticais são mais relevantes. É interessante, então, esclarecer que a média proposta neste trabalho, considerando apenas o primeiro e o

último pavimento, tem uma influência maior da cobertura do que seria observado caso o valor médio fosse obtido a partir dos valores de todos os pavimentos.

Quadro 4.1 – Alternativas de sistemas construtivos de cobertura.

Descrição	
1	Laje de concreto com impermeabilização de cobertura não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; argamassa de proteção para a impermeabilização; e isolamento térmico em laje empregando vermiculita aglomerada com cimento e areia e=15cm - unid. m ²
2	Laje de concreto com cobertura em telha de fibrocimento, uma água, perfil ondulado, e=6mm, altura 125mm, largura útil 1020mm e largura nominal 1064mm, inclinação 27% - unid. m ²
3	Laje de concreto com cobertura em telha de fibrocimento, uma água, perfil ondulado, e=6mm, altura 125mm, largura útil 1020mm e largura nominal 1064mm, inclinação 27% - unid. m ² com subcobertura em lâmina de alumínio
4	Laje de concreto com cobertura em telha de fibrocimento, uma água, perfil ondulado, e=6mm, altura 125mm, largura útil 1020mm e largura nominal 1064mm, inclinação 27% - unid. m ² com isolamento térmico empregando manta de fibra de vidro, e=5cm - unid. m ²
5	Laje de concreto com cobertura em telha termoacústica, perfil trapezoidal, e=30mm, altura 70mm, largura útil 1000mm e largura nominal 1056mm - unid. m ²
6	Laje de concreto com impermeabilização de cobertura não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; argamassa de proteção para a impermeabilização; sistema alveolar ecotelhado pré-vegetado com substrato (instalação incluída)

Elaborado pela autora.

4.1.1.4. Sistemas de aquecimento de água para banho

A lista de alternativas para os sistemas de aquecimento de água para banho considera opções que abrangem as três fontes de energia mais utilizadas no país de acordo com PROCEL (2007), conforme já foi apresentado no capítulo anterior. Para cada uma dessas fontes foram escolhidos tipos distintos de aquecimento (passagem e acumulação) e de distribuição (pontual, unifamiliar e multifamiliar). O quadro 4.2 apresenta as 14 opções disponíveis para análise.

Quadro 4.2 – Alternativas de sistemas aquecimento de água para banho

	Fonte de calor	Atendimento	Tipo	Equipamentos	Tubulações
Opção 1	Solar	Unifamiliar	Acumulação	Duchas, placas, reservatório e sistema de <i>back-up</i>	Água fria e quente
Opção 2	Gás (GN)	Unifamiliar	Passagem	Duchas e aquecedor	Água fria e quente
Opção 3	Gás (GLP)	Unifamiliar	Passagem	Duchas e aquecedor	Água fria e quente
Opção 4	Elétrico	Pontual	Passagem	Duchas e aquecedor	Água fria
Opção 5	Elétrico	Unifamiliar	Passagem	Duchas e aquecedor	Água fria
Opção 6	Chuveiro elétrico	Pontual	Passagem	Duchas	Água fria
Opção 7	Gás (GN)	Unifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente
Opção 8	Gás (GLP)	Unifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente
Opção 9	Elétrico	Unifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente
Opção 10	Solar	Multifamiliar	Acumulação	Duchas, placas, reservatório e sistema de <i>back-up</i>	Água fria e quente
Opção 11	Bomba de calor	Multifamiliar	Acumulação	Duchas, bomba de calor e reservatório	Água fria e quente
Opção 12	Gás (GN)	Multifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente
Opção 13	Gás (GLP)	Multifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente
Opção 14	Elétrico	Multifamiliar	Acumulação	Duchas, aquecedor e reservatório	Água fria e quente

Elaborada pela autora.

4.1.2. Definição de critérios e pesos

Os critérios são expressões quantitativas ou qualitativas de pontos de vista, objetivos ou restrições relativas ao contexto real, que permitem julgar objetos e eventos (CASTRO, 2005). O tipo de problema enfrentado, os objetivos da análise e

o número de critérios selecionados interferem na escolha do método aplicado. De acordo com Roulet et al (2002, apud CASTRO, 2005)²⁹, a aplicação do ELECTRE-III é inapropriada para situações com mais de 12 critérios.

Para este trabalho cinco critérios foram estabelecidos com o objetivo de definir os desempenhos individuais de cada alternativa de projeto. Os critérios foram escolhidos a partir das variáveis (independentes e dependentes) identificadas como as mais relevantes para a problemática da pesquisa e apresentadas na introdução deste capítulo. Os cinco critérios escolhidos são: (i) percentual de horas de conforto higrotérmico passivo; (ii) número de graus-horas para resfriamento; (iii) variação percentual do custo das soluções de envoltória; (iv) incentivo governamental para uso da tecnologia de aquecimento de água para banho e (v) grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho. A seguir cada um deles é apresentado com mais detalhes.

4.1.2.1. Percentual de horas de conforto higrotérmico passivo

- Determinação: através de estudos de simulação computacional termoenergética obtém-se a temperatura média do ar nos ambientes de longa permanência de todas as unidades habitacionais do pavimento mais baixo e do pavimento mais alto para cada uma das horas de um ano típico. Usando uma equação para avaliar a condição de conforto térmico a partir da temperatura neutra³⁰ calculada para o lugar, é possível verificar se os ambientes de permanência prolongada estão ou não em situação de conforto. Para a construção do banco de dados desta pesquisa foi selecionada a equação de Humphreys³¹ (1978 apud PEREIRA e ASSIS, 2010)³², pois de

²⁹ ROULET, C.; FLOURENTZOU, A.; LABBEN, H.; SANTAMOURIS, M.; KORONAKI, I.; DASCALAKI, E.; RICHLET, V. A multicriteria rating methodology for buildings. *Building and Environment*, n.37, pp 579-586, 2002.

³⁰ Temperatura neutra é definida por equações de índices de conforto adaptativo. Nesta pesquisa é definido pela equação de Humphreys (1978) apresentado no apêndice 8.1.

³¹ No apêndice 8.1 é apresentado uma tabela comparativa entre os resultados de condição de conforto térmico com base na equação da temperatura neutra de Humphreys (1978 apud Pereira e Assis, 2010) e no índice de PMV adaptado para o Rio de Janeiro por Zambrano et all (2006).

acordo com os resultados obtidos pelas autoras, essa é a equação mais adequada para o caso trabalhado. A definição da equação a ser utilizada deve ser feita para cada novo banco de dados construído, conforme as características de aclimação da população local. Considerou-se como condição de conforto térmico temperaturas médias do ar até 1°C acima da temperatura neutra calculada para o mês. O percentual de horas de conforto higrotérmico passivo para cada ambiente de uma unidade habitacional corresponde à razão entre o somatório de número de horas de conforto ao longo do ano e o número de horas total do ano. O valor médio para cada unidade habitacional é calculado por meio de uma média ponderada com relação área do ambiente. Da mesma forma, para calcular o percentual médio da edificação foi considerada a média dos resultados obtidos para cada unidade, pois todas apresentavam a mesma área. Não foi definido limite mínimo para conforto higrotérmico utilizando índices de conforto adaptativo porque, considerando as condições climáticas de grande parte do país, é possível superar o desconforto higrotérmico provocado pelo frio com vestimentas um pouco mais pesadas que o habitual. O Relatório de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (PROCEL, 2007) reforça essa afirmativa, na medida em que não apresenta nenhum equipamento destinado exclusivamente ao aquecimento de edificações. Identificou-se que a região Sul do país possui a segunda maior presença de equipamentos de condicionamento de ar que frequentemente possuem ciclo reverso, ou seja, são capazes de resfriar e aquecer. Porém, ainda de acordo com relatório supracitado, 81,6% dos aparelhos não são utilizados em climas frios. Desde modo, pode-se inferir que o impacto dos sistemas de aquecimento ambiental sobre a demanda energética das edificações, de maneira geral, não tem sido significativo. Por essa razão, essa pesquisa optou por não tratar deste aspecto.

- Unidade de medida: percentual.
- Característica: critério quantitativo com avaliação diretamente proporcional.

³² HUMPHREYS, M. Outdoor Temperatures and Comfort Indoors. *Building Research & Information*, v. 6, n. 2, p. 92, 1978

- Justificativa: como a proposta é o desenvolvimento de ferramenta para utilização nas fases iniciais do projeto, optou-se por trabalhar com um critério para conforto higrotérmico que fosse construído a partir de uma variável apenas (no caso, a temperatura média do ar) para dar mais agilidade à elaboração do banco de dados. Vale evidenciar a necessidade de se considerar na avaliação os critérios percentual de horas de conforto higrotérmico passivo e número de graus-hora para resfriamento. Enquanto o primeiro critério aponta quando há sensação de conforto, o segundo critério mostra quanto está desconfortável.

4.1.2.2. Número de graus-horas para resfriamento

- Determinação: a partir da mesma simulação termoenergética³³ realizada é possível obter a temperatura operativa³⁴ nos ambientes de permanência prolongada. O cálculo de graus-hora de resfriamento por ano foi feito conforme metodologia do RTQ-R apresentada em INMETRO (2012), sendo considerada a média ponderada pela área de cada ambiente para calcular o valor de cada unidade habitacional. A partir das médias das unidades habitacionais do pavimento mais baixo e mais alto se calcula o valor médio para a edificação.
- Unidade de medida: graus-hora/ano
- Característica: critério quantitativo com avaliação inversamente proporcional.
- Justificativa: apesar de não mostrar diretamente o consumo energético com sistemas de condicionamento de ar em uma edificação, esse critério indica qual a demanda por resfriamento de cada solução. Quanto maior a demanda, mais energia será necessária para promover a condição de conforto térmico no ambiente.

³³ As simulações foram realizadas com as janelas dos apartamentos abertas. Normalmente, o cálculo de Graus-hora é feito em presença de condicionamento artificial com janelas fechadas.

³⁴ Valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente (°C) (INMETRO, 2012).

4.1.2.3. Custo das soluções de envoltória

- Determinação: a partir do levantamento dos preços de mercado no mês de dezembro de 2011 usando as Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos - Modelatto (PINI, 2011) para as composições de vedação vertical e sistemas de cobertura, calculou-se o custo para uma alternativa de envoltória de referência conforme a NBR12.721:2006. Essa alternativa de referência é constituída de blocos cerâmicos de 9 centímetros de espessura com revestimentos interno e externo para vedação vertical e cobertura de telha de fibrocimento³⁵ com estrutura em madeira sobre laje de concreto. As variações percentuais dos custos das alternativas de envoltória foram calculadas a partir da razão entre o custo de cada alternativa considerada e o custo da alternativa de referência (tanto para alvenaria quanto para cobertura). Considerando as nove opções de alvenaria e as seis opções de cobertura, assim foram avaliadas ao todo 54 combinações. De acordo com Goldman (2004) os percentuais incidentes de custos relativos aos serviços de cobertura e alvenaria apresentam significativas variações devido à tipologia, ao padrão, etc. No caso das coberturas a variação é de 0,3 a 1,1%. Para a alvenaria a variação é de 3,0 a 6,5% do valor final dos serviços da obra. Para dar homogeneidade às comparações, considerou-se, para o cálculo da variação total de cada alternativa, um peso de 75% para a alvenaria e 25% para a cobertura. A tabela 4.3 mostra os valores dos custos das alternativas tratadas. Os valores das alternativas de referência (alvenaria 1 e cobertura 2) foram considerados 100, os valores das demais alternativas são equivalente a diferença percentual do custo desta alternativa em relação ao de referência. Por exemplo, a alternativa de alvenaria 2 tem custo 29% maior que a solução de referência para alvenaria. O mesmo vale para a alternativa completa (alvenaria e cobertura), ou seja, a alternativa completa de referência tem custo 100 e os custos das demais foram calculados a partir da diferença em relação ao custo de referência.

³⁵ Material livre de amianto.

Tabela 4.1 – Custo das alternativas

Alternativas		Custos			Alternativas		Custos		
Alven.	Cob.	Alven.	Cob.	Total	Alven.	Cob.	Alven.	Cob.	Total
1*	1	100,0	662,9	240,7	1*	4	100,0	181,2	120,3
2	1	129,0	662,9	262,5	2	4	129,0	181,2	142,0
3	1	181,2	662,9	301,7	3	4	181,2	181,2	181,2
4	1	119,4	662,9	255,3	4	4	119,4	181,2	134,9
5	1	173,1	662,9	295,6	5	4	173,1	181,2	175,1
6	1	201,0	662,9	316,5	6	4	201,0	181,2	196,0
7	1	138,4	662,9	269,6	7	4	138,4	181,2	149,1
8	1	185,8	662,9	305,1	8	4	185,8	181,2	184,6
9	1	231,9	662,9	339,7	9	4	231,9	181,2	219,2
1*	2**	100,0	100,0	100,0	1*	5	100,0	500,1	200,0
2	2**	129,0	100,0	121,8	2	5	129,0	500,1	221,8
3	2**	181,2	100,0	160,9	3	5	181,2	500,1	260,9
4	2**	119,4	100,0	114,6	4	5	119,4	500,1	214,6
5	2**	173,1	100,0	154,8	5	5	173,1	500,1	254,8
6	2**	201,0	100,0	175,8	6	5	201,0	500,1	275,8
7	2**	138,4	100,0	128,8	7	5	138,4	500,1	228,8
8	2**	185,8	100,0	164,3	8	5	185,8	500,1	264,3
9	2**	231,9	100,0	198,9	9	5	231,9	500,1	298,9
1*	3	100,0	142,1	110,5	1*	6	100,0	916,7	304,2
2	3	129,0	142,1	132,3	2	6	129,0	916,7	325,9
3	3	181,2	142,1	171,5	3	6	181,2	916,7	365,1
4	3	119,4	142,1	125,1	4	6	119,4	916,7	318,7
5	3	173,1	142,1	165,4	5	6	173,1	916,7	359,0
6	3	201,0	142,1	186,3	6	6	201,0	916,7	379,9
7	3	138,4	142,1	139,4	7	6	138,4	916,7	333,0
8	3	185,8	142,1	174,9	8	6	185,8	916,7	368,5
9	3	231,9	142,1	209,5	9	6	231,9	916,7	403,1

Elaborada pela autora.

Notas:

* Alvenaria de referência; ** Cobertura de referência. Considerando para alvenaria: 1 – Bloco cerâmico furado com e=9cm; 2 – Bloco cerâmico furado com e=14cm; 3 – Bloco cerâmico furado com e=19cm; 4 – Bloco de concreto vedação com e=9cm; 5 – Bloco de concreto vedação com e=14cm; 6 – Bloco de concreto vedação com e=9cm; 7 – Bloco de concreto celular com e=10cm; 8 – Bloco de concreto celular com e=15 cm; 9 – Bloco de concreto celular com e=20cm. Considerando para a cobertura numeração conforme o quadro 4.1

- Unidade de medida: adimensional
- Característica: critério quantitativo com avaliação inversamente proporcional.
- Justificativa: a variação percentual de custos a partir de uma referência dá ao decisor a capacidade de compreensão imediata do valor apresentado e permite certa flexibilidade na construção do banco de dados, pois o analista pode estabelecer outra referência de custo mais adequada aos seus interesses e à realidade da empresa. Assim é possível construir outro banco de dados para utilizar a ferramenta multicritério de auxílio à decisão.

4.1.2.4. Incentivo governamental ao uso da tecnologia de aquecimento de água para banho

- Determinação: foram considerados três classes de incentivos pelo governo ao uso das alternativas tecnológicas para aquecimento de água para banho, listadas com base no PNEf (MME, 2011) e no RTQ-R (INMETRO, 2012). Foram atribuídos valores as essas classes considerando as características de comparabilidade do método Electre-III. A definição de valores muito próximos poderia levar o método a concluir que não existem diferenças relevantes entre cada classe. A primeira classe foi estabelecida o valor menor (igual a 10) indicando que esses sistemas não são incentivados pelas políticas públicas em energia. A segunda classe corresponde ao valor 20 e é composto pelos sistemas intermediários. A terceira classe é composta pelos sistemas mais incentivados pelas políticas nacionais e recebe o valor mais alto (igual a 30). O quadro 4.3 apresenta as classes das alternativas de sistemas.
- Unidade de medida: adimensional
- Característica: critério qualitativo com avaliação diretamente proporcional.
- Justificativa: esse critério permite introduzir nas avaliações de empreendimentos imobiliários aspectos da política nacional de planejamento energético como um dos atores durante o processo de decisão.

Quadro 4.3 – Classes de incentivo ao uso da tecnologia

	Fonte de calor	Atendimento	Tipo	Incentivo
Opção 1	Solar	Unifamiliar	Acumulação	30
Opção 2	Gás (GN)	Unifamiliar	Passagem	20
Opção 3	Gás (GLP)	Unifamiliar	Passagem	20
Opção 4	Elétrico	Pontual	Passagem	10
Opção 5	Elétrico	Unifamiliar	Passagem	10
Opção 6	Chuveiro elétrico	Pontual	Passagem	10
Opção 7	Gás (GN)	Unifamiliar	Acumulação	20
Opção 8	Gás (GLP)	Unifamiliar	Acumulação	20
Opção 9	Elétrico	Unifamiliar	Acumulação	10
Opção 10	Solar	Multifamiliar	Acumulação	30
Opção 11	Bomba de calor	Multifamiliar	Acumulação	30
Opção 12	Gás (GN)	Multifamiliar	Acumulação	20
Opção 13	Gás (GLP)	Multifamiliar	Acumulação	20
Opção 14	Elétrico	Multifamiliar	Acumulação	10

Elaborada pela autora.

4.1.2.5. Grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho

- Determinação: fazer um levantamento quantitativo das alternativas de sistemas selecionados não se justifica em fases tão preliminares de desenvolvimento de um empreendimento. Dessa forma, similarmente à classificação estabelecida para o critério anterior, foram estabelecidos três graus de complexidade para execução do sistema de aquecimento de água. Para aquele que apresenta complexidade menor foi atribuído o valor (10), sendo esse grupo composto por sistemas de atendimento pontual, como o chuveiro elétrico. Os sistemas de atendimento unifamiliar são classificados como grau de complexidade intermediária (20). E os sistemas de atendimento multifamiliar são os de maior complexidade (30). O quadro 4.4 traz a identificação do grau de complexidade estabelecido para cada alternativa.
- Unidade de medida: adimensional
- Característica: critério qualitativo com avaliação inversamente proporcional.

Quadro 4.4 – Grau de complexidade dos sistemas

	Fonte de calor	Atendimento	Tipo	Complexidade
Opção 1	Solar	Unifamiliar	Acumulação	30
Opção 2	Gás (GN)	Unifamiliar	Passagem	20
Opção 3	Gás (GLP)	Unifamiliar	Passagem	20
Opção 4	Elétrico	Pontual	Passagem	10
Opção 5	Elétrico	Unifamiliar	Passagem	20
Opção 6	Chuveiro elétrico	Pontual	Passagem	10
Opção 7	Gás (GN)	Unifamiliar	Acumulação	20
Opção 8	Gás (GLP)	Unifamiliar	Acumulação	20
Opção 9	Elétrico	Unifamiliar	Acumulação	20
Opção 10	Solar	Multifamiliar	Acumulação	30
Opção 11	Bomba de calor	Multifamiliar	Acumulação	20
Opção 12	Gás (GN)	Multifamiliar	Acumulação	20
Opção 13	Gás (GLP)	Multifamiliar	Acumulação	20
Opção 14	Elétrico	Multifamiliar	Acumulação	20

Elaborada pela autora.

- Justificativa: o grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho é uma informação relevante para compor uma avaliação preliminar de custos de investimento. Por não ser possível a análise quantitativa na fase preliminar de desenvolvimento do empreendimento, optou-se por uma análise qualitativa do critério.

Após a definição dos critérios é necessário realizar a distribuição dos pesos para cada um. Essa definição é feita com base nos objetivos da análise realizada, sendo possível trabalhar com o mesmo peso para todos os critérios ou com um peso distinto para cada um deles. Nesta pesquisa, os pesos dos critérios foram estabelecidos a partir de uma escala de julgamento feita em função do arcabouço teórico apresentado, considerando os atores relacionados com cada um dos critérios.

A escala de julgamento é composta por três classes de acordo com a relevância dos critérios: classe 1, classe 2 e classe 3. Os critérios com relevância classe 1 têm menor peso na análise e os critérios com relevância classe 3, maior peso. As

relevâncias foram estabelecidas em função do impacto de determinado critério sobre o interesse dos atores envolvidos no processo de desenvolvimento de empreendimentos habitacionais, a saber: poder público (setor de energia e setor habitacional), incorporadores, construtores e usuários.

Foram considerados de relevância na classe 3 os seguintes critérios (i) variação percentual do custo das soluções de envoltória e (ii) incentivo governamental ao uso da tecnologia de aquecimento de água para banho. Em relação ao poder público há preocupações com investimentos em geração de energia para atender a demanda de aquecimento de água para banho e também com o custo da produção de habitações de interesse social. Os incorporadores e construtores devem estar atentos para a elevação do custo de produção frente aos concorrentes, o que pode prejudicar as suas expectativas de ganhos financeiros. Os usuários podem ser afetados pela elevação do custo inicial da unidade habitacional e também pelo custo de operação do sistema de aquecimento de água.

Os critérios considerados de classe 2 são: o desempenho da edificação (percentual de horas de conforto higrotérmico passivo) e o grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho. O percentual de horas de conforto está relacionado ao grau de satisfação dos usuários da edificação da sensação de conforto e do custo de operação; além de estar relacionado ao poder público devido ao consumo de energia para promover as condições de conforto esperadas. Enquanto a complexidade do sistema de aquecimento de água terá impacto sobre o custo de investimento, o que irá afetar aos incorporadores e construtores que podem ter redução das expectativas de ganhos, por um lado. Por outro, aos usuários e o setor de habitação com a elevação do valor de venda dos imóveis.

O critério considerado de classe 1 é grau-hora para resfriamento porque interfere sobre o custo de operação das edificações, o que afeta ao usuário. O quadro 4.5 apresenta a síntese dos pesos de cada critério.

Quadro 4.5 – Pesos atribuídos aos critérios

Símbolo	Critério	Pesos
Cr01	Percentual de horas de conforto térmico passivo	2
Cr02	Número de graus-horas para resfriamento	1
Cr03	Variação percentual do custo das soluções de envoltória	3
Cr04	Incentivo governamental ao uso da tecnologia de aquecimento de água para banho	3
Cr05	Grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho	2

Elaborado pela autora

4.2. Descrição do *Software*

O *software* RESIDE – Decisão inteligente para projetos de residências foi criado para a plataforma Windows® XP/Vista/Seven, desenvolvido em Delphi® 7 com base na metodologia de análise multicritério ELECTRE-III. A base algorítmica utilizada foi o programa CELECTRE, desenvolvido por Castro (2005). Esse programa foi desenvolvido para implementar o método de análise multicritério ELECTRE III em termos computacionais. Originalmente, a aplicação permitia ordenar até 10 alternativas avaliadas sob cinco critérios distintos, cada um possuindo um peso individual. Uma rotina específica permite estabelecer automaticamente os valores para os limites de Preferência, Indiferença e Veto para cada um dos critérios. O CELECTRE está estruturado em duas telas, na primeira é feita a entrada dos dados da Matriz de Avaliações e na segunda, após a execução dos cálculos inerentes ao método ELECTRE III, são mostrados os resultados da Matriz de Graus de Credibilidade e o ranking das alternativas (CASTRO, 2005). O código-fonte do CELECTRE não possui registro. A adaptação deste código-fonte para desenvolvimento do RESIDE foi autorizado pelo desenvolvedor, Eduardo Breviglieri Pereira Castro.

4.2.1. Funcionalidades do RESIDE

O RESIDE é um *software* desenvolvido para auxiliar a tomada de decisão nas fases preliminares de projeto, no que diz respeito às soluções de envoltória e sistemas de

aquecimento de água, usando a análise multicritério. O RESIDE permite ao usuário realizar uma análise de até 16 opções por vez e salvá-la para eventual uso posterior, podendo o usuário escolher entre os bancos de dados existentes ou criar seu próprio banco.

As funcionalidades do programa podem ser vistas na figura 4.4, que retrata a tela de análise. No alto da tela à esquerda, o usuário encontra cinco setas que estão relacionadas à forma de avaliação dos critérios. Uma seta voltada para cima significa que a avaliação daquele critério é diretamente proporcional aos seus valores, ou seja, quanto mais alto o valor atribuído ao critério, melhor será seu desempenho. Já a seta voltada para baixo significa o oposto, ou seja, quanto mais alto o valor atribuído ao critério pior será sua avaliação. Conforme já foi apresentado, há três critérios com avaliação inversamente proporcional e dois diretamente proporcionais. É necessário que o usuário clique nas setas para alterar a posição nos critérios já especificados. Como padrão, sempre que uma nova análise for iniciada as setas estarão voltadas para cima.

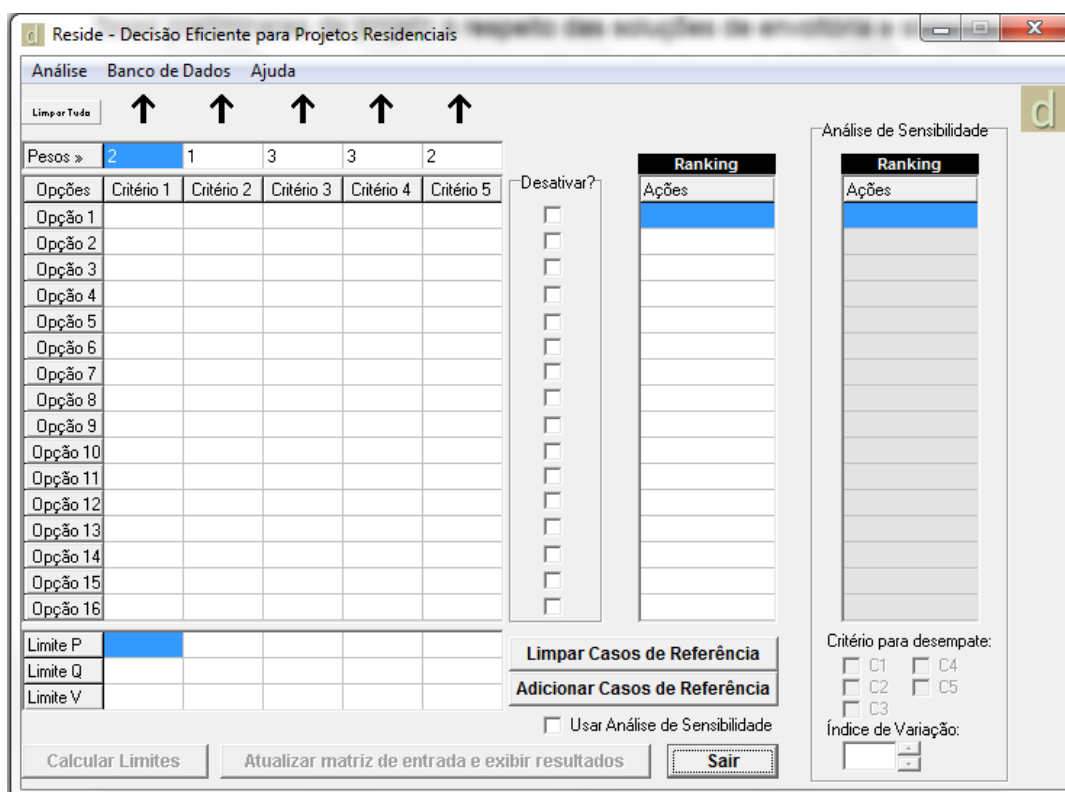


Figura 4.4 – Tela de análise.
Elaborada pela autora.

Logo abaixo das setas o programa apresenta os pesos atribuídos a cada critério, apresentados e justificados anteriormente. Caso haja interesse do usuário é possível editar todos esses valores.

Para iniciar a descrição dos casos a serem analisados o usuário precisa clicar sobre os ícones das opções. Ao clicar, surge nova janela (figura 4.5) em que o usuário define as características de sua edificação: orientação, tamanho da abertura, existência de sombreamento, sistema de vedação horizontal e vertical, além do tipo de sistema de aquecimento de água para banho. Esse procedimento deve ser repetido para cada uma das opções de interesse, sendo 16 o número máximo de opções, incluindo os casos de referência.

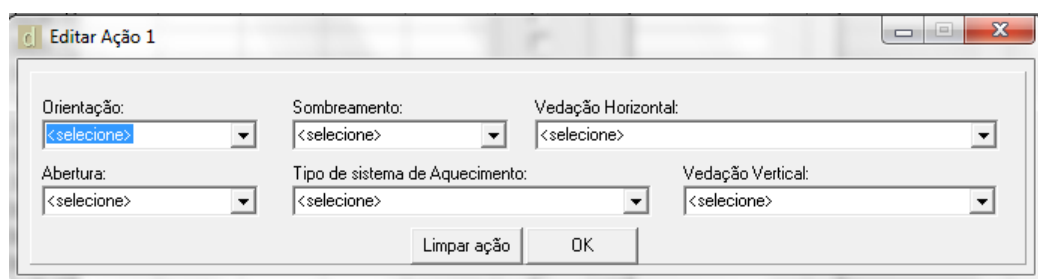


Figura 4.5 – Tela de seleção das alternativas.
Elaborada pela autora.

O banco de dados possui oito casos de referência para cada orientação, e foram estabelecidos com base em dois aspectos. O primeiro aspecto se refere aos materiais utilizados como padrão da envoltória e presentes na NBR12.721:2006 para vedação vertical e cobertura. O segundo aspecto diz respeito aos sistemas de aquecimento de água, sendo considerado o sistema mais frequente no contexto analisado aquele do caso de referência. Isso não indica que é o melhor ou o pior, mas indica que é a prática corrente do mercado da construção civil local. Vale destacar que a simulação só se realiza após a inserção do(s) caso(s) de referência entre as alternativas de análise. Por esse motivo o usuário deve considerar o número de casos de referência para saber qual o número máximo de alternativas ele poderá analisar. Por exemplo, o usuário poderá optar por 15 soluções distintas se todas tiverem a mesma orientação, já que há apenas um caso de referência por orientação. Por outro lado, se a intenção for analisar as oito orientações diferentes,

são necessários oito casos de referência. A figura 4.6 mostra uma situação onde há oito casos de referência (linhas realçadas) além das oito alternativas de interesse. Neste exemplo, manteve-se constante a mesma solução para envoltória, mesma condição de sombreamento e tamanho das aberturas, foram alteradas as orientações e o sistema de aquecimento de água.

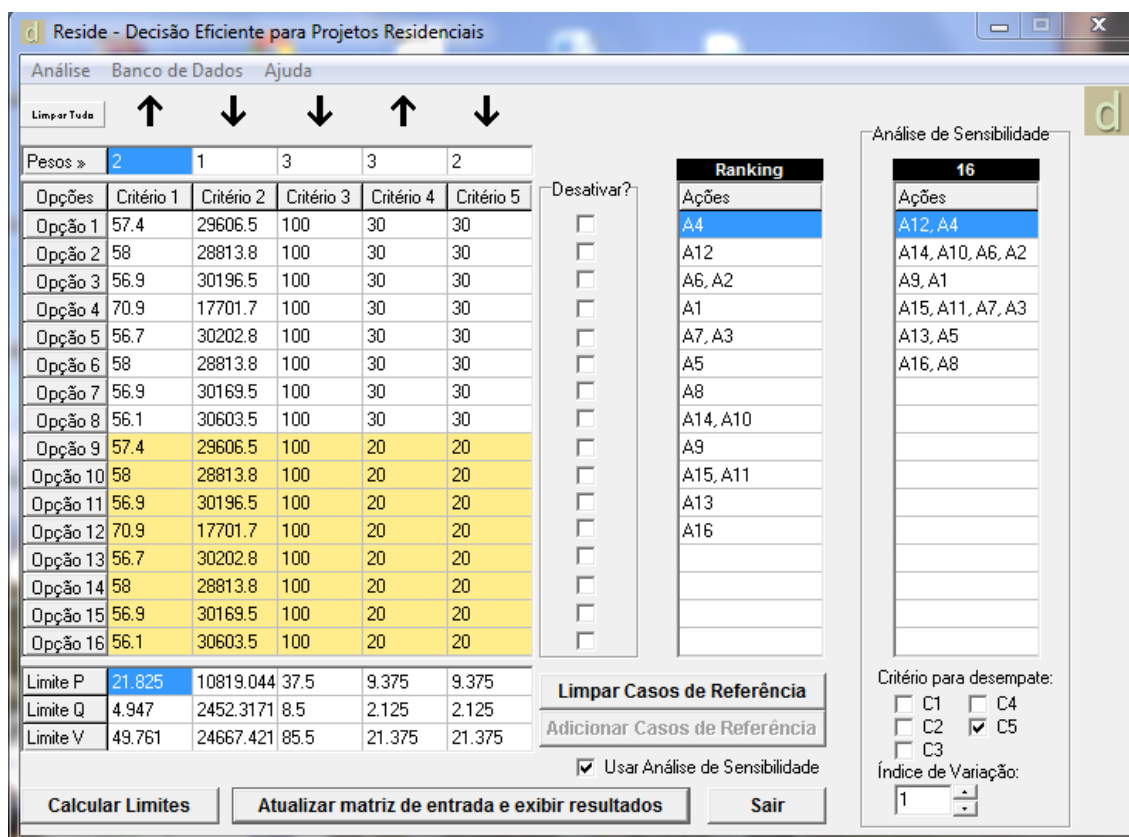


Figura 4.6 – Exemplo de tela de análise preenchida, com *ranking* e análise de sensibilidade. Elaborada pela autora.

Nota: A Opção 1 é representada no ranking pela nomenclatura A1, a Opção 2 pela A2, etc.

Caso seja de interesse do usuário desativar algumas das alternativas listadas é possível fazê-lo marcando a caixa correspondente na coluna ao lado da grade de opções. A opção ficará com fundo cinza, indicando sua desativação.

Para estabelecer o *ranking* é necessário definir os valores dos limites de preferência (P), indiferença (Q) e veto (V). Esses valores podem ser calculados pelas equações-padrão do método apresentadas por Castro (2005) clicando no botão "Calcular Limites" ou o usuário pode informar os valores para os limites de acordo com seus

objetivos. Por fim, deve-se atualizar a matriz de entrada e exibir os resultados. Na coluna do *ranking*, ao lado da planilha de opções, é possível visualizar um exemplo de ordenamento da melhor para a pior opção obtido após aplicação do método ELECTRE-III.

De acordo com Tervonen et al (2005) a definição dos pesos é um dos parâmetros mais importantes para realização de análises multicritério usando o ELECTRE-III. Por esse motivo, propõe-se para verificação de validade do *ranking* uma análise de sensibilidade variando os pesos dos critérios. O índice de variação é definido pelo usuário, sendo que o programa aceita qualquer número racional positivo. Além disso, o usuário precisa selecionar qual(is) critério(s) deseja analisar. O valor definido pelo usuário é somado ao peso padrão referente ao(s) critério(s) de interesse. Por exemplo, considerando a figura 4.6, tem-se que o peso padrão do critério 5 é 2. Para a análise de sensibilidade o peso deste critério passa a ser 3, pois o valor definido pelo usuário (1) é somado ao peso padrão (2). Considerando essa nova distribuição de pesos, realiza-se novamente a análise multicritério e um novo *ranking* é estabelecido.

A análise de sensibilidade não é a única forma de validação dos resultados. Durante a elaboração do banco de dados são realizadas análises de incerteza ao longo do processo de definição dos valores de cada critério. Além disso, o próprio método ELECTRE-III verifica a credibilidade das matrizes geradas. Desde modo, a análise de sensibilidade feita após o estabelecimento do ordenamento das alternativas tem como objetivo avaliar a estabilidade e coerência do *ranking* apresentado.

4.2.2. Banco de dados do RESIDE

O banco de dados do programa RESIDE é a base para o desenvolvimento das análises de interesse, sendo composto por 36.288 casos, cada um deles, por sua vez, composto de cinco informações referentes aos critérios. Esse número é a resultante das combinações disponíveis para o usuário: oito opções de orientação, duas de sombreamento, três de tamanho de aberturas, 54 de soluções construtivas e 14 de sistemas de aquecimento de água.

Duas dessas informações, referentes ao Cr01 (Percentual de horas de conforto térmico passivo) e ao Cr02 (Número de graus-horas para resfriamento), são resultados de simulações computacionais. São necessárias até 2592 simulações computacionais para compor um banco de dados. Em função das exigências legais municipais relativas ao tamanho das aberturas do estudo de caso apresentado neste trabalho, excluíram-se os casos com aberturas pequenas. Portanto, foram realizadas 1728 simulações. As alternativas com aberturas pequenas foram mantidas no banco de dados, porém os valores referentes aos critérios são sempre zero. O item 4.2.2.1 apresenta maiores características do processo de simulação termoenergética.

Essas são as informações utilizadas para realizar a análise multicritério e para estabelecer o *ranking* entre as alternativas. É necessário construir um novo banco de dados para cada contexto climático, econômico e também para cada tipologia construtiva. O banco de dados do Reside é gerado a partir de uma planilha base convertida em um arquivo Microsoft Data Base, do programa Microsoft Access® 2010, permitindo ao usuário flexibilidade. Mantendo o formato padrão da planilha base e estabelecendo referência entre as soluções padrão do programa e as soluções específicas de interesse, o usuário pode desenvolver um banco de dados com outras opções de sistemas de cobertura e envoltória ou outras faixas de tamanho de aberturas, etc.

4.2.2.1. Simulações

As simulações computacionais para desempenho termoenergético deste trabalho foram realizadas seguindo o padrão apresentado no RTQ-R versão 2010 (INMETRO, 2010) para edificações naturalmente ventiladas usando o método *Conduction Transfer Functions* (CTF) do programa EnergyPlus™. Este programa atende às seguintes exigências presentes no RTQ-R: (i) ser capaz de realizar análise de consumo energético das edificações; (ii) foi verificado e aprovado pelos testes da ASHRAE Standard 140 - 2001 (ASHRAE, 2001); (iii) modela as 8760 horas do ano, variações horárias das cargas internas, efeitos de inércia térmica e zonas térmicas; (iv) simula estratégias bioclimáticas; (v) determina a capacidade solicitada

pelo sistema de condicionamento de ar; e (vi) produz relatórios horários de trocas de ar e uso final de energia.

O arquivo climático utilizado foi o TMY-2 (*Typical Meteorological Year*) para a cidade do Rio de Janeiro desenvolvido com dados do Aeroporto Santos Dumont disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2011). Esses arquivos possuem dados de temperatura de bulbo seco, úmido e ponto de orvalho, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa e nebulosidade, além de dados de radiação total horizontal e normal direta. O arquivo é composto por uma seleção dos meses típicos, contendo meses de anos diferentes. Na década de 1990, após a atualização baseada no novo período de dados disponível (1961-1990), o arquivo passou a ser designado de TMY-2 (CRAWLEY e HUANG, 1997).

Mantendo o padrão do RTQ-R, a modelagem da envoltória considerou cada ambiente de permanência prolongada como uma zona térmica. Nos casos em que há ático, esse foi modelado também como zona térmica. No item 4.3, que trata do estudo de caso, são apresentadas as zonas térmicas e as características térmicas dos elementos construtivos utilizados. O arquivo de simulação possui todos os pavimentos da edificação, todas as aberturas existentes e as varandas das unidades habitacionais, que foram consideradas como elementos de sombreamento do tipo *Shading building detailed*³⁶.

Em relação aos parâmetros de simulação da ventilação natural, foram utilizados os coeficientes de rugosidade do entorno, no caso considera-se um terreno em centro urbano, sendo os coeficientes de pressão nas superfícies calculados automaticamente pelo programa. Os valores numéricos do coeficiente de descarga, do fluxo de ar por frestas e de seu expoente são, respectivamente: (0,60); (0,001 kg/s.m) e (0,65), conforme determina o RTQ-R.

Utilizou-se a estratégia de controle automático por temperatura, ou seja, sempre que a temperatura do ar do ambiente for superior a 20°C, as janelas e portas dos ambientes de permanência prolongada se mantêm abertas (exceto a porta de

³⁶ Termo usado no *software EnergyPlus*TM para designer a geometria de elementos de proteção integrados na edificação.

acesso à unidade que se mantém sempre fechada). De acordo com o trabalho de Loura (2006), esse método de cálculo CTF apresenta algumas interferências nas saídas (resultados) quando são realizadas simulações com uma taxa de renovação do ar muito baixa em edificações naturalmente ventiladas. Para evitar esse problema, as janelas dos ambientes de permanência transitória (banheiros e cozinha) foram mantidas 100% do tempo abertas.

Adotou-se o padrão mínimo de ocupação, a taxa metabólica das atividades, as densidades de potência instaladas de iluminação e as cargas internas de equipamentos apresentados no RTQ-R (INMETRO, 2010), bem como o método para determinação da temperatura do solo.

As saídas solicitadas ao programa EnergyPlusTM foram a temperatura do ar interno do ambiente (para o Cr01) e a temperatura operativa do ambiente (para o Cr02) para cada hora do ano típico. Contrariamente ao que recomenda o RTQ-R, não foram analisadas as saídas das zonas térmicas de todas as unidades habitacionais, pois a intenção é obter um valor médio representativo para os critérios Cr01 e Cr02. Considerando, o tempo necessário e o volume de simulações para chegar à média a partir das informações de todas as unidades habitacionais de edificações multifamiliares, bem como a elevada capacidade de processamento computacional, optou-se por trabalhar com os valores das zonas térmicas das unidades dos pavimentos extremos (o mais baixo e mais o alto).

4.3. Descrição da edificação padrão

Para definir a edificação padrão que será usada neste trabalho, optou-se por associar informações das legislações municipais pertinentes, da NBR12.721:2006 (ABNT, 2006) e do mercado imobiliário do Rio de Janeiro.

Em função do disposto na legislação municipal, foi necessário desconsiderar durante a composição do banco de dados as alternativas com aberturas inferiores a 1/6 da área de piso nos ambientes de permanência prolongada. A legislação municipal torna mandatório utilizar área de abertura nos ambientes de permanência prolongada superior a 17% da área de piso. Para atender a exigência foram

estabelecidas as medidas comerciais mais próximas aos valores do padrão da NBR12.721:2006 para as janelas médias, usadas nos casos de referência. Assim, as janelas dos quartos medem 1,5m x 1,2m (equivalente a 20,9% da área de piso), da suíte mede 2m x 1,2m (equivalente a 18,8% da área de piso) e a abertura da sala 2m x 2,1m (equivalente a 20,3% da área de piso). Todas atendem às determinações da legislação.

De acordo com que o foi mostrado anteriormente sobre as tipologias lançadas no Rio de Janeiro, constatou-se que há duas principais. Unidades habitacionais de dois quartos são a maioria (43%) e as de três quartos ocupam a segunda posição (30%). Como se trata de uma edificação hipotética, optou-se por trabalhar com unidades de três dormitórios para elaborar um modelo mais próximo ao projeto de padrão normal presente na NBR12.721:2006.

O projeto-padrão³⁷ que mais se aproxima do permitido pela legislação vigente é o R-8N, composto por garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo. Essa tipologia foi definida como padrão para esse trabalho por dois motivos: (i) a semelhança entre os parâmetros legais e o projeto-padrão e (ii) padrão considerado o CUB representativo³⁸ na maioria dos sindicatos estaduais da construção civil, incluído o do Rio de Janeiro.

Fazendo uma descrição mais detalhada do projeto-padrão, de acordo com a NBR12.721:2006, tem-se:

- Garagem: Escada, elevadores, vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo depósito e instalação sanitária.
- Pilotis: Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita.

³⁷ Projeto-padrão é um projeto definido para representar os diferentes tipos de edificações, que são usualmente objeto de incorporação para construção em condomínio e conjunto de edificações, definidos por suas características principais: número de pavimentos, número de dependências por unidade, áreas equivalentes às áreas de custo padrão privativas das unidades autônomas, padrão de acabamento da construção e número total de unidades (ABNT, 2006).

³⁸ Os Sindicatos da Indústria da Construção Civil têm a faculdade de eleger ou apurar um CUB padrão representativo de sua região com a finalidade específica de servir como indexador contratual, desde que explicitem o critério utilizado para obtê-lo (ABNT, 2006).

- Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo uma suíte, sala estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda.

Para a elaboração da edificação padrão, foi feito também um levantamento das edificações, consideradas R-8N, de três dormitórios lançadas entre 2008 e 2010 na área de interesse. De maneira geral, os empreendimentos analisados são compostos por grupamentos de edifícios com uso residencial multifamiliar exclusivo, se localizam em terrenos amplos e oferecem infraestrutura de lazer diversificada. Frequentemente oferecem unidades habitacionais de tamanhos diferentes, sendo muito comum encontrar empreendimentos com unidades de dois e outras de três quartos. Também é recorrente empreendimentos com mais de quatro unidades habitacionais por pavimento. Portanto temos empreendimentos reais distintos de todos os projetos-padrões determinados pela NBR12.721:2006 (ABNT, 2006). A aproximação com o mercado imobiliário local foi feita por meio das características internas da edificação. O levantamento realizado permitiu conhecer o perfil dos produtos oferecidos pelo mercado, sendo identificados quais eram os compartimentos presentes na maioria das unidades e suas respectivas áreas. No apêndice 8.1, pode-se ver com detalhes a amostra trabalhada e os resultados obtidos. Com base nos valores médios obtidos pelo levantamento, nas características do projeto-padrão R-8N e na legislação em vigor pertinente, foi desenvolvida a planta do pavimento tipo da edificação-padrão mostrada na figura 4.7.

O projeto-padrão desenvolvido para esse estudo tem organização espacial baseada no projeto-padrão da norma NBR12.721:2006 (ABNT, 2006), porém as áreas de cada compartimento correspondem aos valores médios obtidos no levantamento dos lançamentos do mercado imobiliário. Isso porque os apartamentos oferecidos pelo mercado nesta região são maiores que o projeto-padrão NBR12.721:2006. O apartamento NBR12.721:2006 tem área total (incluindo área de circulação) de 65,1m² e o proposto para o trabalho 80m² (incluindo área de circulação). Os ambientes em que as diferenças de área foram maiores são a sala e a varanda. Na NBR12.721:2006 as áreas são respectivamente 15m² e 3,5m², ambas muito inferiores ao obtido com a média da amostra. Outro ponto distinto entre os projetos é

a disposição da cozinha e área de serviço. No projeto-padrão NBR12.721:2006, esses ambientes são dois compartimentos diferentes. Nessa proposta são integrados num mesmo compartimento. A eliminação do banheiro de serviço é outra variação entre os projetos. Ele está presente na NBR12.721:2006, mas não foi observado na maioria dos empreendimentos analisados.

Os materiais componentes da envoltória do projeto-padrão NBR12.721:2006 (ABNT, 2006) são:

- Alvenaria de vedação: bloco cerâmico 9 cm x 19 cm x 19 cm;
- Revestimento externo das fachadas: chapisco, massa única industrializada e textura acrílica branco neve;
- Revestimento interno de quartos e sala: argamassa de gesso, tinta à base de PVA branco neve;
- Esquadrias: alumínio anodizado cor natural, padronizado, perfis linha 25, com vidro liso/fantasia 3 mm;
- Cobertura: chapa ondulada de fibrocimento 6 mm, com estrutura de madeira sobre laje maciça de concreto (15 cm).

Para construir os arquivos de simulação conforme a metodologia presente no RTQ-R (ver anexo 9.2), foi necessário fazer a divisão do pavimento em 21 zonas térmicas, conforme ilustra a figura 4.8. Cada apartamento foi dividido em cinco zonas e toda a área de uso comum e as cozinhas dos apartamentos foram agrupadas em uma única zona (zona 11). Dessas 21 zonas, 16 são de permanência prolongada e devem ser avaliadas. Portanto para cada unidade habitacional há quatro zonas relevantes.

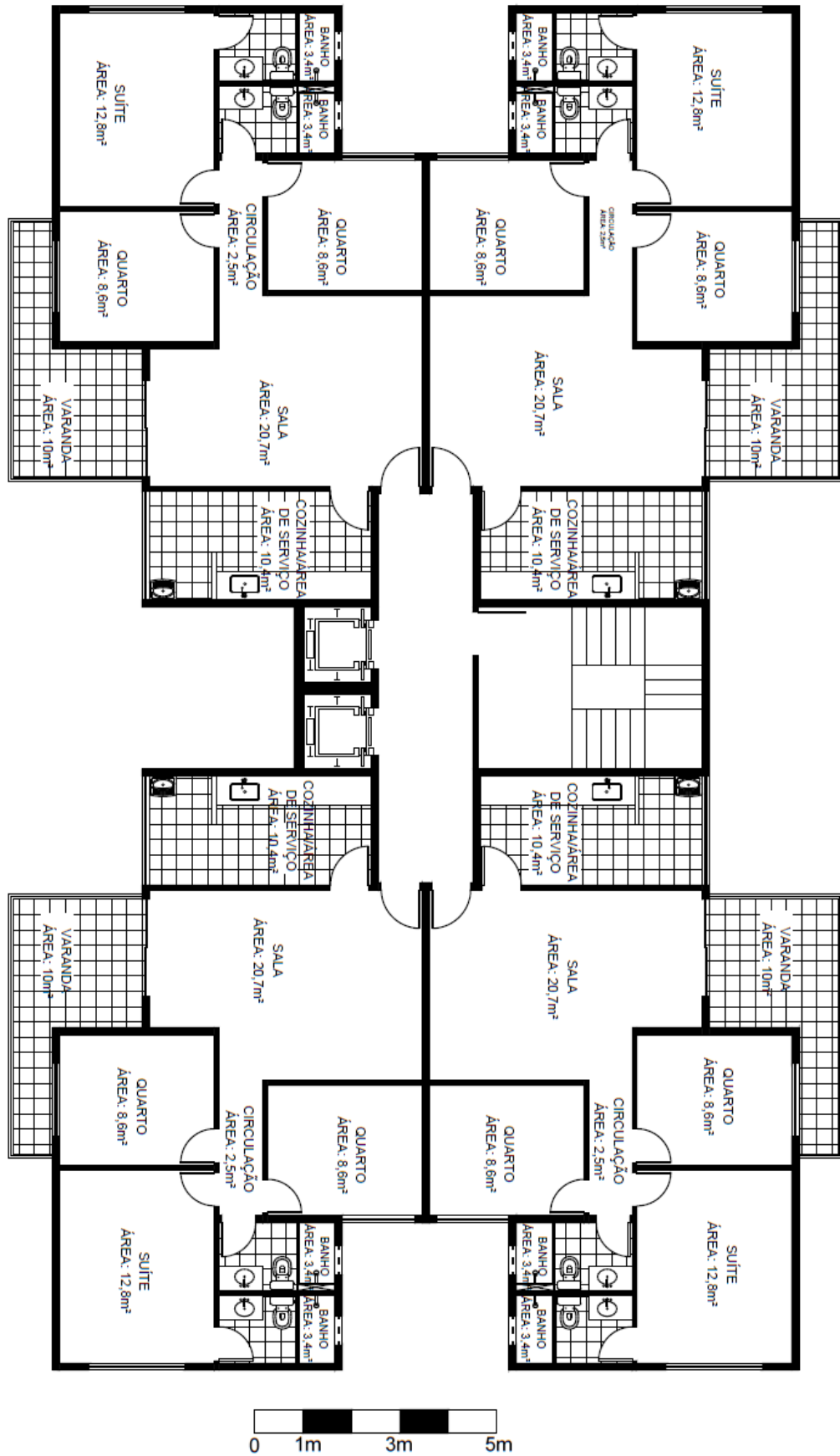


Figura 4.7 – Projeto-padrão do trabalho para simulação
Elaborado pela autora

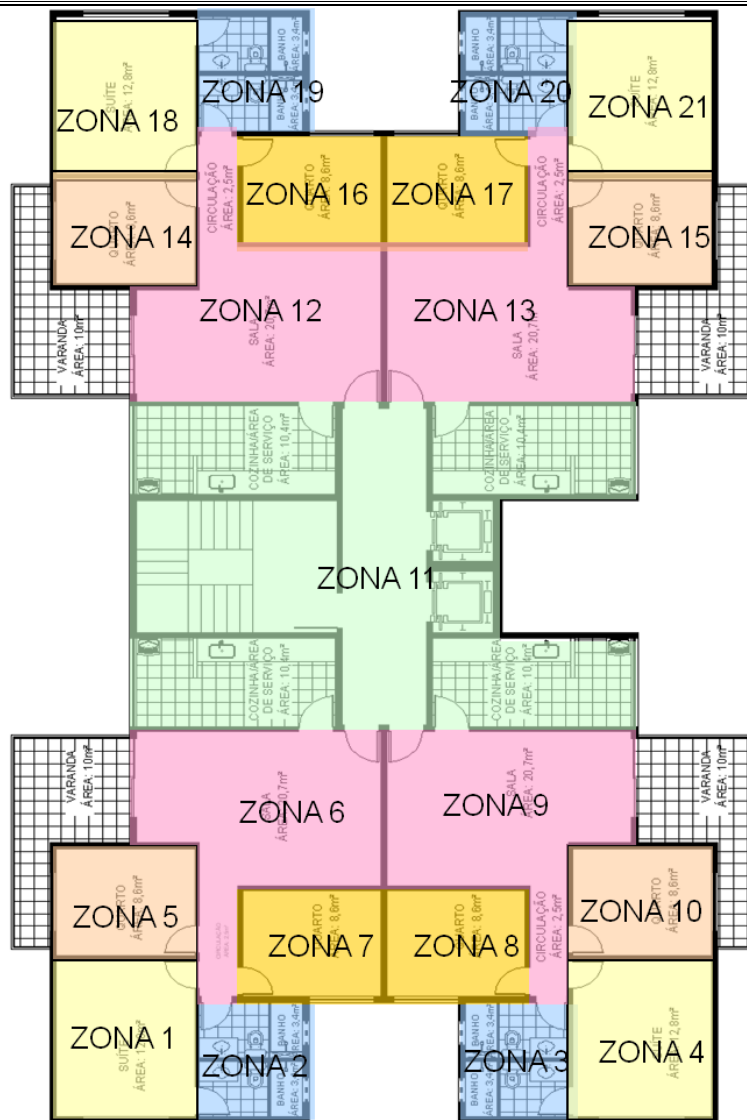


Figura 4.8 – Zonas térmicas para simulação
Elaborado pela autora

Foi necessário ainda informar as características térmicas dos materiais usados em todas as alternativas construtivas. O quadro 4.6 mostra as principais características térmicas dos materiais utilizados, e que foram obtidas em diferentes documentos, a saber: NBR15.220:2005 (ABNT, 2005); Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (LABEEE, 2010); Manual de conforto térmico (FROTA E SCHIFFER, 1999); Relatório técnico sobre condutividade térmica do Ecotelhado (BEYER, 2008); e Manual técnico de telhas de aço (ABCCEM, 2009).

Quadro 4.6- Características térmicas dos materiais utilizados nas composições

Material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m.K)	Resistência térmica (m ² .K/W)	Transmitância vidro (adimensional)
Argamassa industrializada para revestimento exterior	2,50	1,15	-	-
Concreto	15,00	1,75	-	-
Piso cerâmico	0,60	1,05	-	-
Argamassa industrializada para assentar revestimento	0,50	1,15	-	-
Argamassa de gesso	0,20	0,35	-	-
Telha de fibrocimento	0,60	0,95	-	-
Barreira radiante de alumínio	0,10	230,00	-	-
Manta asfáltica para impermeabilização	0,40	0,70	-	-
Argamassa de proteção mecânica da impermeabilização	1,00	1,15	-	-
Lã de vidro	5,00	0,05	-	-
Argamassa de vermiculita	15,00	-	0,17	-
Termotelha metálica (EPS P1/F1)	3,00	-	1,12	-
Cobertura verde - Fabricante Ecotelhado	15,00	0,40	-	-
Bloco cerâmico furado 9 cm	9,00	-	0,59	-
Bloco cerâmico furado 14 cm	14,00	-	0,70	-
Bloco cerâmico furado 19 cm	19,00	-	0,75	-
Bloco concreto vedação 9 cm	9,00	-	0,50	-
Bloco concreto vedação 14 cm	14,00	-	0,52	-
Bloco concreto vedação 19 cm	19,00	-	0,54	-
Bloco concreto celular 10 cm	10,00	0,13	-	-
Bloco concreto celular 15 cm	15,00	0,13	-	-
Bloco concreto celular 20 cm	20,00	0,13	-	-
Porta prancheta	3,00	-	0,15	-
Vidro	0,30	0,90	-	0,84
Veneziana	0,50	230,00	-	-

Fontes: ABNT, 2005; LABEEE, 2010; Frota e Schiffer, 1999; Beyer, 2008; e ABCEM, 2009. Elaborado pela autora.

O Quadro 4.7 e 4.8 apresenta o detalhamento de cada uma das composições usadas nos 54 tipos de envoltórias (conjunto cobertura e vedação) e a transmitância térmica dessas composições.

Quadro 4.7 - Características térmicas das composições de vedação

Composição	Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m ² .K)
P1	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e= 9 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.633
P2	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= de 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e=14 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.378
P3	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e=19 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.281
P4	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e= 9 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.907
P5	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e= 14 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.813
P6	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e=19 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e=0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.768
P7	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e=2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e=10 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e=0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.389
P8	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e=2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e=15 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e=0,2cm e pintura PVA branco neve.	0.905
P9	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e=2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e= 20 cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e=0,2cm e pintura PVA branco neve.	0.672

Elaborado pela autora.

Quadro 4.8 - Características térmicas das composições de cobertura

Composição	Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m ² .K)
C1	1. Isolamento térmico em laje empregando vermiculita aglomerada com cimento e areia e=15cm; 2. Argamassa de proteção para a impermeabilização e=1 cm; 3. Impermeabilização de cobertura não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; 4. Laje de concreto armado e=15 cm.	3,702
C2	1. Telha de fibrocimento uma água, perfil ondulado, e=0,6cm, altura 12,5cm, largura útil 102cm e largura nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Ático; 3. Laje de concreto armado e=15 cm.	2,060
C3	1. Telha de fibrocimento uma água nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Subcobertura em lâmina de alumínio e= 0,1 cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e=15 cm.	2,060
C4	1. Telha de fibrocimento uma água, perfil ondulado, e=0,6cm, altura 12,5cm, largura útil 102cm e largura nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Manta de lã de vidro e= 5 cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e= 15 cm.	0.895
C5	1. Telha termoacústica, perfil trapezoidal, e=3cm, altura 7cm, largura útil 100cm e largura nominal 105,6cm; 2. Ático; 3. Laje de concreto armado e=15 cm.	0.971
C6	1. Sistema alveolar ecotelhado pré-vegetado com substrato, espessura; 2. Argamassa de proteção para a impermeabilização espessura 1 cm; 3. Impermeabilização de cobertura não, perfil ondulado, e=0,6cm, altura 12,5cm, largura útil 102cm e largura nominal 106,4cm, não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; 4. Laje de concreto, e=15 cm.	2.144

Elaborado pela autora.

A seguir o Quadro 4.9 mostra as 54 combinações feitas com os sistemas de cobertura e vedação detalhados no quadro anterior.

Quadro 4.9 - Características térmicas das composições de envoltória

Composição	Alvenaria	Cobertura	Composição	Alvenaria	Cobertura
1	P1	C1	28	P5	C4
2	P1	C2	29	P5	C5
3	P1	C3	30	P5	C6
4	P1	C4	31	P6	C1
5	P1	C5	32	P6	C2
6	P1	C6	33	P6	C3
7	P2	C1	34	P6	C4
8	P2	C2	35	P6	C5
9	P2	C3	36	P6	C6
10	P2	C4	37	P7	C1
11	P2	C5	38	P7	C2
12	P2	C6	39	P7	C3
13	P3	C1	40	P7	C4
14	P3	C2	41	P7	C5
15	P3	C3	42	P7	C6
16	P3	C4	43	P8	C1
17	P3	C5	44	P8	C2
18	P3	C6	45	P8	C3
19	P4	C1	46	P8	C4
20	P4	C2	47	P8	C5
21	P4	C3	48	P8	C6
22	P4	C4	49	P9	C1
23	P4	C5	50	P9	C2
24	P4	C6	51	P9	C3
25	P5	C1	52	P9	C4
26	P5	C2	53	P9	C5
27	P5	C3	54	P9	C6

Elaborado pela autora.

5. Resultados

No capítulo anterior foi descrita a fase de experimentação que mostra a estrutura do procedimento proposto e o processo de elaboração do *software* RESIDE. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. No item a seguir 5.1, são apresentados os resultados secundários dessa pesquisa que estão relacionados ao desempenho termoenergético da tipologia simulada. Para compor o banco de dados do estudo de caso foram realizadas 1.728 simulações de desempenho termoenergético usando o programa EnergyPlusTM, como já foi descrito no capítulo Metodologia, para avaliar as condições de conforto térmico passivo e o número de graus-hora para resfriamento. Vale apresentar esses resultados para traçar um panorama do desempenho das soluções construtivas para a tipologia avaliada. No item 5.2 é apresentado o resultado principal da pesquisa a ferramenta de análise multicritério, o *software* RESIDE, que tem suas funcionalidades a partir de exemplos de aplicação, mostrados no item 5.2.

5.1. Resultados parciais

Mostrar o resultado do desempenho termoenergético das alternativas ajuda a compreender o banco de dados analisado. A seguir são apresentados os valores médios de cada alternativa que compõe o banco de dados, ou seja, a informação mostrada é o resultado da média ponderada por área considerando todas as zonas térmicas de permanência prolongada dos quatro apartamentos do primeiro pavimento e do último pavimento. Enfim, é um valor médio representativo para a edificação como um todo. Inicialmente é feita a apresentação dos resultados de desempenho termoenergético com foco na comparação entre as orientações³⁹ por meio de oito gráficos que consideram diversas alternativas construtivas. Posteriormente, passa-se a analisar o desempenho de cada alternativa construtiva. São apontadas as melhores e as piores alternativas a partir dos dois critérios de desempenho termoenergético Cr01 Percentual de horas de conforto higrotérmico passivo e Cr02 Graus-horas para resfriamento.

³⁹ Ao longo de todo o texto a orientação se refere ao azimute do eixo longitudinal da edificação.

Os gráficos das figuras 5.1 a 5.8 são compostos por uma variável não contínua, pois o eixo das abcissas é composto por 54 casos independentes em cada gráfico. Optou-se por representar os resultados (valor médio para a edificação) usando a linha em lugar do ponto para facilitar a visualização e a comparabilidade entre os casos e as orientações.

Iniciando pelos gráficos das figuras 5.1 a 5.4, que mostram o comportamento das 54 alternativas de cada orientação com aberturas grandes, pode-se perceber, de maneira geral, um comportamento bastante homogêneo tanto do ponto de vista das soluções como das orientações. A faixa de variação para o percentual de horas de conforto térmico passivo não chega a 10% nas figuras 5.1 (conforto higrotérmico – aberturas grandes sem proteção solar) e 5.2 (conforto higrotérmico – aberturas grandes com proteção solar). As orientações Sudeste e Sudoeste apresentaram os melhores resultados e a orientação Noroeste, o pior.

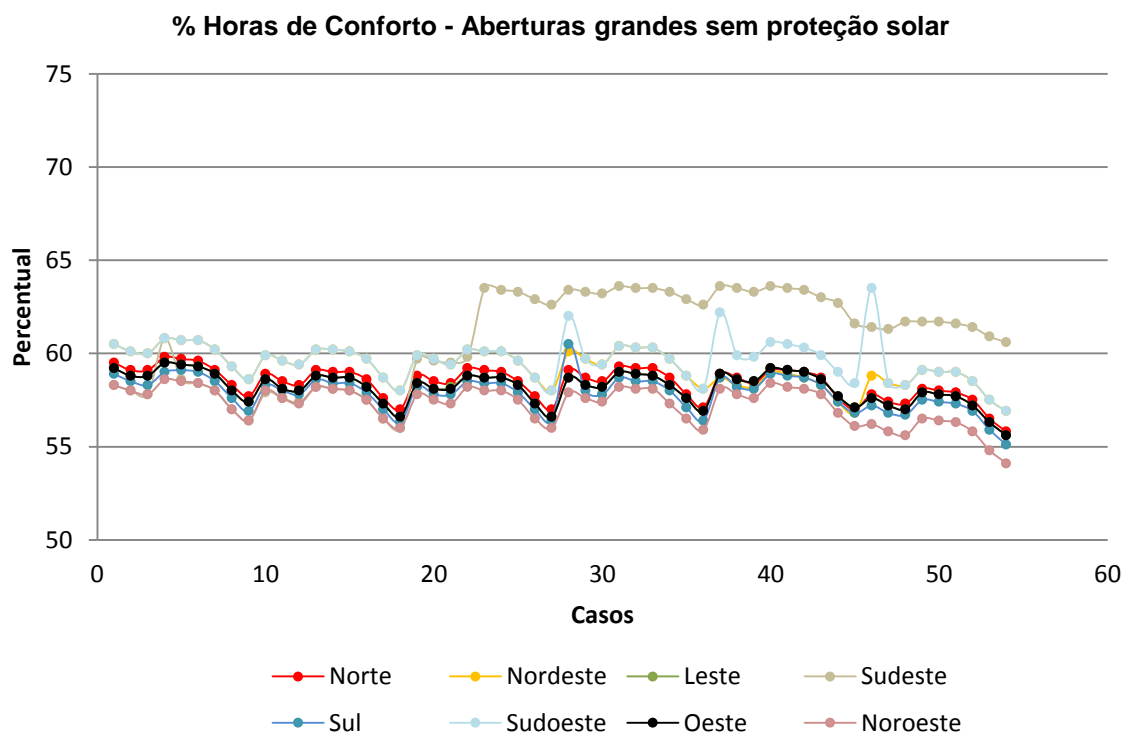


Figura 5.1 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas grandes sem proteção solar.
Elaborado pela autora.

As figuras 5.3 (graus-horas – aberturas grandes sem proteção solar) e 5.4 (graus-horas – aberturas grandes com proteção solar) mostram o desempenho das 54 soluções com aberturas grandes para as oito orientações estudadas em relação aos

graus-hora para resfriamento. Comparando a figura 5.3 com a 5.4 observa-se uma redução geral no número de graus-hora devido à presença de proteção solar nas aberturas.

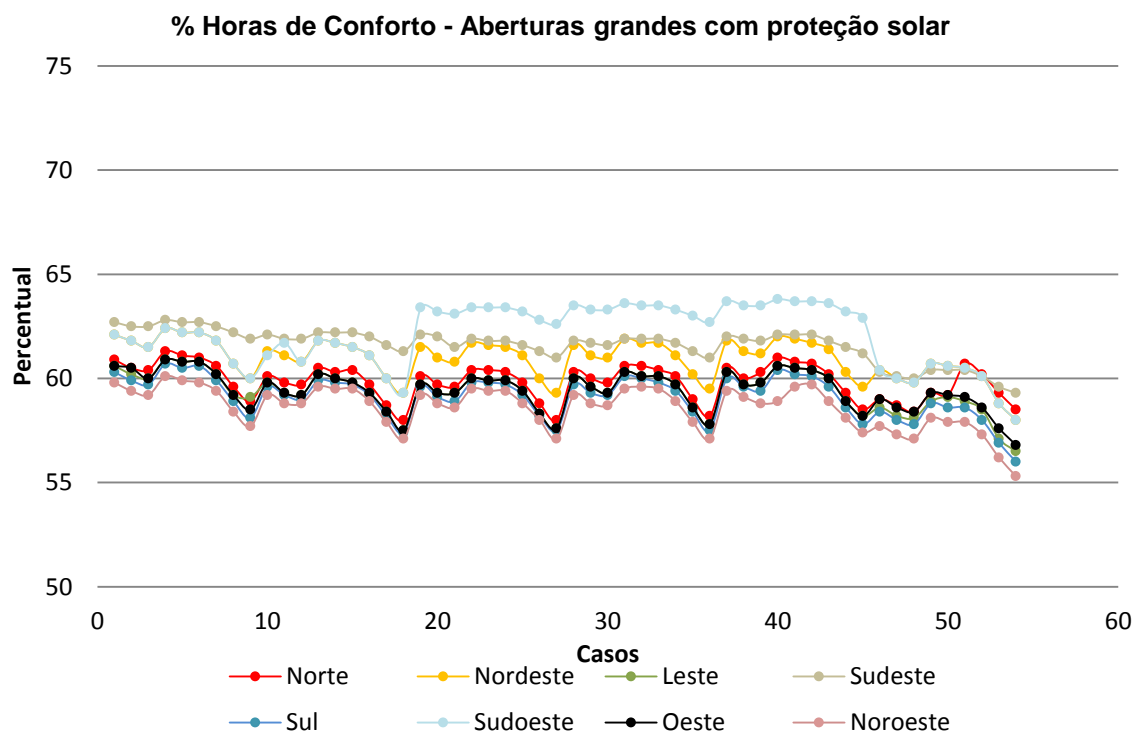


Figura 5.2 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas grandes com proteção solar.
Elaborado pela autora.

Os resultados das alternativas com aberturas médias são, de modo geral, muito semelhantes aos das alternativas com aberturas grandes. A faixa de variação continua com a mesma ordem de grandeza tanto na figura 5.5 (conforto higrotérmico – aberturas médias sem proteção solar) e 5.6 (conforto higrotérmico – aberturas médias com proteção solar). Comparando-as com as figuras anteriores 5.1 e 5.2 percebe-se que há ligeira redução nos percentuais de horas de conforto térmico passivo. Em relação às figuras 5.7 (graus-hora – aberturas médias sem proteção solar) e 5.8 (graus-horas – aberturas médias com proteção solar), que mostram o número de graus-hora pra resfriamento, observou-se uma pequena elevação dos valores das curvas ao compará-las com as mostradas nas figuras 5.3 (graus-horas – aberturas grandes sem proteção solar) e 5.4 (graus-horas – aberturas grandes com proteção solar), o que indica queda do desempenho termoenergético.

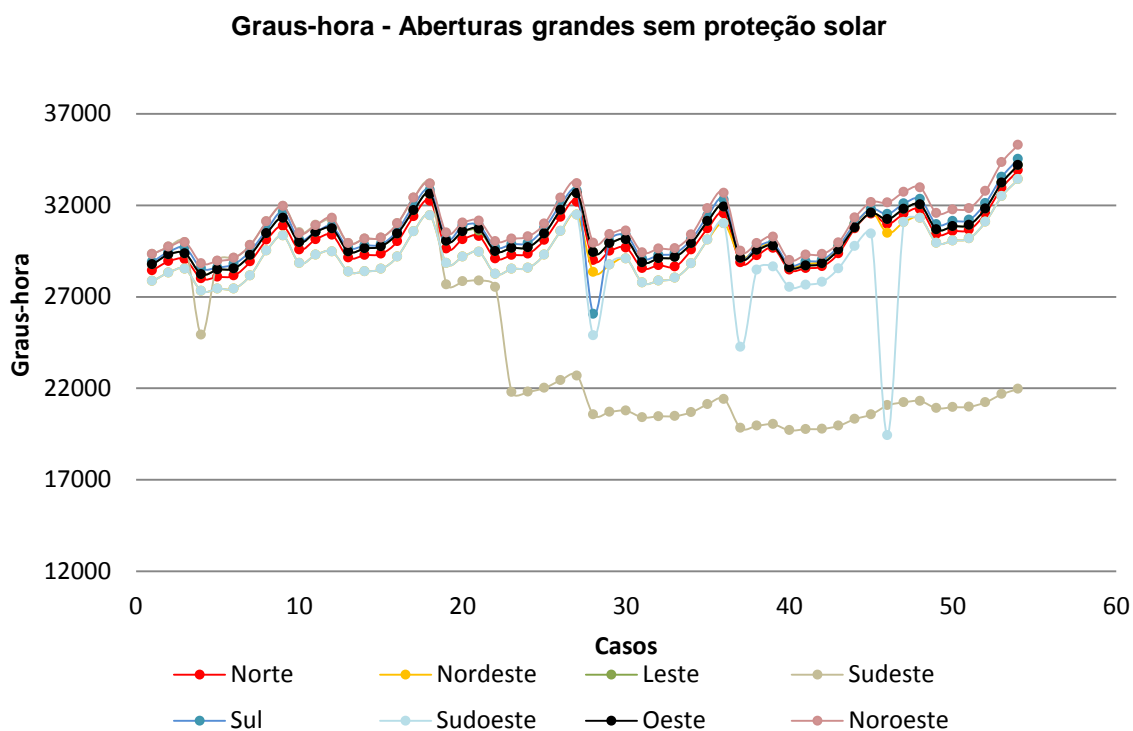


Figura 5.3 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas grandes sem proteção solar. Elaborado pela autora.

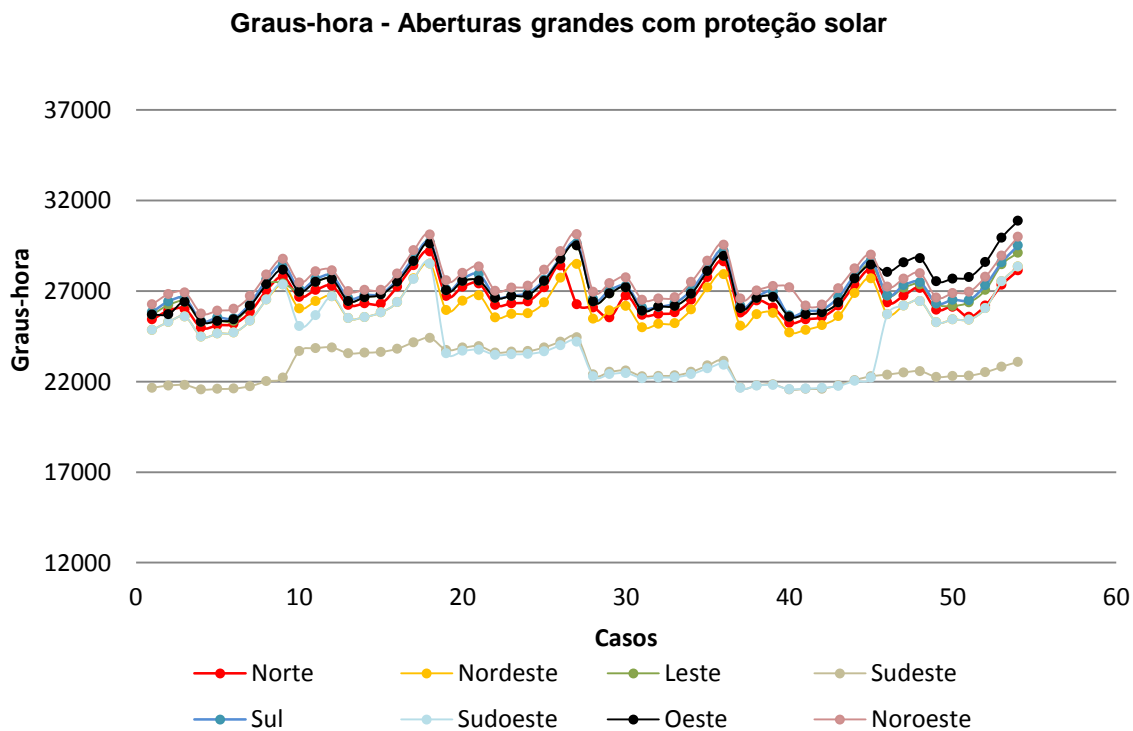


Figura 5.4 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas grandes com proteção solar. Elaborado pela autora.

Nas figuras 5.1 a 5.8 os comportamentos das curvas que representam as orientações Sudeste e Sudoeste se destacam das demais, especialmente, quando se trata das alternativas com aberturas médias. Esse fato pode ser explicado com base na análise do arquivo climático TMY-2 do Rio de Janeiro, elaborado com os dados do Aeroporto Santos Dumont. Embora não seja possível considerar a frequência de ocorrência dos ventos quando se trabalha com esse tipo de arquivo⁴⁰ é possível constatar que as maiores velocidades de vento registradas têm direção predominante Sudeste e secundária Sudoeste. Assim, pode-se afirmar que as condições favoráveis de orientação em relação aos ventos contribuiu de forma significativa no desempenho termoenergético desse caso analisado. A importância da ventilação cruzada e sombreamento de aberturas já são apontadas na NBR15.220:2005 como estratégias relevantes para obter condições de conforto térmico em cidades localizadas nesta zona bioclimática (ZB8). De acordo com o diagrama adotado por esta mesma norma, não seria possível alcançar as condições de conforto sem o auxílio de sistemas ativos durante os meses mais quentes do ano.

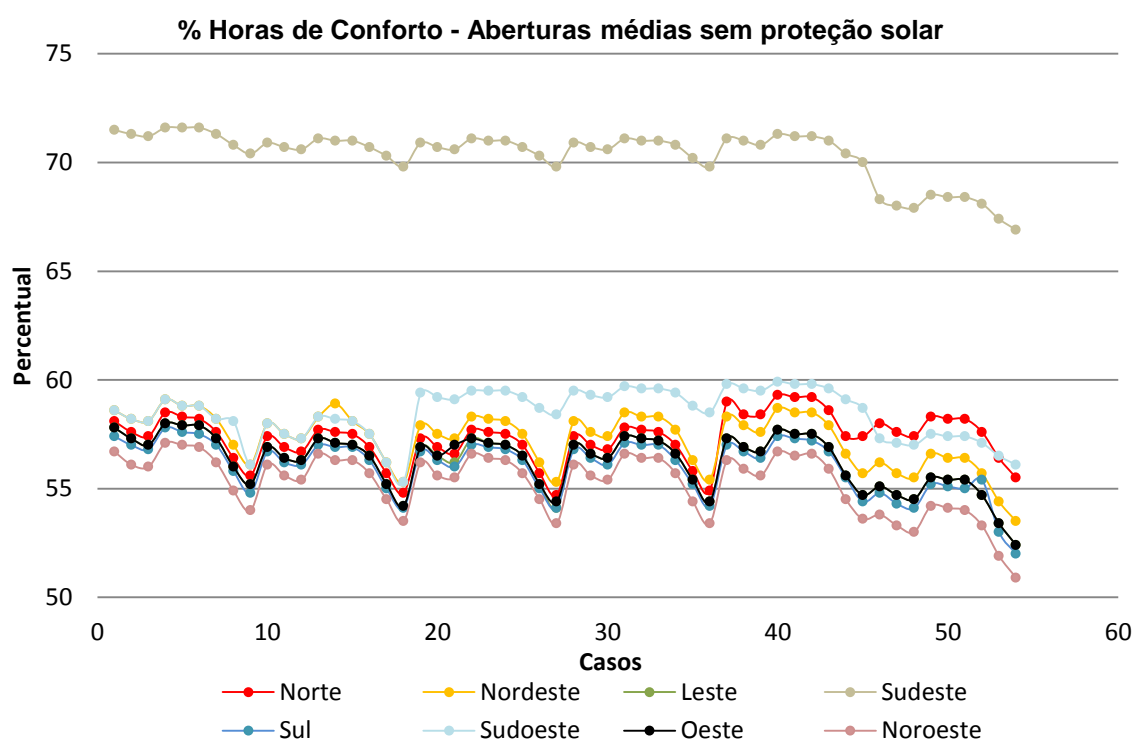


Figura 5.5 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas médias sem proteção solar. Elaborado pela autora.

⁴⁰ A metodologia TMY-2 de geração de arquivos climáticos determina que para velocidades baixas (em geral inferiores a 0,3m/s) deve-se considerar direção do vento como 0°.

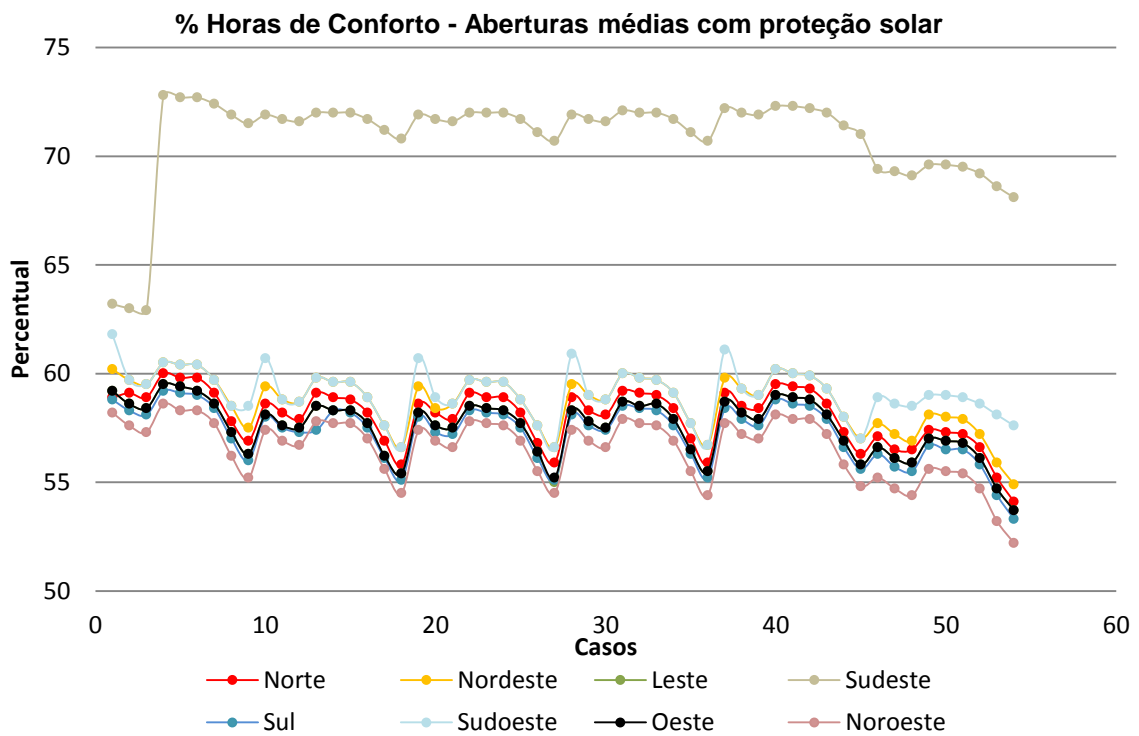


Figura 5.6 – Gráfico do percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas médias com proteção solar. Elaborado pela autora.

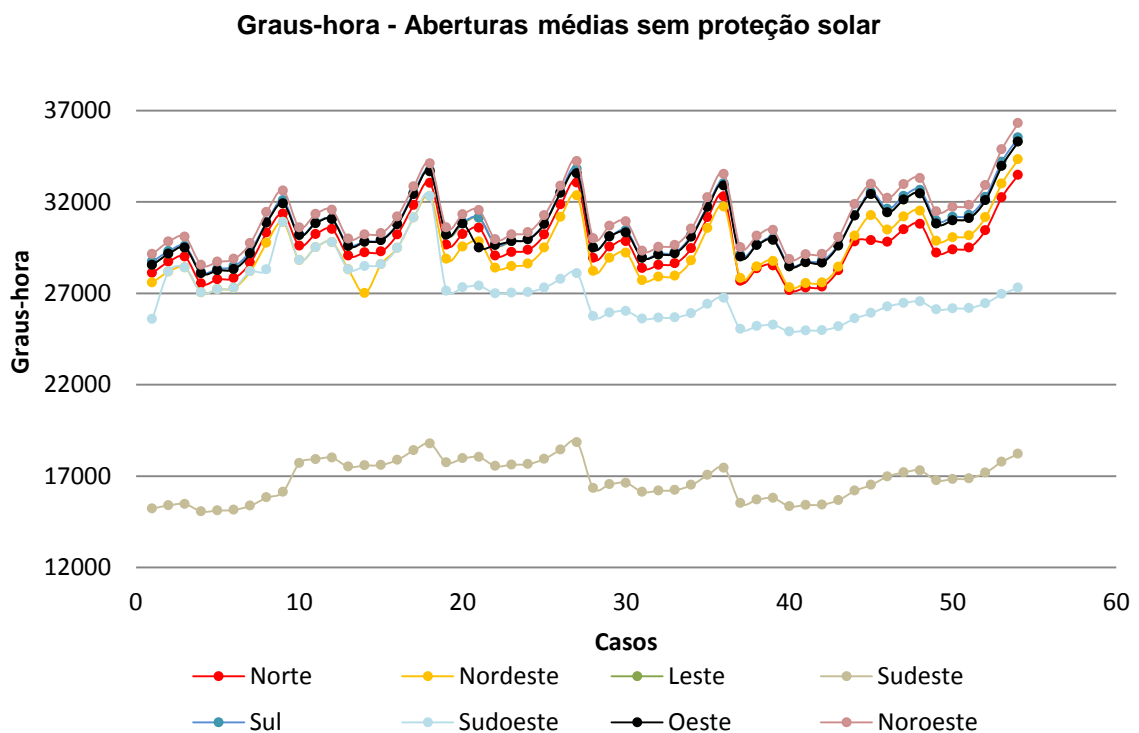


Figura 5.7 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para aberturas médias sem proteção solar. Elaborado pela autora.

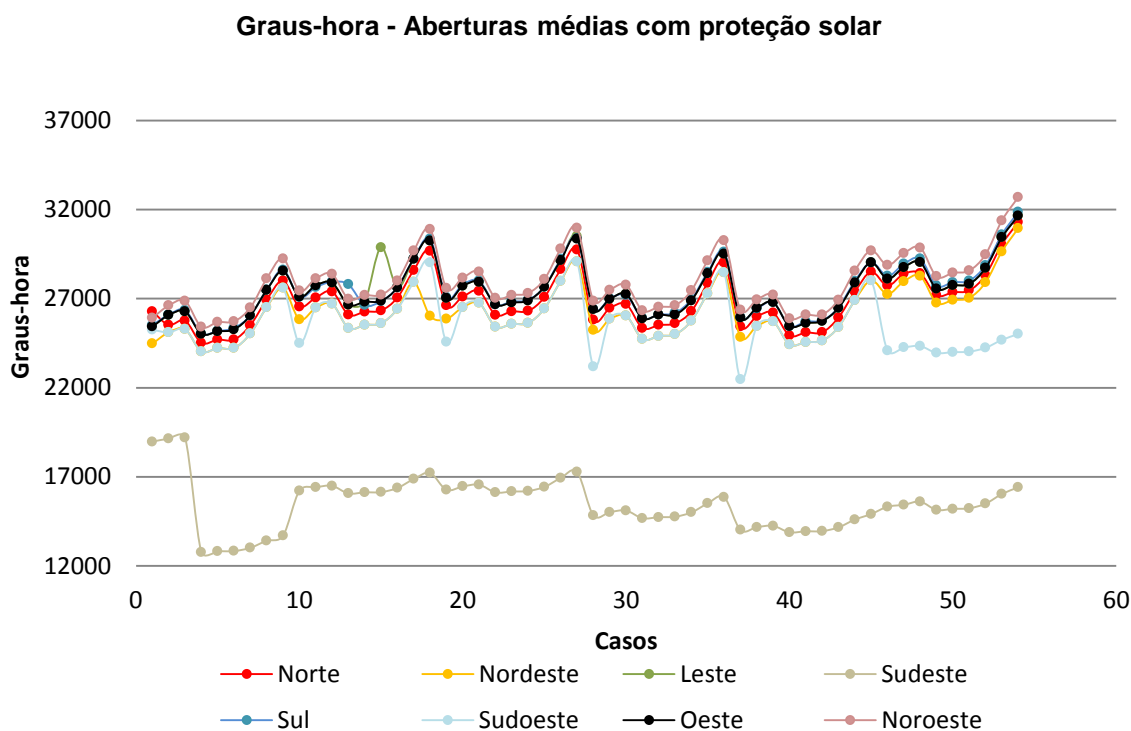














































































































Figura 5.8 – Gráfico de graus-hora para resfriamento para janelas aberturas com proteção solar. Elaborado pela autora.

Para apresentar os resultados que compõem os critérios percentual de horas de conforto térmico passivo e graus-hora para resfriamento de cada uma das soluções foram elaborados gráficos para cada uma das orientações solares das edificações, que são mostrados a seguir. Cada gráfico contém 216 soluções⁴¹, divididos em dois grupos (aberturas grandes e aberturas médias) cada um com 108 soluções. No primeiro grupo as 54 soluções se referem a aberturas grandes **com** proteção solar (barras com fundo branco) e as 54 seguintes a aberturas grandes **sem** proteção solar (barras com fundo cinza). A segunda metade do gráfico mostra as alternativas para aberturas médias, sendo as 54 primeiras com proteção (barras com fundo branco) e as 54 últimas sem proteção (barras com fundo cinza). Inicialmente são apontadas as melhores e piores soluções e em seguida são apresentadas as justificativas para tais desempenhos.

Primeiramente, são mostrados, nas figuras 5.9 a 5.16, os resultados para o percentual de conforto higrotérmico. Observou-se que para todas as orientações, exceto Sudoeste e Sudeste, a combinação de sistemas de cobertura e alvenaria

⁴¹ Legenda única apresentada após todos os gráficos e identificação detalhada de cada alternativa apresentada no capítulo Metodologia.

utilizando laje impermeabilizada com camada de 15 cm de argamassa de vermiculita e blocos de concreto com 9 cm de espessura; aberturas grandes e sombreadas apresentou o melhor desempenho (setas verdes indicando). No caso da orientação Sudoeste, a melhor combinação difere da descrita anteriormente em relação ao sistema de cobertura que é composto por telha metálica com EPS como isolante térmico (termotelha). Já a orientação Sudeste, que apresentou melhor desempenho geral, possui a mesma configuração de cobertura, alvenaria e sombreamento, porém as aberturas têm tamanho médio. O desempenho das melhores alternativas de cada orientação varia de 72.8% (orientação Sudeste) a 60.1% (orientação Noroeste) de horas de conforto térmico passivo durante o ano de simulação. Os desempenhos mais baixos variam de 50.9% (orientação Noroeste) a 56% (orientação Sudeste) e estão indicados por setas vermelhas nas figuras 5.9 a 5.16. A solução com 50.9% (orientação Noroeste) de horas de conforto térmico passivo é composta por aberturas médias, sem sombreamento, alvenaria com 20 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura Ecotelhado (sistema de módulos vegetados instalados sobre membrana anti-raízes e membrana para a retenção de nutrientes). Essa mesma configuração teve os desempenhos mais baixos para as orientações Nordeste, Leste, Sul e Oeste. A alternativa da orientação Norte com pior desempenho apresentou configuração semelhante, exceto pela presença de sombreamento nas aberturas. Continuando a lista de alternativas com desempenhos mais baixos por orientação deve-se destacar a orientação Sudeste que é composta por aberturas grandes, sem sombreamento, alvenaria com 20 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura com telha de fibrocimento. Para finalizar tem-se a orientação Sudoeste com composição semelhante à da Sudeste, exceto pelo tamanho das aberturas, que são médias neste caso. A seguir a legenda e as figuras 5.9 a 5.16:

 CPC1P1	 CPC1P2	 CPC1P3	 CPC1P4	 CPC1P5	 CPC1P6	 CPC1P7	 CPC1P8	 CPC1P9
 CPC2P1	 CPC2P2	 CPC2P3	 CPC2P4	 CPC2P5	 CPC2P6	 CPC2P7	 CPC2P8	 CPC2P9
 CPC3P1	 CPC3P2	 CPC3P3	 CPC3P4	 CPC3P5	 CPC3P6	 CPC3P7	 CPC3P8	 CPC3P9
 CPC4P1	 CPC4P2	 CPC4P3	 CPC4P4	 CPC4P5	 CPC4P6	 CPC4P7	 CPC4P8	 CPC4P9
 CPC5P1	 CPC5P2	 CPC5P3	 CPC5P4	 CPC5P5	 CPC5P6	 CPC5P7	 CPC5P8	 CPC5P9
 CPC6P1	 CPC6P2	 CPC6P3	 CPC6P4	 CPC6P5	 CPC6P6	 CPC6P7	 CPC6P8	 CPC6P9
 SPC1P1	 SPC1P2	 SPC1P3	 SPC1P4	 SPC1P5	 SPC1P6	 SPC1P7	 SPC1P8	 SPC1P9
 SPC2P1	 SPC2P2	 SPC2P3	 SPC2P4	 SPC2P5	 SPC2P6	 SPC2P7	 SPC2P8	 SPC2P9
 SPC3P1	 SPC3P2	 SPC3P3	 SPC3P4	 SPC3P5	 SPC3P6	 SPC3P7	 SPC3P8	 SPC3P9
 SPC4P1	 SPC4P2	 SPC4P3	 SPC4P4	 SPC4P5	 SPC4P6	 SPC4P7	 SPC4P8	 SPC4P9
 SPC5P1	 SPC5P2	 SPC5P3	 SPC5P4	 SPC5P5	 SPC5P6	 SPC5P7	 SPC5P8	 SPC5P9
 SPC6P1	 SPC6P2	 SPC6P3	 SPC6P4	 SPC6P5	 SPC6P6	 SPC6P7	 SPC6P8	 SPC6P9

Nota: SP sem sombreamento ou com sombreamento parcial e CP sombreamento total.
Legenda das figuras 5.9 a 5.24

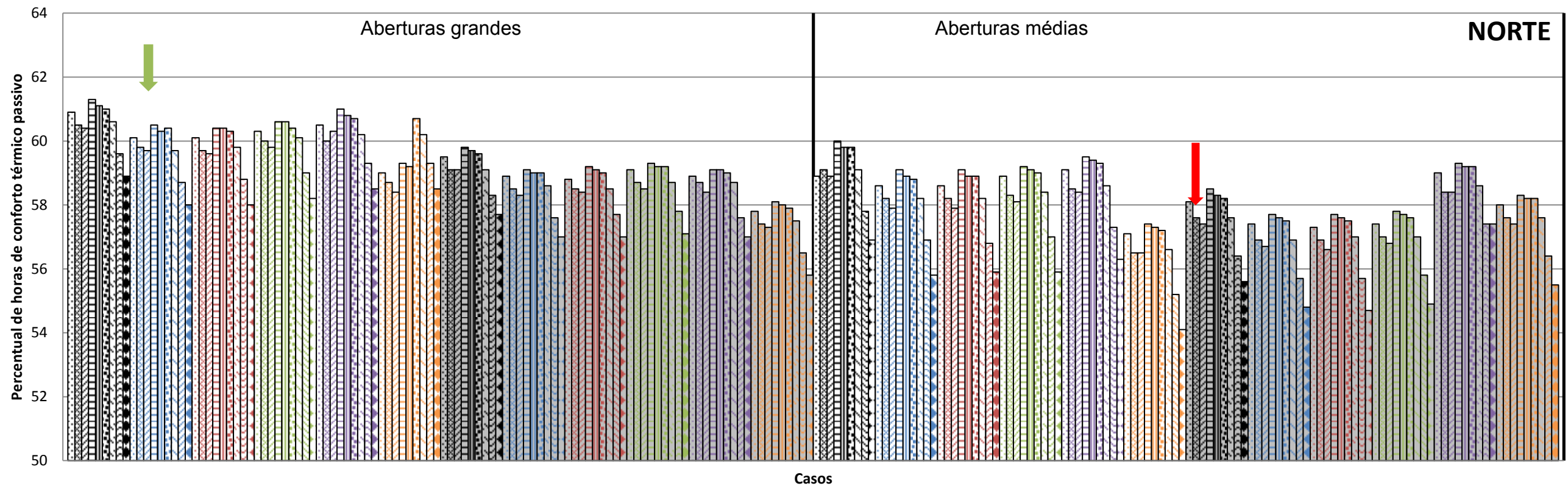


Figura 5.9 – Orientação Norte: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

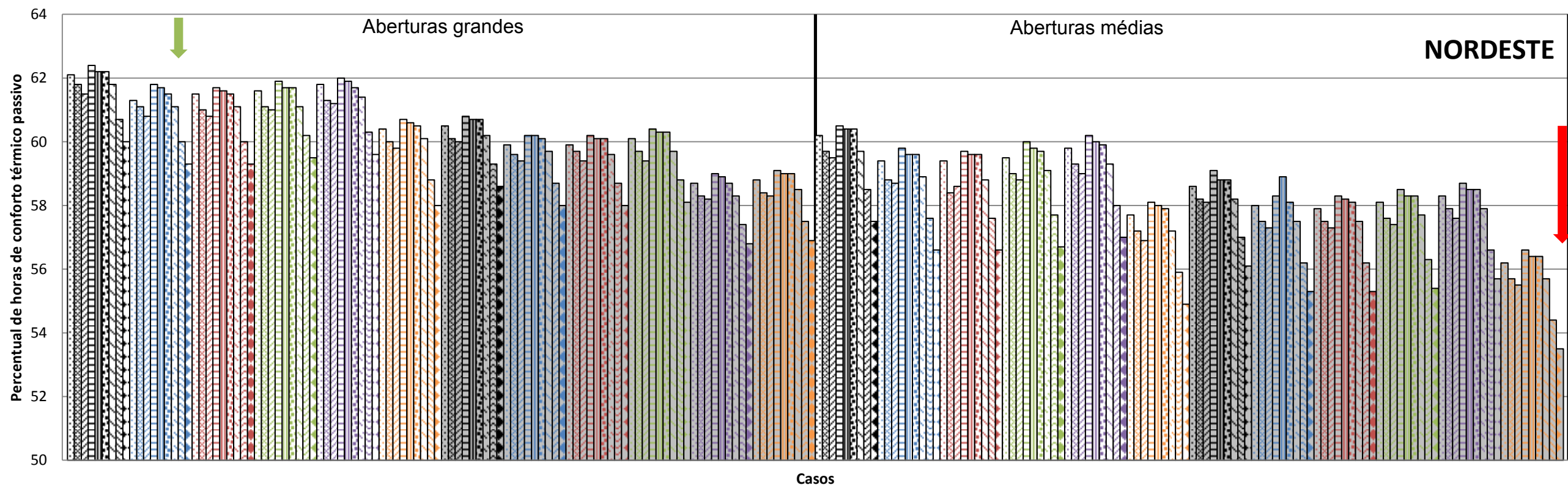


Figura 5.10 – Orientação Nordeste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

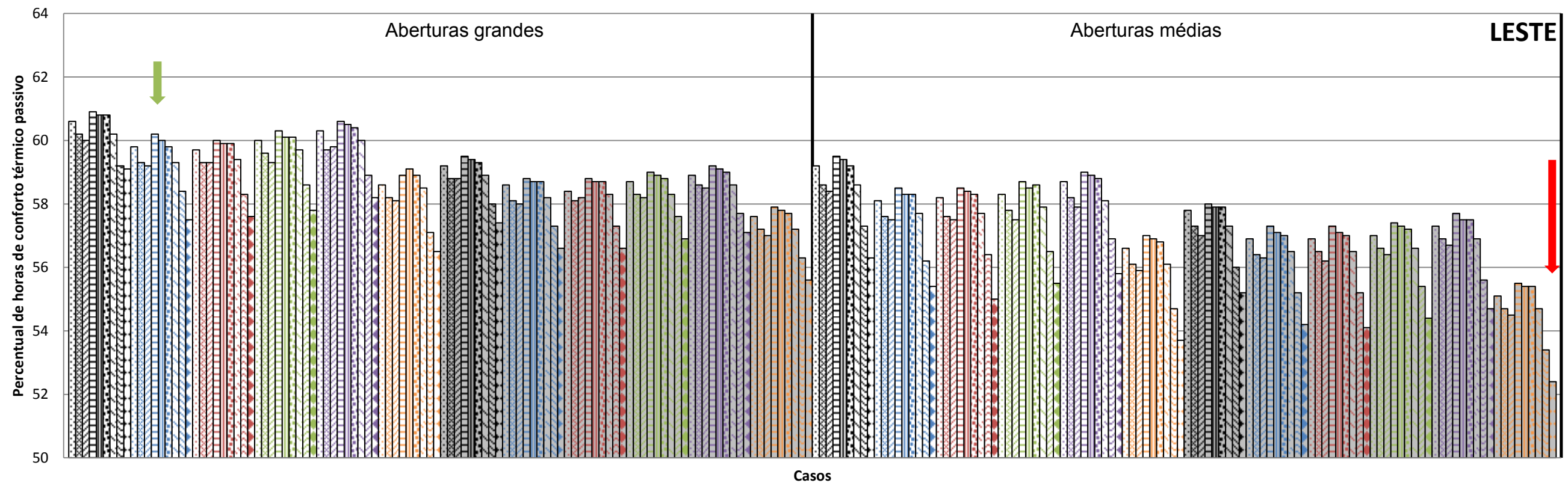


Figura 5.11 – Orientação Leste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

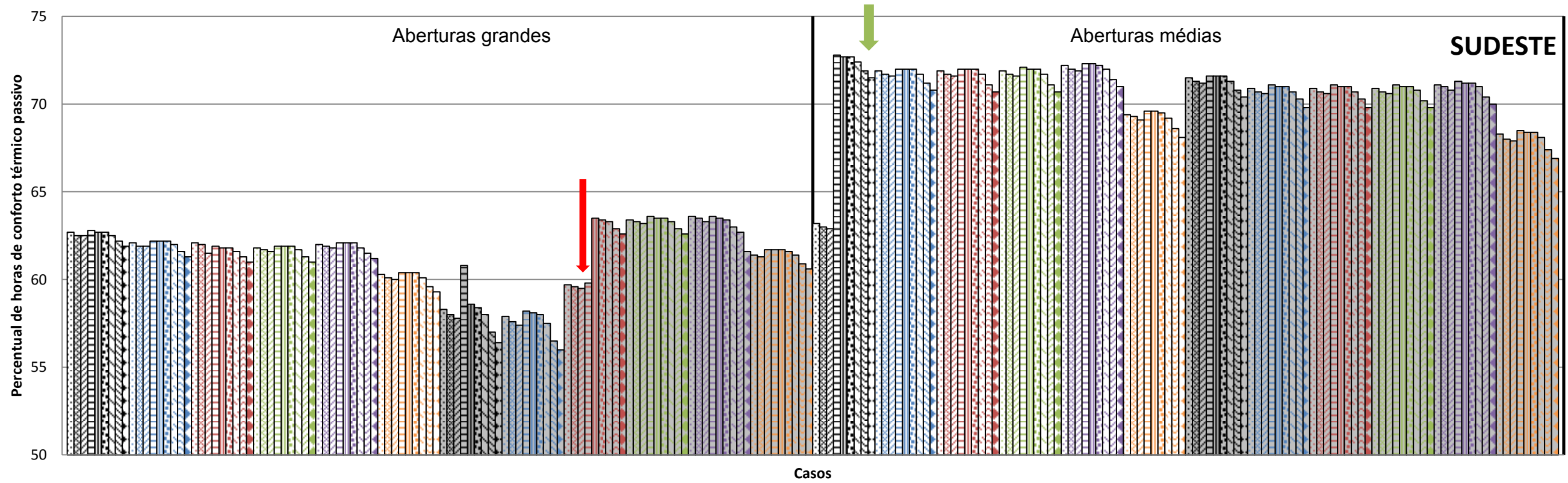


Figura 5.12 – Orientação Sudeste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

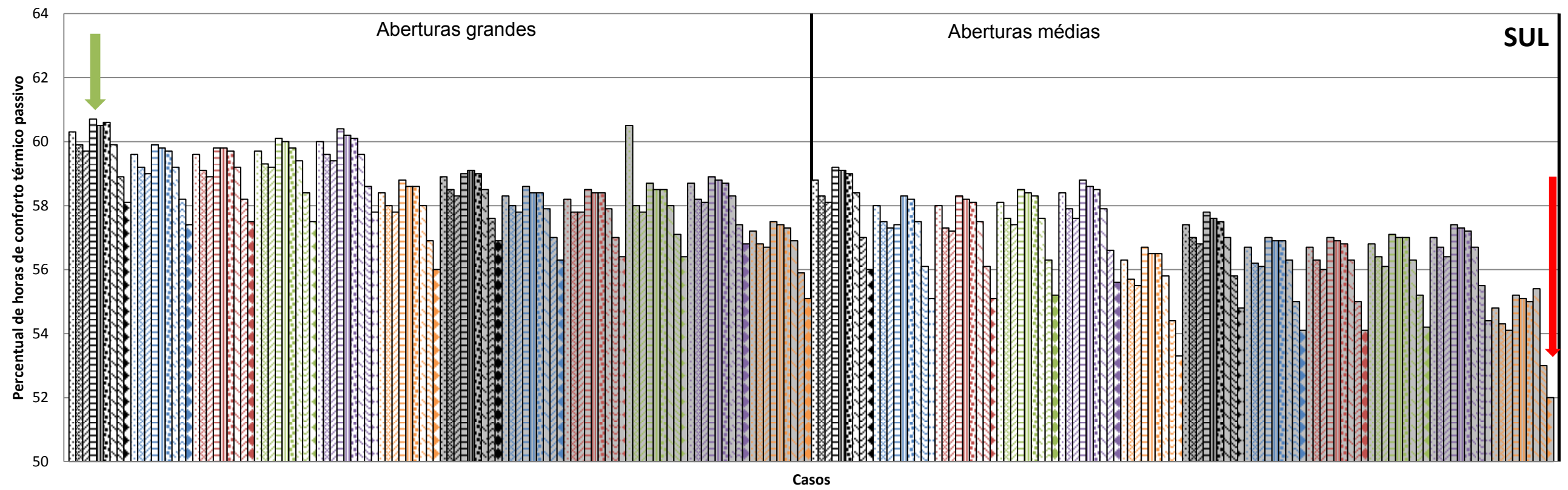


Figura 5.13 – Orientação Sul: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

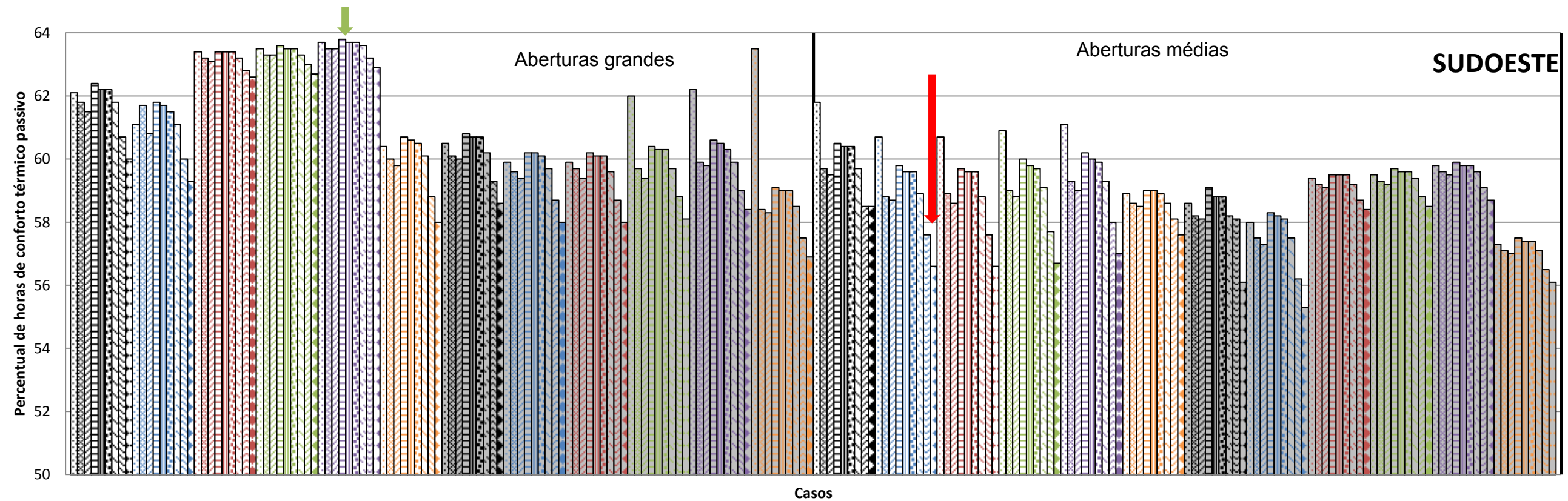


Figura 5.14 – Orientação Sudoeste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

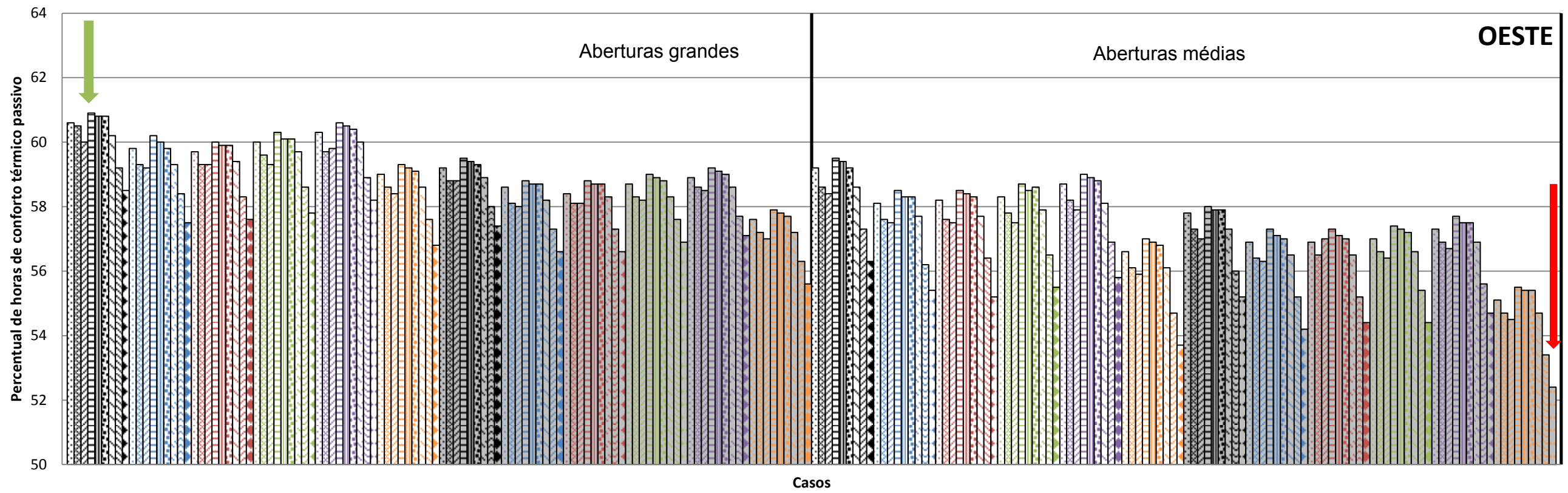


Figura 5.15 – Orientação Oeste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

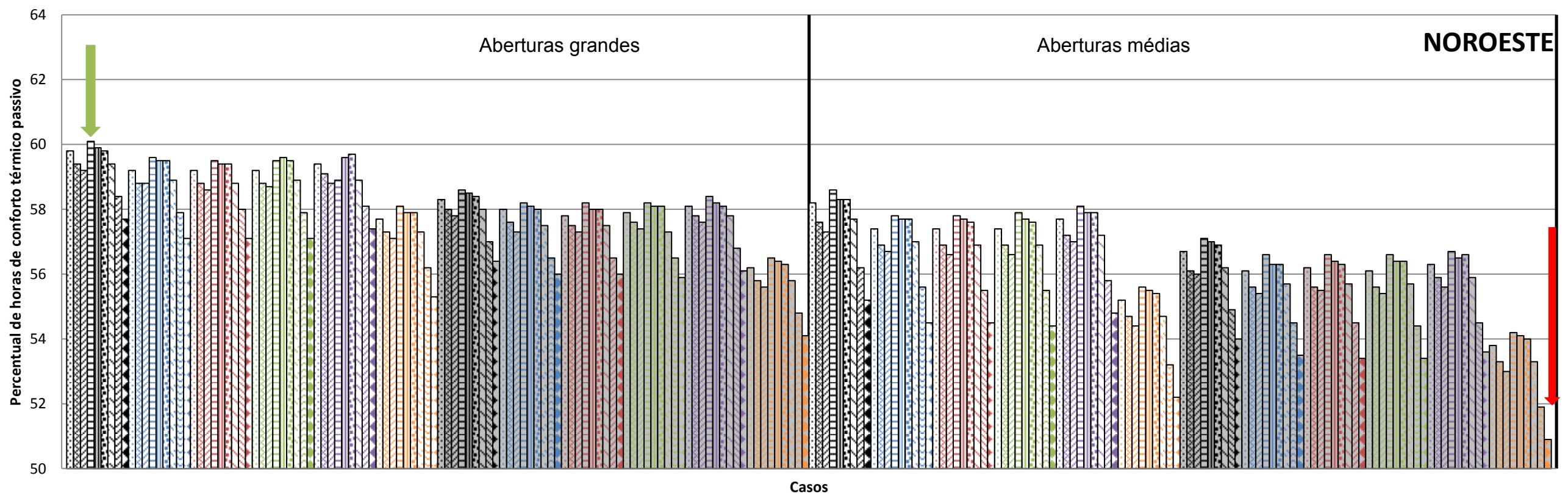


Figura 5.16 – Orientação Noroeste: Gráfico de percentual de horas de conforto
Elaborado pela autora.

Os resultados sobre o critério graus-hora para resfriamento são apresentados nas figuras 5.17 a 5.24. Como ficou evidente nos resultados referentes ao desempenho das orientações mostrados anteriormente (figuras 5.1 a 5.8), a orientação Sudeste apresentou novamente a alternativa com melhor desempenho geral, que é composta de aberturas médias com proteção solar, sistema de cobertura com laje impermeabilizada com argamassa de vermiculita e alvenaria com blocos de concreto com 9 cm de espessura. Essa mesma configuração apresentou o desempenho mais alto também para as orientações Norte, Nordeste, Leste, Sul, Oeste e Noroeste. Somente a configuração da alternativa de melhor desempenho da orientação Sudoeste possui configuração distinta. Neste caso as aberturas são grandes, sem proteção solar, com sistema de cobertura Ecotelhado e alvenaria com bloco cerâmico de 9 cm de espessura.

Observando as alternativas com piores desempenhos, constata-se que a ausência de proteção solar nas aberturas é uma constante, assim como a solução para alvenaria em bloco de concreto celular com 20 cm de espessura. O sistema de cobertura Ecotelhado está presente em sete das oito piores combinações de soluções, a exceção é a alternativa da orientação Sudeste que usa telha de fibrocimento sobre ático e laje. Nessa orientação, bem como na Norte e na Sudoeste, as configurações com desempenhos mais baixos foram as que usaram aberturas grandes. As alternativas com desempenho mais baixos nas orientações Nordeste, Leste, Sul, Oeste e Noroeste possuem aberturas médias. A faixa de variação do número de graus-hora para resfriamento é mais ampla que do critério conforto térmico, indo de 12.764,40 graus-horas para a melhor solução até 36.307,80 para a pior. As melhores soluções oscilam de 12.764,40 (orientação Sudeste) graus-horas até 25.420,00 (orientação Noroeste). Já as soluções de desempenho mais baixo variam de 33.173,10 (Sudeste) até 36.307,80 (Noroeste).

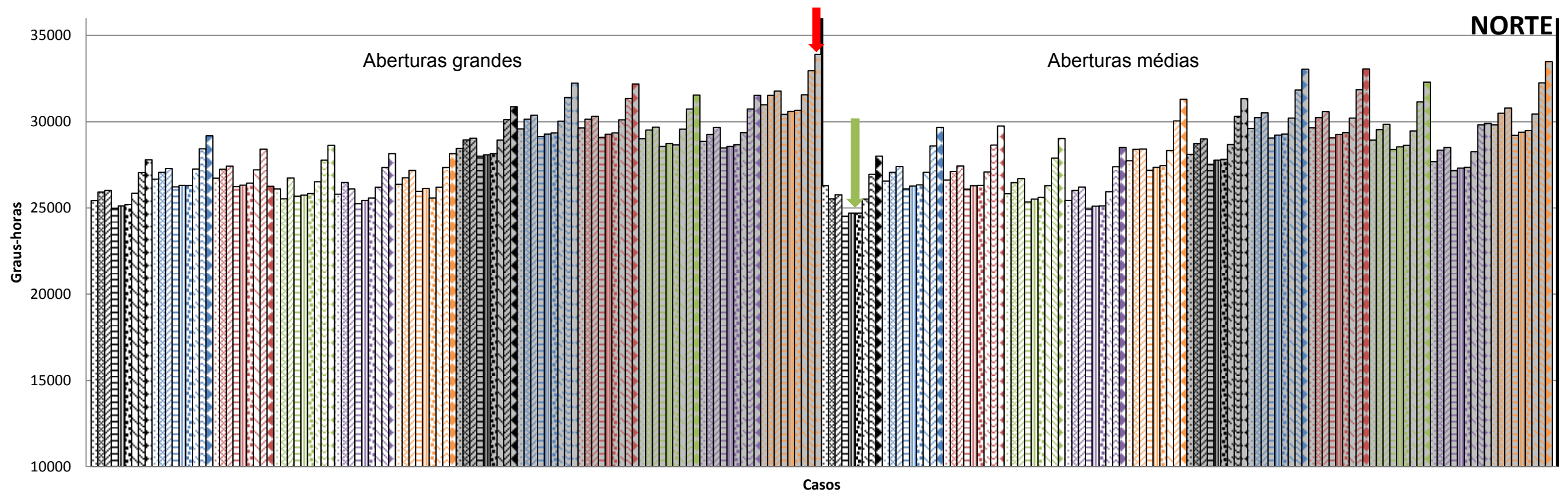


Figura 5.17 – Orientação Norte: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

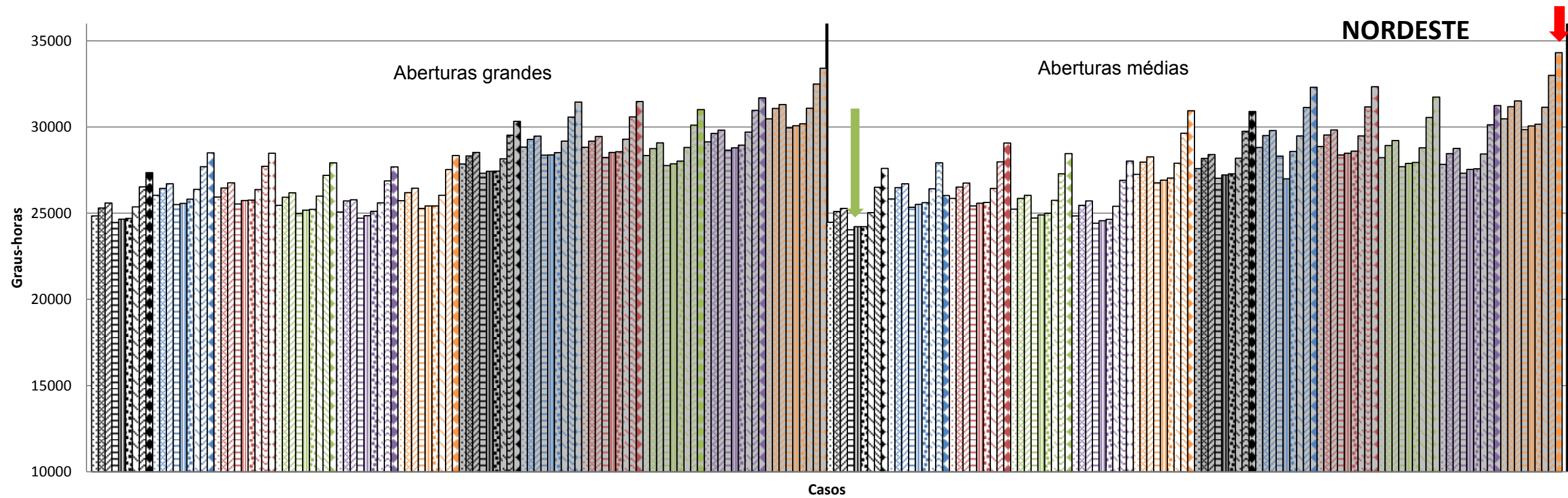


Figura 5.18 – Orientação Nordeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

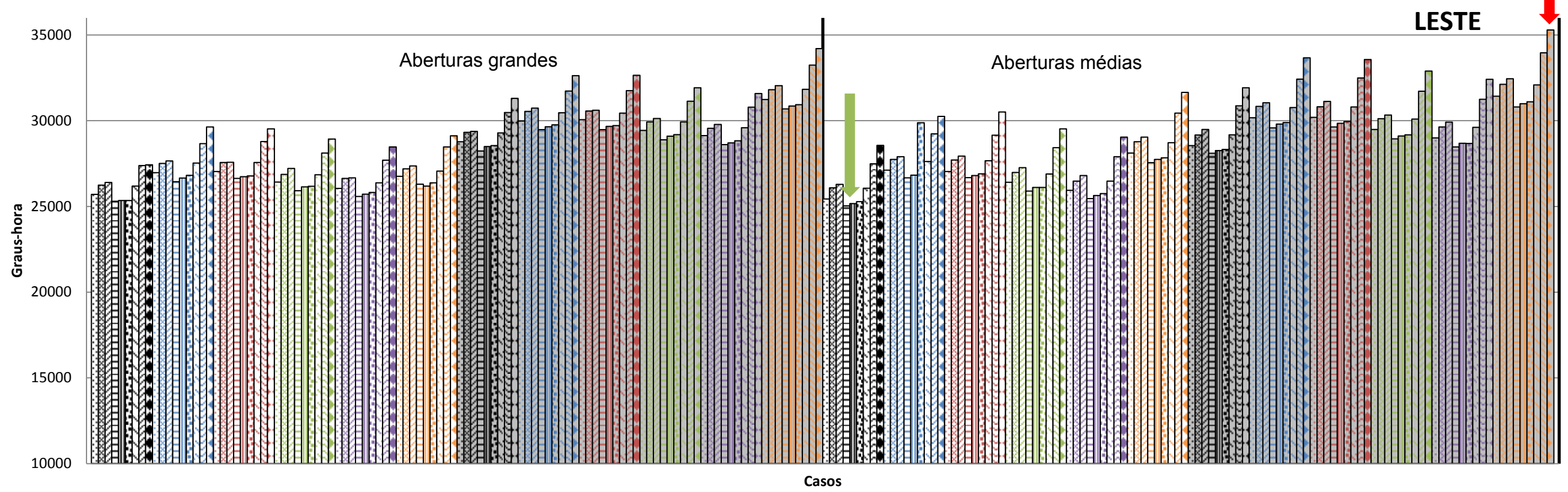


Figura 5.19 – Orientação Leste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

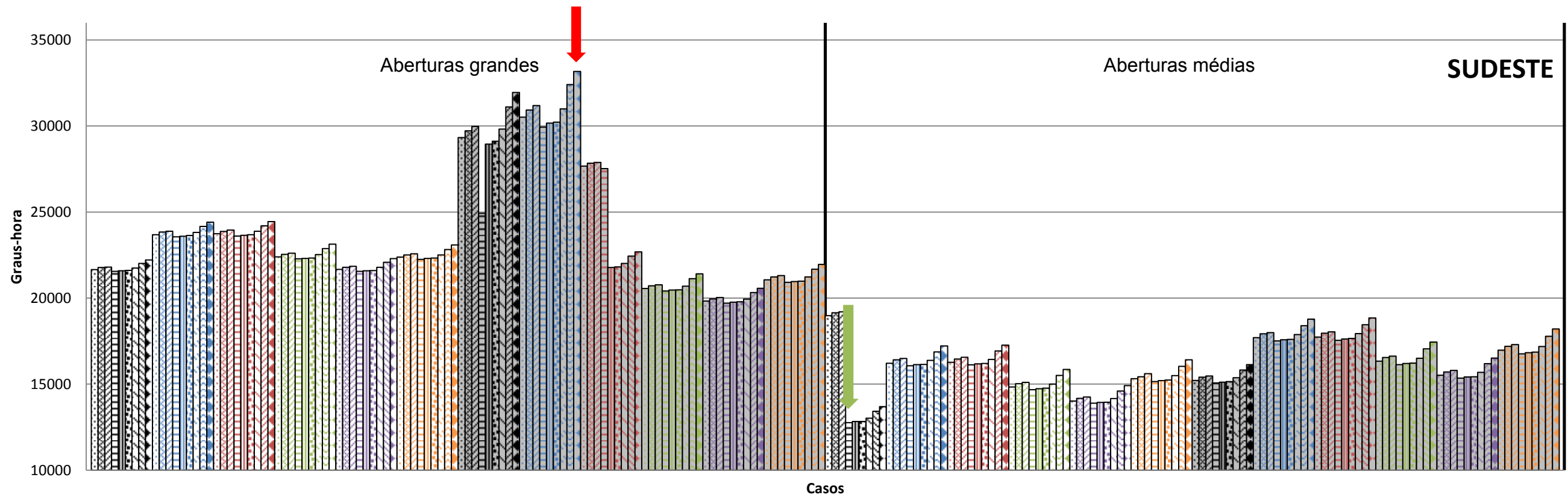


Figura 5.20 – Orientação Sudeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

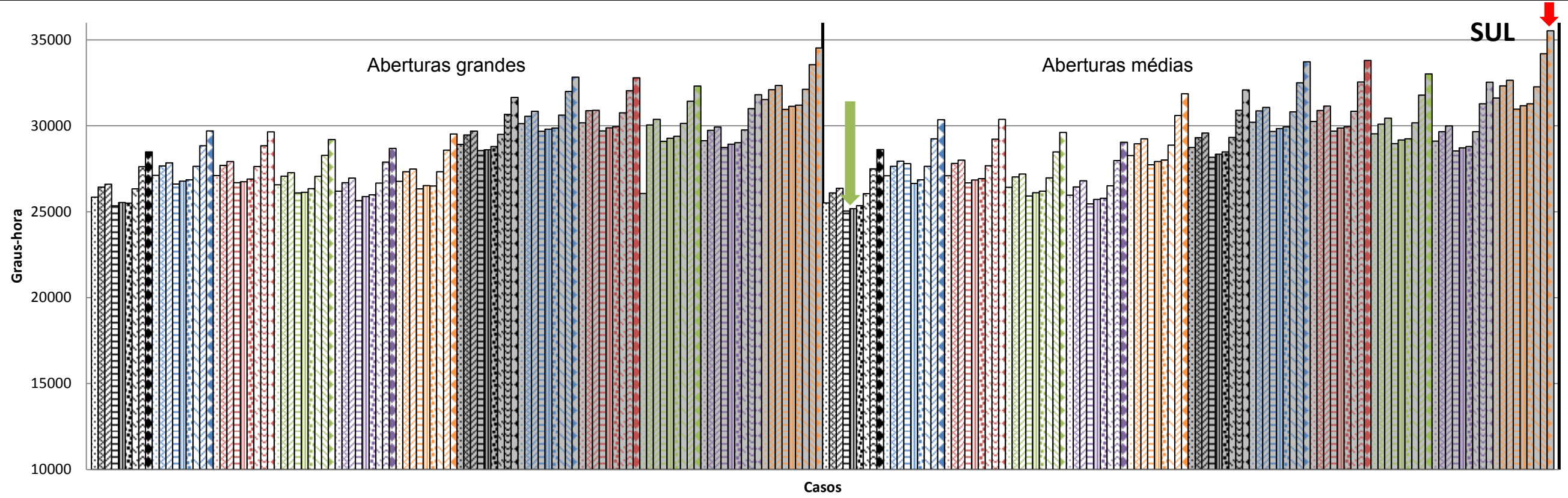


Figura 5.21 – Orientação Sul: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

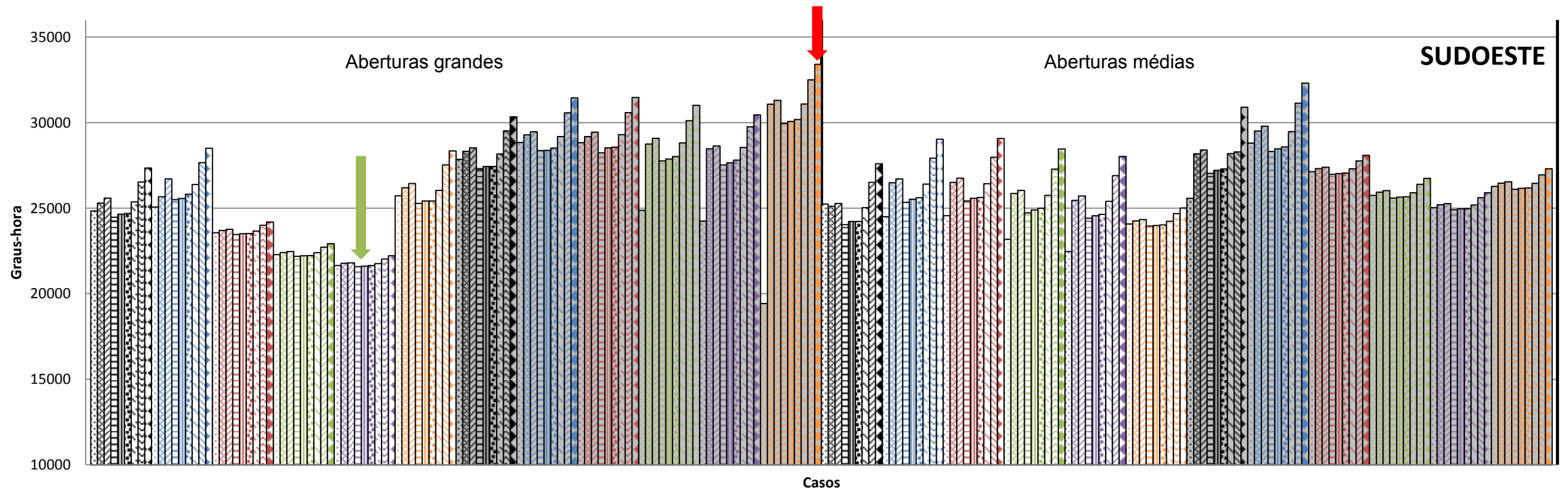


Figura 5.22 – Orientação Sudoeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

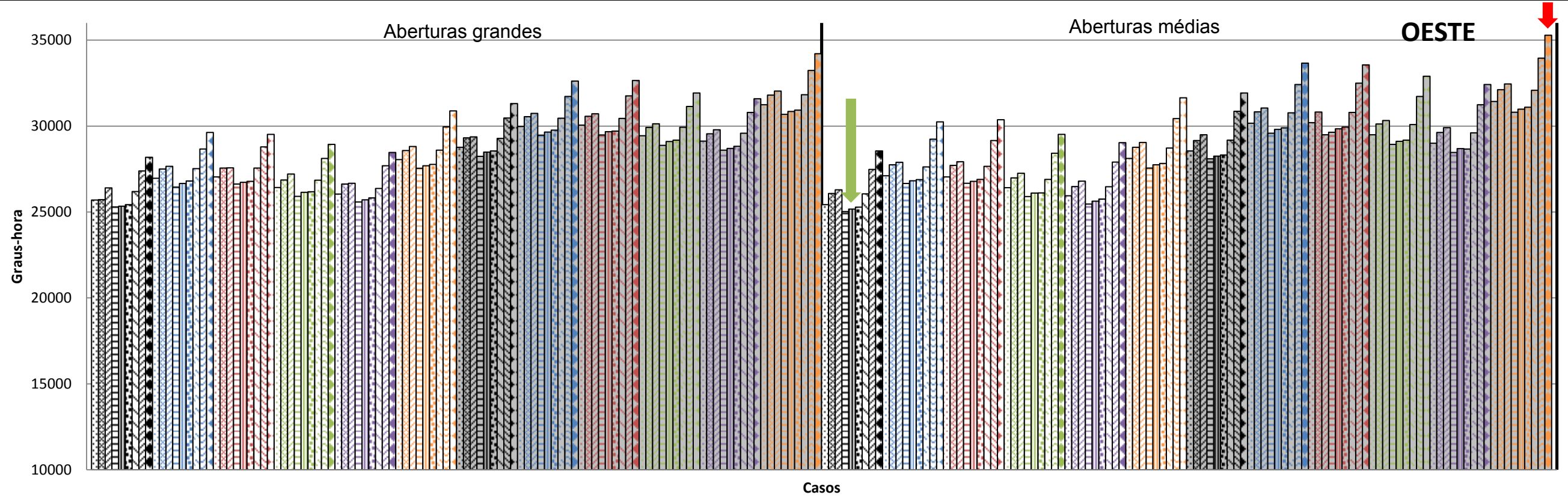


Figura 5.23 – Orientação Oeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

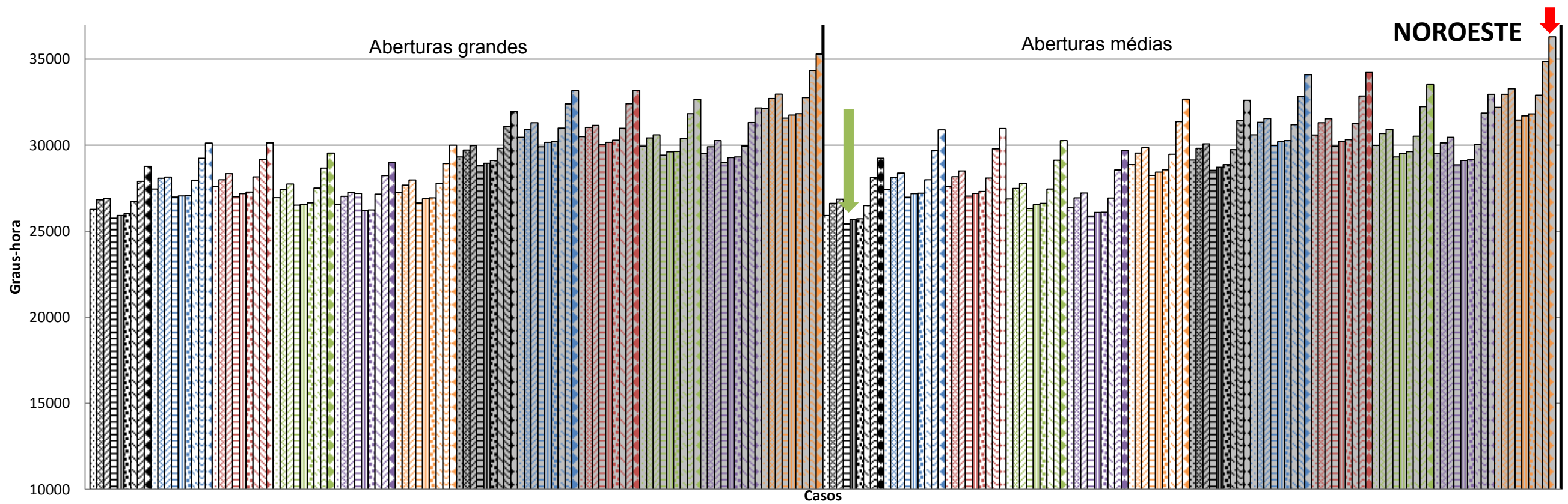


Figura 5.24 – Orientação Noroeste: Gráfico de graus-hora para resfriamento
Elaborado pela autora.

De modo geral os gráficos apresentados nas figuras anteriores destacam o desempenho da orientação do azimute do eixo da edificação a Sudeste em relação às demais. Conforme já foi citado, o arquivo climático usado possui a melhor condição de ventilação nesta orientação. Entretanto, considerando que a tipologia simulada possui quatro unidades habitacionais iguais em cada pavimento, esperava-se verificar que o eixo oposto de orientação também se privilegiasse dos benefícios da ventilação natural. Porém, verificou-se o oposto já que a orientação Noroeste apresenta o pior desempenho geral entre as orientações. Embora pareça incoerente esse fato pode ser facilmente explicado pela condição urbana selecionada para a simulação. Optou-se por considerar o sítio como zona urbana com alta densidade de ocupação, o que infere na ventilação natural das edificações. A vazão devido à ventilação na fachada voltada para o vento dominante é significativamente diferente quando essa é limítrofe à via ou a outra edificação, sendo a vazão de ar muito menor na segunda situação. Lembrando que os resultados apresentados são médias ponderadas pela área de todas as zonas de permanência prolongada das quatro unidades habitacionais do primeiro e do último (oitavo) pavimento da edificação, identifica-se que a maior exposição das maiores fachadas às direções de vento mais frequentes contribui de modo definitivo para elevação dos valores médios dos critérios em questão. Isso se deve ao fato da sala e de um quarto estarem com as aberturas voltadas para essa fachada (a maior). A área da sala é praticamente a mesma obtida com a soma das áreas dos quartos voltados para as fachadas menores, desde modo o desempenho deste ambiente tem maior relevância na constituição do valor médio utilizado.

Em relação ao tamanho das aberturas notou-se que as grandes possibilitam um melhor desempenho em 85,7% das 1728 simulações realizadas com relação ao critério de conforto térmico. Isso se deve a vazão de renovação do ar porque as aberturas maiores tendem a permitir maiores volumes de renovação do ar, melhorando assim as condições internas quando a ventilação externa for mais favorável.

Considerando o critério graus-hora de resfriamento, pode-se considerar empate entre o desempenho das aberturas grandes (49,7%) e médias (50,3%). Analisando

separadamente as aberturas com proteção solar e sem proteção solar, constata-se a persistência do empate, embora o esperado fosse observar melhor desempenho nas aberturas maiores sombreadas. Separando-as por orientação têm que as orientações de eixo azimutal Leste, Sudoeste, Oeste e Noroeste apresentaram o melhor desempenho considerando as aberturas grandes com proteção solar e as orientações Norte, Nordeste, Sudeste e Sul tiveram melhor desempenho com aberturas médias sombreadas. Excluindo a proteção solar a divisão de mantém muito semelhante à anterior, pois os melhores desempenhos das aberturas grandes foram para as orientações Leste, Sul, Oeste e Noroeste enquanto as demais tiveram melhor desempenho com aberturas médias. Novamente, uma situação de empate já que quatro orientações foram melhores com aberturas médias e as outras quatro com grandes. É interessante observar que as diferenças de graus-hora médios entre as alternativas com aberturas grandes e aberturas médias são pouco relevantes em 77,4% dos casos, correspondendo a menos de 10% do menor valor, considerando a mesma orientação, composição de materiais e condição de sombreamento. Pode-se inferir que o tamanho da abertura, neste banco de dados, não é uma variável preponderante para esse critério.

De forma geral, as simulações mostraram que as soluções com melhor desempenho atendem ao que a norma NBR15.220:2005 recomenda, ou seja, que se deve privilegiar a ventilação natural e o sombreamento das aberturas nesta zona bioclimática. É interessante observar que as soluções como bloco de vedação de concreto celular e o sistema de cobertura modular Ecotelhado são comumente anunciados como adequados para melhorar as condições térmicas das edificações. Porém, neste trabalho, foram estas as soluções que, no geral, apresentaram os desempenhos menos satisfatórios. Esse fato evidencia que se deve analisar a adequação das soluções para cada tipo de clima e tipologia, reforçando o quanto a ferramenta desenvolvida pode contribuir na tomada de decisão sobre as envoltórias das edificações, evitando especificações equívocas que inclusive tendem a elevar o custo final das edificações.

É necessário chamar atenção para o desempenho das soluções que usam cobertura com barreira radiante (Cobertura tipo três - C3), a simulação mostrou a contribuição dessa solução como forma de reduzir o fluxo de calor nas coberturas, sendo

irrelevante o impacto nos demais pavimentos. De modo geral, o papel do desempenho da cobertura de edificações altas é minimizado. Nesta pesquisa optou-se por usar um valor médio obtido a partir da média dos valores do primeiro pavimento e o pavimento de cobertura para reproduzir a realidade, onde as soluções de cobertura tem impacto significativo sobre o último pavimento e pouca repercussão sobre os demais.

Finalmente, é preciso salientar que as faixas de variação dos resultados para os dois critérios que tratam do desempenho termoenergético de envoltórias são muito estreitas, como mostraram as figuras 5.1 a 5.24.

5.2. Aplicação do programa

O objetivo principal desta pesquisa foi, como apresentado no capítulo 1, o desenvolvimento de um procedimento e de um *software* para auxílio à decisão nas fases iniciais de projetos considerando múltiplos critérios referentes ao desempenho energético das envoltórias e dos sistemas de aquecimento de água para banho e seus respectivos custos. No capítulo anterior foi descrito o procedimento para a avaliação multicritério e o desenvolvimento da ferramenta. Neste momento é necessário apresentar a ferramenta desenvolvida, o *software* RESIDE. Com base no procedimento experimental realizado e a concepção da ferramenta computacional, é esperado que em certa medida estes possam ser replicados em outras pesquisas de edificações em locais com climas que não demandam aquecimento artificial ambiental ao longo do ano, portanto, de acordo com o zoneamento bioclimático da NBR15.220:2005 (ANBT, 2005) na grande maioria dos municípios brasileiros. Além disso, o programa tem capacidade para analisar outros bancos de dados elaborados para as mais diversas tipologias construtivas. Vale lembrar que o banco de dados desenvolvido possui 36.288 alternativas construtivas oriundas das combinações dos itens mostrados no quadro 5.1.

Antes de tratar da aplicação do *software* RESIDE é interessante mostrar como se dá a integração deste às demais atividades do projeto. Como já foi citado, o esperado é que o RESIDE seja incorporado as avaliações na fase de Desenvolvimento do Produto. O ideal é que a incorporação do RESIDE ao conjunto de ferramentas de

avaliação desta etapa seja acompanhada pela inclusão de um profissional capacitado para lidar com o tema na equipe de decisão. A relevância deste profissional não está associada à complexidade de uso do software, pois este é de uso muito simples, como será visto adiante. O especialista em desempenho termoenergético de edificações tem o papel de trabalhar no desenvolvimento do conceito energético do empreendimento. O RESIDE é uma das ferramentas que poderá auxiliá-lo.

Quadro 5.1- Resumo de itens do banco de dados

Proteção Solar	Tamanho das Aberturas	Soluções de Cobertura	Soluções de Alvenaria	Solução de Aquecimento de Água	Orientações	
Total Inexistente ou Parcial	Pequena	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1	Norte	
	Média	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Nordeste	
		Grande	Tipo 3	Tipo 3	Tipo 3	Leste
	Tipo 4		Tipo 4	Tipo 4	Sudeste	
	Tipo 5		Tipo 5	Tipo 5	Sul	
	Tipo 6		Tipo 6	Tipo 6	Tipo 6	Sudoeste
			Tipo 7	Tipo 7	Tipo 7	Oeste
	Tipo 8		Tipo 8	Tipo 8	Noroeste	
	Tipo 9		Tipo 9	Tipo 9		
	Tipo 10			Tipo 10		
	Tipo 11		Tipo 11			
	Tipo 12		Tipo 12			
	Tipo 13		Tipo 13			
	Tipo 14		Tipo 14			

Nota: As alternativas com abertura pequenas tiveram seus valores igualados a zero porque a legislação municipal exige aberturas maiores, conforme já explicado anteriormente.

Para empregar o RESIDE numa situação real é necessário haver um banco de dados representativo para aquela conjuntura em análise. A responsabilidade pela elaboração do banco de dados, caso ele não exista, ou pela seleção de um banco de dados existente deve ser do especialista em desempenho termoenergético de edificações. É importante que ele tenha conhecimento de todas as condicionantes envolvidas para fazer a melhor escolha, por isso é relevante a presença deste profissional desde o início do desenvolvimento do projeto de um empreendimento.

Havendo a necessidade de elaboração de um banco de dados específico para uma análise, deve-se considerar um prazo de aproximadamente 45 dias para conclusão desta tarefa. Após a finalização da elaboração do banco de dados ou caso exista um banco de dados adequado, a utilização do RESIDE é imediata. Pode, inclusive, ser feita durante reuniões.

Passando à aplicação e às funcionalidades do RESIDE foram criadas oito situações de análise⁴² capazes de exemplificar as funcionalidades do *software* e os tipos de variações de análises possíveis como mudanças do número de alternativas construtivas, dos materiais selecionados, dos tipos de aberturas e sistemas de aquecimento, etc.. A seguir, no quadro 5.2, são descritas as situações analisadas.

Quadro 5.2- Características das situações analisadas

Situação	Descrição
01	Todas as (oito) orientações consideradas com aberturas médias sem proteção solar , alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento solar multifamiliar. Acompanhado dos casos de referência (oito). Total de 16 alternativas.
02	Idem à configuração da situação 01, exceto pelos pesos dos critérios, todos agora considerados iguais a 1. Total de 16 alternativas.
03	Todas as (oito) orientações com aberturas médias com proteção solar , alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento solar multifamiliar. Acompanhado dos casos de referência (oito). Total de 16 alternativas.
04	Orientação Norte, com aberturas médias sem proteção solar , alvenaria cerâmica de 9 cm, sistema de aquecimento de água GN de passagem, seis variações das soluções de cobertura, incluindo caso de referência. Total de 6 alternativas.
05	Orientação Norte, com aberturas médias com e sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, sistema de aquecimento de água GN de passagem, seis variações das soluções de cobertura, incluindo caso de referência. Total de 12 alternativas.
06	Orientações Leste, Sudoeste e Noroeste; aberturas médias e grandes com e sem proteção solar; alvenaria cerâmica de 9 cm; cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento com bomba de calor,. Acompanhado dos casos de referência (três). Total de 15 alternativas.
07	Orientações Sudeste, aberturas médias sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e 14 variações dos sistemas de aquecimento de água, incluindo caso de referência. Total de 14 alternativas.

⁴² Veja no apêndice 8.3 a configuração completa de cada uma das situações de análise.

08	Orientação Nordeste e Leste; aberturas médias e grandes com e sem proteção solar; alvenaria com três opções (bloco cerâmico de 9 cm, bloco de concreto de 9 cm e bloco de concreto celular de 10 cm); cobertura com duas opções (fibrocimento e termotelha); e três opções de aquecimento de água (solar multifamiliar, bomba de calor multifamiliar e gás natural de passagem unifamiliar). Acompanhado dos casos de referência. Total de 144 alternativas.
----	--

A primeira situação mostra 16 alternativas, em que foram consideradas as orientações das fachadas e o sistema de aquecimento. No *ranking* mostrado na figura 5.25 a alternativa de melhor desempenho foi aquela dotada de um sistema de aquecimento de água solar e com orientação Sudeste do eixo principal da edificação, correspondente à alternativa A4. Lembrando que denominação A4 nos *rankings* indica a Opção 4 na tela do RESIDE e o mesmo se aplica às demais opções. Na segunda posição está a alternativa A12, que possui a mesma orientação da alternativa A4 e sistema de aquecimento de água a gás. Pode-se observar que o critério que pesou nesta decisão foi o critério Cr4 referente ao incentivo do governo para as soluções de aquecimento de água. Esse critério tem peso 3 e a alternativa A4 tem melhor desempenho em relação a ele do que a alternativa A12. Em relação ao critério Cr5 (Grau de complexidade do sistema de aquecimento de água) o desempenho das alternativas A4 e A12 se inverte.

Para avaliar a estabilidade deste *ranking* é interessante realizar a análise de sensibilidade. Lembrando que o objetivo desta análise, que acontece posteriormente ao estabelecimento do *ranking*, é verificar a estabilidade desse e a sensibilidade das alternativas frente ao(s) peso(s) do(s) critério(s). Para isso o usuário deve ativar a caixa da análise de sensibilidade, selecionar o(s) critério(s) de interesse e definir um Índice de Variação do peso do(s) critério(s) selecionado(s). Na figura 5.25 percebe-se a seleção do Cr5 e a definição do Índice de Variação igual a um. Deste modo, o Cr5 passa a ter peso 3, como o Cr3 e Cr4. O novo *ranking* mostra que ocorreu um empate na primeira posição. A análise de sensibilidade provocou também mudanças significativas nas classificações de outras alternativas. Conferindo o mesmo peso aos critérios Cr3, Cr4 e Cr5, a menor complexidade do sistema de aquecimento

unifamiliar a gás de passagem leva à valorização do desempenho das alternativas que possuem esse sistema.

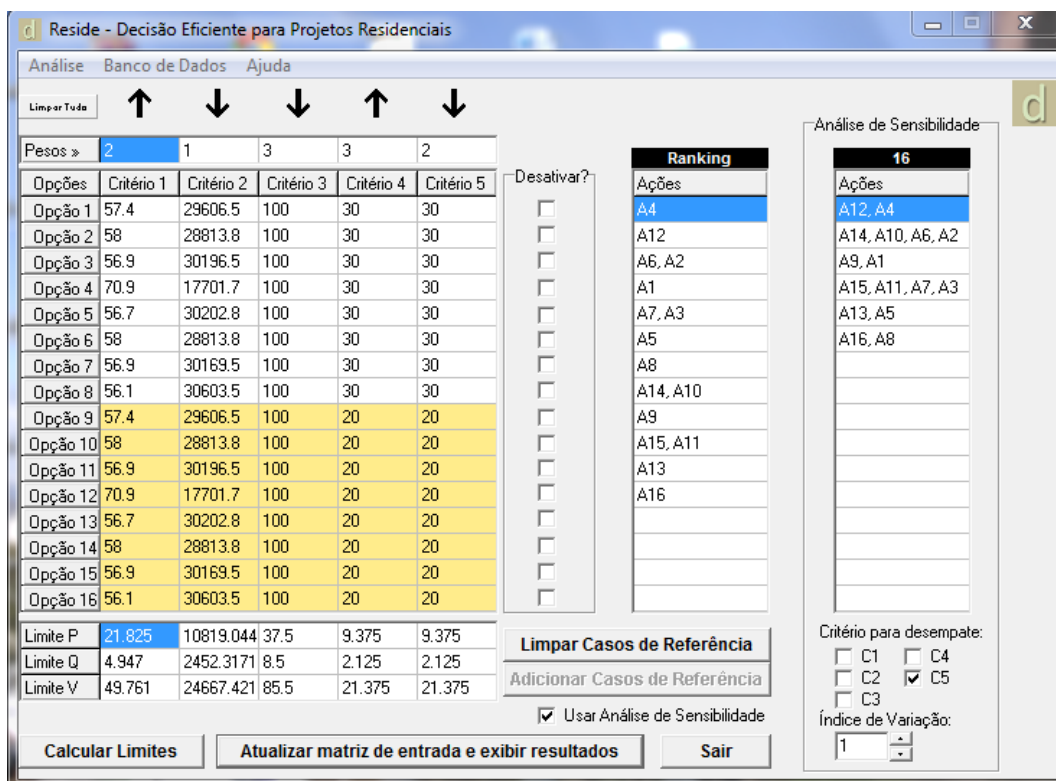


Figura 5.25 – Situação de análise 1
Elaborado pela autora.

A figura seguinte, 5.26, mostra a mesma análise, porém com todos os pesos iguais a 1. Observa-se que nesta situação, o *ranking* é exatamente o mesmo daquele obtido na **análise de sensibilidade** da figura 5.25. Essa análise permite mostrar que (i) a interferência dos pesos definidos é significativa e (ii) que os critérios Cr1 (conforto higrotérmico passivo) e Cr2 (graus-horas para resfriamento), mesmo apresentando valor igual aos demais não são capazes de provocar alterações no *ranking*, o que é uma consequência do limite de preferência e indiferença, conforme foi explicado no capítulo de metodologia. Vale ressaltar que esses limites podem ser editados pelo usuário.

Realizando a mesma análise, incluindo, porém, a proteção solar nas aberturas, o *ranking* da figura 5.27 apresenta praticamente a mesma configuração daquele da figura 5.25, onde não há proteção solar nas aberturas. Verifica-se que, neste caso, a **análise de sensibilidade** apresentou resultados bem distintos da anterior.

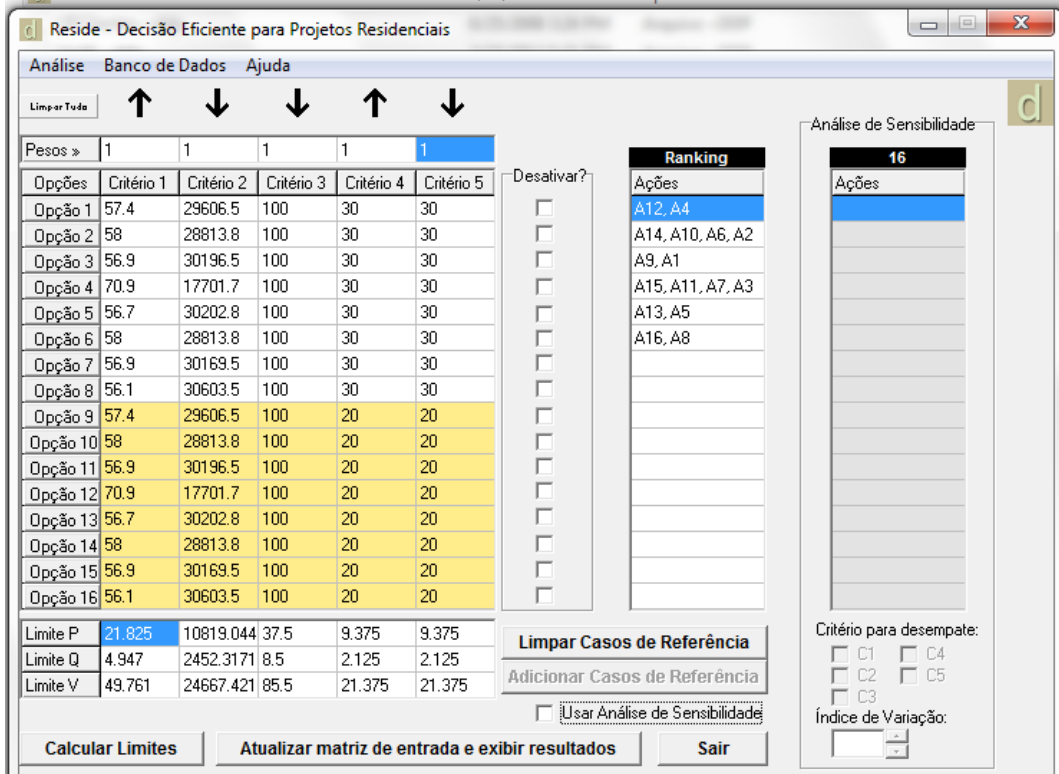


Figura 5.26 – Situação de análise 2
Elaborado pela autora.

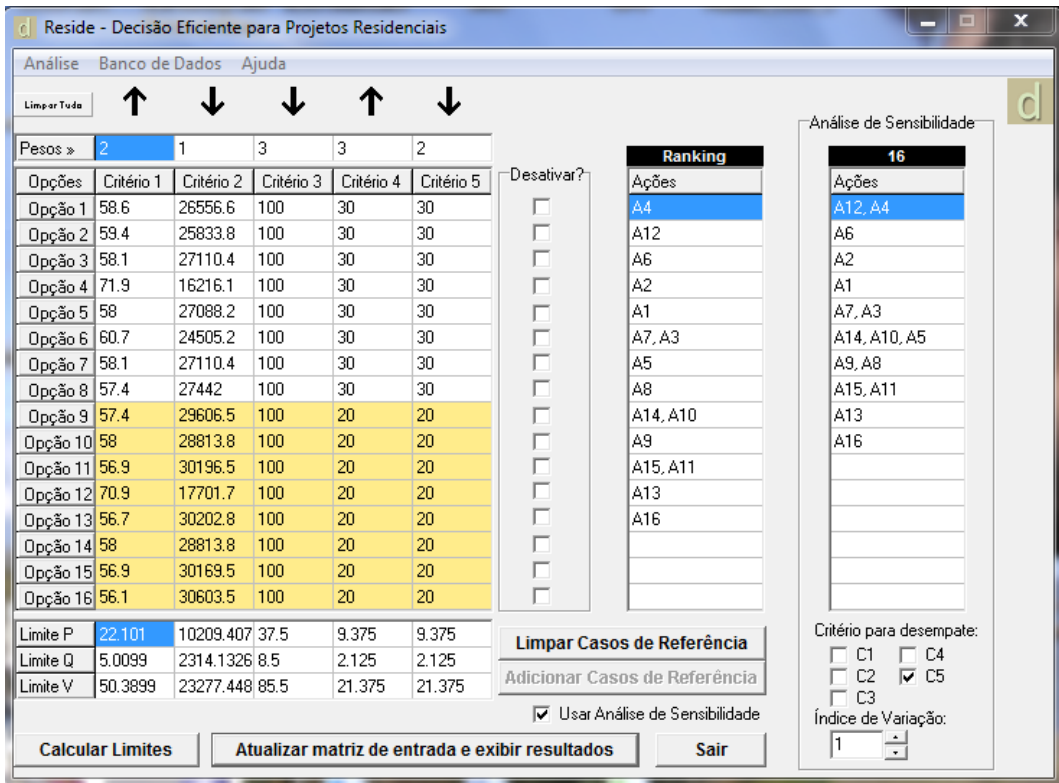


Figura 5.27 – Situação de análise 3
Elaborado pela autora.

Apesar de a primeira posição ter se mantido igual às das figuras 5.26 e 5.25, nesta análise de sensibilidade não ocorreram tantos empates, tampouco mudanças significativas de posição. Isso porque houve uma ampliação da faixa de valores para avaliação dos critérios Cr1 (conforto higrotérmico passivo) e Cr2 (graus-horas pra resfriamento) por causa da presença da proteção solar em oito alternativas, o que alterou as interações entre critérios, pesos e limites de preferência e indiferença.

A quarta situação de análise foca na variação das soluções de cobertura para uma mesma orientação (Norte), com intenção de identificar aquela mais adequada considerando o sistema de aquecimento de água padrão e aberturas médias sem proteção solar. Seis alternativas foram avaliadas e, após a análise, duas mostraram desempenho equivalente empatando na primeira posição, como mostra a figura 5.28. Observando os critérios isoladamente, constata-se que as alternativas A6(cobertura de fibrocimento) e A2(fibrocimento com barreira radiante) têm desempenhos muito semelhantes.

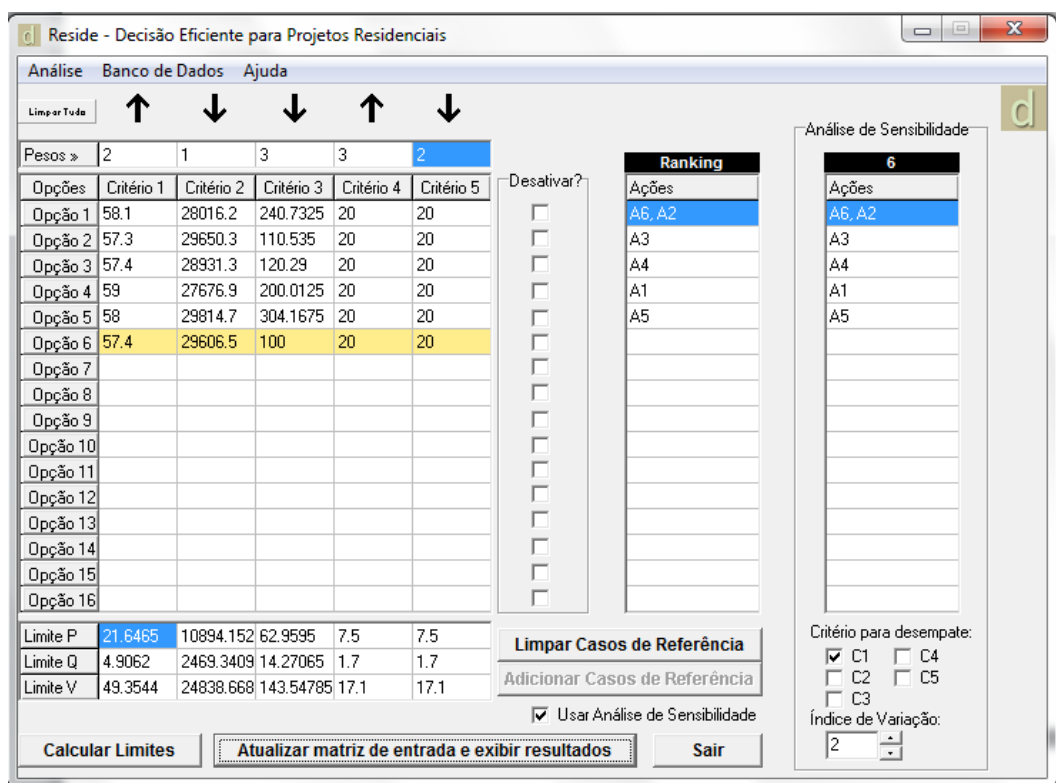


Figura 5.28 – Situação de análise 4
Elaborado pela autora.

Os resultados dos critérios Cr1 e Cr2 mostram A6 e A2 entre os piores desempenhos se comparados às demais alternativas. Porém, possuem os melhores

desempenhos em relação ao critério Cr3 (variação do custo da envoltória). Além disso, percebe-se ligeira vantagem da solução A6 sobre A2, o que não foi suficiente para desempatar usando a metodologia ELECTRE-III. Essa situação de análise oferece uma boa oportunidade para discutir a não-compensação de desempenho dos critérios, uma das características do método. Analisando os critérios isoladamente percebe-se que os valores do critério Cr3 (peso 3) das duas alternativas que ocupam a primeira posição do *ranking* (A2 e A6) são os melhores, enquanto nota-se o oposto em relação aos critérios Cr1 e Cr2. Isso não significa que o desempenho satisfatório no critério Cr3 está compensando o desempenho baixo nos critérios Cr1 e Cr2. Embora os desempenhos desses critérios Cr1 e Cr2 estejam entre os piores deve-se observar que os limites de indiferença (Q) dos critérios Cr1 e Cr2 são superiores a diferença entre os valores atribuídos a esses critérios. Desde modo, a avaliação dos valores dos critérios Cr1 e Cr2 mostrou que há incomparabilidade entre as alternativas. Pode-se dizer que nestas condições houve empate no desempenho de todas as alternativas a partir dos critérios Cr1 e Cr2. A análise de sensibilidade reforça a afirmativa anterior, pois mesmo atribuindo maior peso ao critério 1, o *ranking* não apresentou nenhuma alteração de posição.

O mesmo tipo de comportamento ocorre na análise seguinte, em que as alternativas analisadas variam os sistemas de cobertura e a presença ou não de sombreamento nas aberturas. O ranking da figura 5.29 mostra que as soluções A7 (com proteção solar e cobertura de fibrocimento) e A8 (com proteção solar e cobertura de fibrocimento com barreira radiante) são as melhores entre as 12 alternativas analisadas. Observando os valores atribuídos a cada critério e os limites de preferência (P) e indiferença (Q) percebe-se que essa classificação foi estabelecida principalmente por causa do critério Cr3. Novamente a análise de sensibilidade confirma a robustez do ranking, especialmente, em relação às alternativas mais bem classificadas. Porém é interessante observar que ao estabelecer pesos iguais aos critérios Cr2 e Cr3 ocorre uma mudança de classificação da alternativa A2 (sem proteção solar e cobertura de fibrocimento), que caiu duas posições no ranking. Isso ilustra a ausência de compensação do desempenho de um critério sobre outro na mesma alternativa e reforça o papel do peso dos critérios.

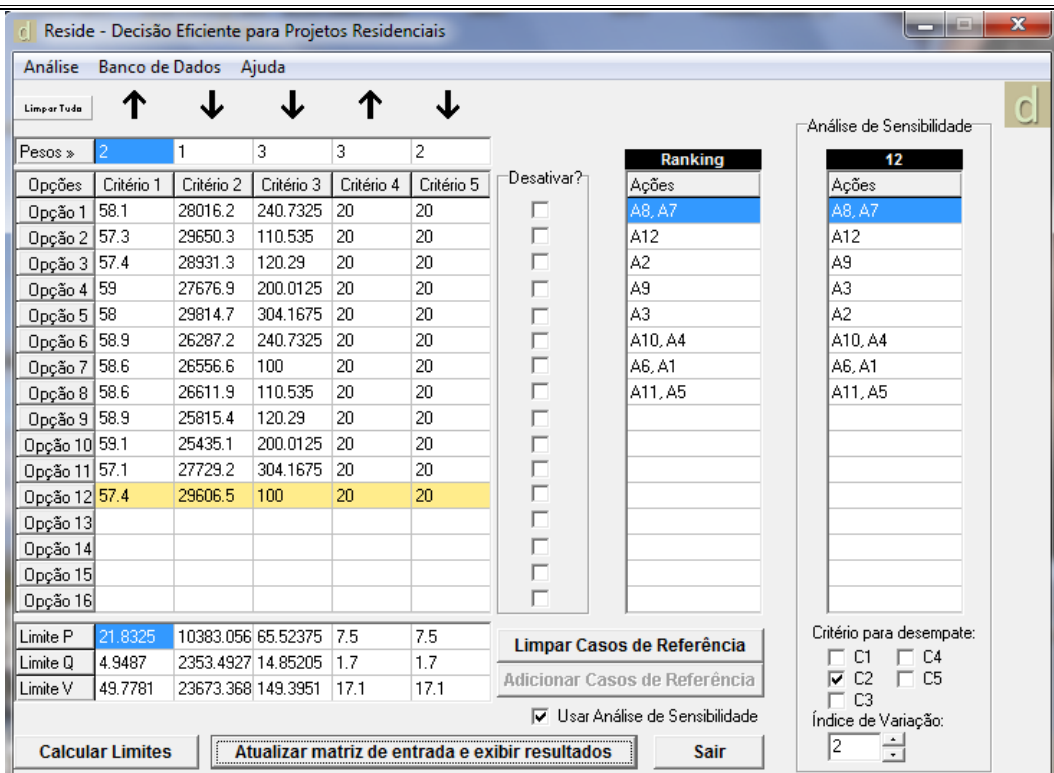


Figura 5.29 – Situação de análise 5
Elaborado pela autora.

Retirar o impacto do custo e destacar o papel do tamanho e do sombreamento das aberturas é o objetivo da análise mostrada na figura 5.30. Nessa situação são comparadas para três orientações diferentes janelas médias e grandes com e sem sombreamento. As duas alternativas que ocupam a primeira posição do *ranking* são da orientação Sudoeste, possuem proteção solar nas aberturas que têm tamanho médio (A6) e grande (A8). Ficou evidente o melhor desempenho das janelas com sombreamento e o pior desempenho da orientação Noroeste em relação às demais. A análise de sensibilidade mostrou um *ranking* robusto, que não apresentou nenhuma alteração quando os pesos dos critérios Cr1 e Cr2 estavam iguais.

A análise seguinte foca no desempenho dos sistemas de aquecimento de água para banho, como mostra a figura 5.31. Foram mantidos fixos todos os demais parâmetros de avaliação variando exclusivamente o sistema de aquecimento de água. O ranking mostra a solução usando bomba de calor para atendimento multifamiliar na primeira posição do ranking, seguida pelos sistemas uni e multifamiliar solar.

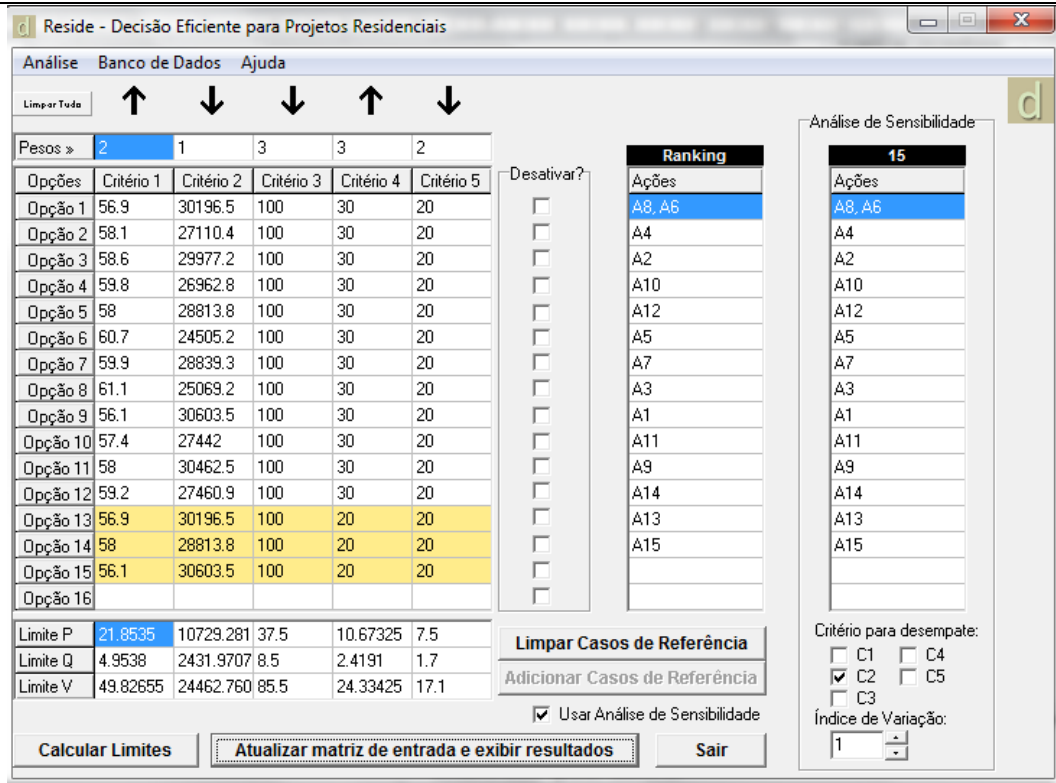


Figura 5.30 – Situação de análise 6
Elaborado pela autora.

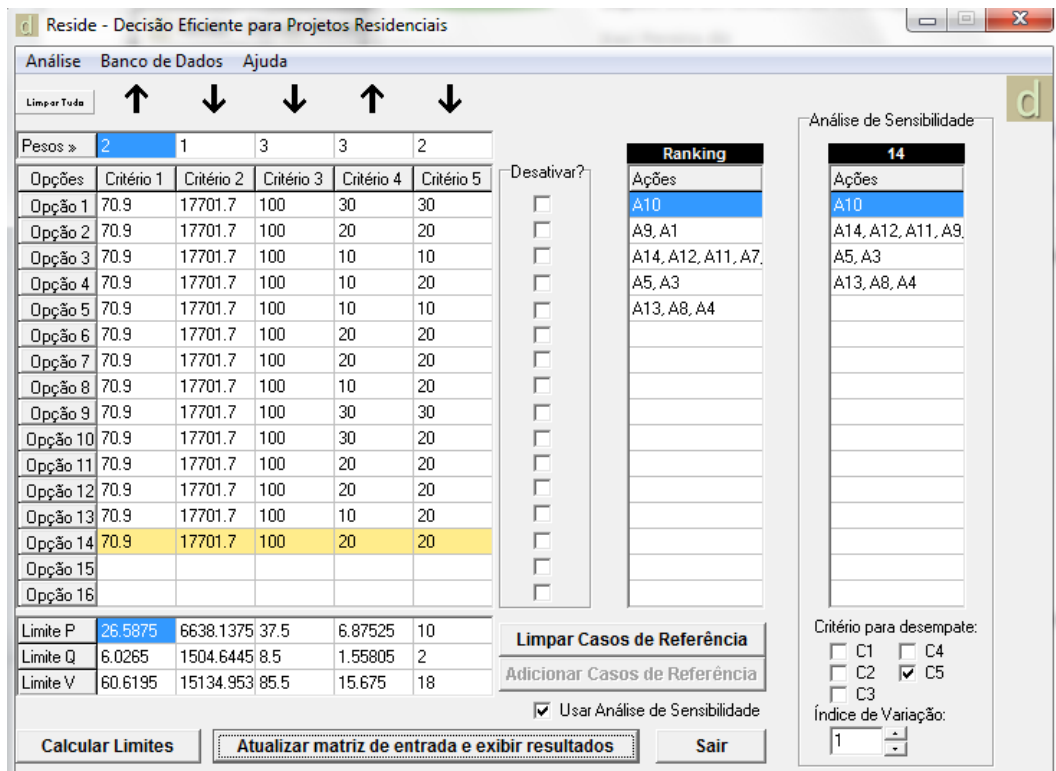


Figura 5.31 – Situação de análise 7
Elaborado pela autora.

Utilizando a análise de sensibilidade para igualar o peso do critério Cr4 ao Cr5, nota-se a manutenção da primeira posição e um empate na segunda posição. Esse empate ocorreu porque, com o peso dos critérios iguais, as soluções que usam fonte de energia a gás se tornaram tão competitivas como as que usam o sol. Isso porque a infraestrutura completa dos sistemas solares é mais complexa que a dos sistemas a gás, já que os sistemas solares demandam outro sistema de aquecimento como backup. Os valores dos limites P, Q e V para os critérios Cr4 e Cr5 deixam claro que a quantificação do incentivo governamental aos sistemas de aquecimento de água e o grau de complexidade do sistema permite o estabelecimento de forte preferência e até de veto.

Para finalizar a apresentação da aplicação do RESIDE foi feita uma análise que envolve 144 variações de alternativas possíveis. O RESIDE, conforme já foi apresentado, é capaz de realizar a análise multicritério considerando até 16 alternativas de maneira simultânea. Desta forma, esse tipo de análise pode ser realizada com o *software* com o estabelecimento de algumas etapas. Neste caso foram consideradas três etapas, sendo que a primeira visa identificar a melhor orientação, os melhores sistemas de vedação e cobertura, a segunda, o sistema de aquecimento mais adequado, considerando o resultado precedente, e a terceira etapa, procura identificar qual é o tamanho de janela e a condição mais adequada de sombreamento mais adequado para os resultados obtidos nas etapas anteriores.

A figura 5.32 apresenta os resultados obtidos para a primeira etapa da análise multicritério, na qual foram identificados os sistemas de cobertura e alvenaria mais adequados. O *ranking* mostra o empate entre as alternativas A11(orientação **Nordeste**, abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento de passagem usando GN) e A12 (orientação **Leste**, abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento de passagem usando GN) que se diferem pela orientação em relação ao sol. A análise de sensibilidade mostrou que o resultado é robusto porque não houve alterações de *ranking* com a elevação do peso do critério Cr1.

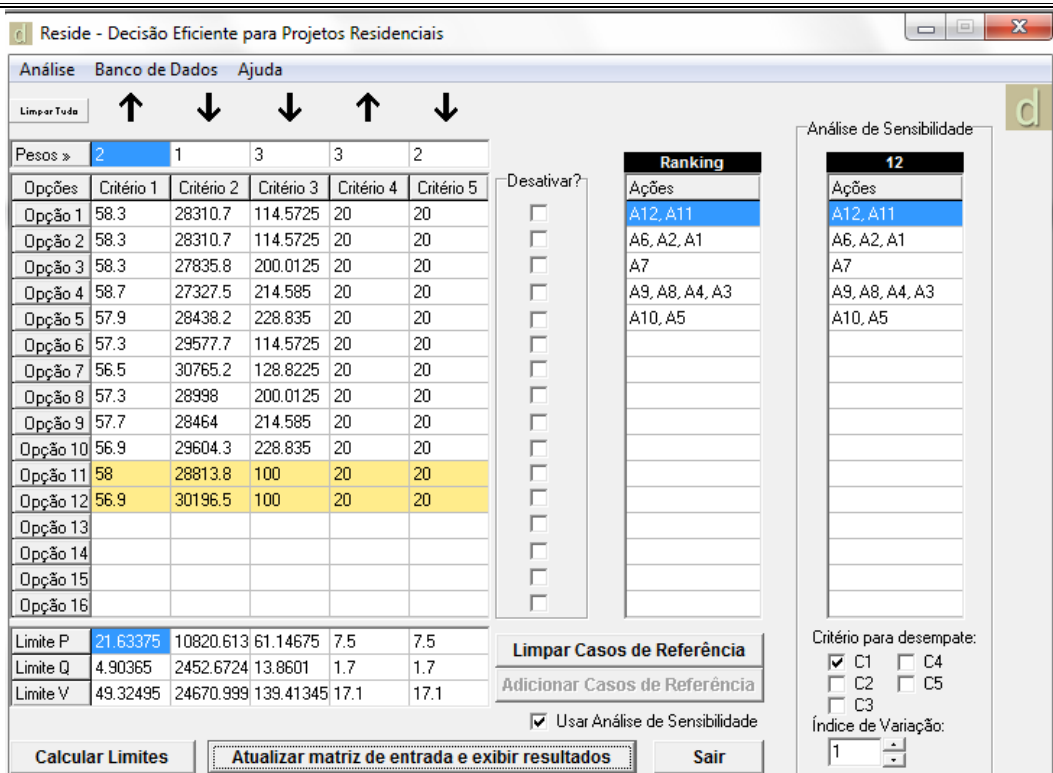


Figura 5.32 – Situação de análise 8, etapa 1
Elaborado pela autora.

Na etapa seguinte foram analisadas as alternativas orientadas a Nordeste e Leste (que empataram na primeira fase) com os sistemas de vedação mais adequados (sistema de vedação utilizando blocos cerâmicos de 9 cm e de cobertura utilizando telha de fibrocimento sobre ático) e variação dos sistemas de aquecimento de água.

A figura 5.33 indica a bomba de calor como melhor sistema e apresenta novamente o empate das orientações Nordeste e Leste na primeira posição do ranking. A utilização da análise de sensibilidade mostrou que a classificação é sensível à elevação de peso do critério Cr5, relacionado ao grau de complexidade do sistema de aquecimento de água. As soluções de A5 (orientação Nordeste, abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento de passagem usando GN) e A6 (orientação Leste, abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento de passagem usando GN) superaram as alternativas que usam sistemas solar (A1 e A3). Apesar disso, as soluções A4 (orientação Nordeste, abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento bomba de calor) e A2 (orientação Leste,

abertura média sem proteção solar, alvenaria cerâmica de 9 cm, cobertura de fibrocimento e sistema de aquecimento bomba de calor) mantiveram a melhor posição, principalmente por causa do sistema de aquecimento de água.

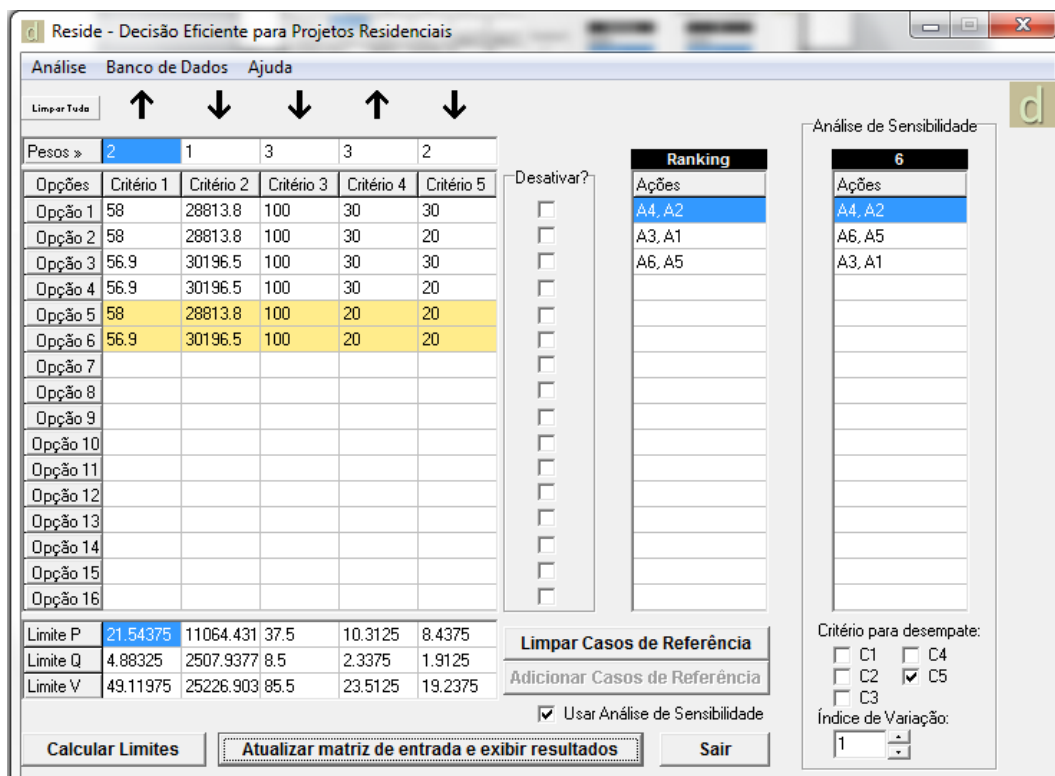


Figura 5.33 – Situação de análise 8, etapa 2
Elaborado pela autora.

A terceira fase de análise deixa claro que, para as alternativas avaliadas, a orientação solar não provoca interferência nos resultados do ranking, como mostra a figura 5.34. O mesmo pode ser dito em relação do tamanho das janelas. Entretanto, a proteção solar foi um fator preponderante na análise, pois todas as alternativas com proteção solar estão na primeira posição do ranking. A análise de sensibilidade mostra mais uma vez a robustez da classificação. Numa situação como essa é possível que a análise multicritério mostre aos usuários um leque de possibilidades para desenvolvimento da solução arquitetônica compostas por alternativas que apresentam desempenhos equivalentes do ponto de vista de satisfação, embora distintos.

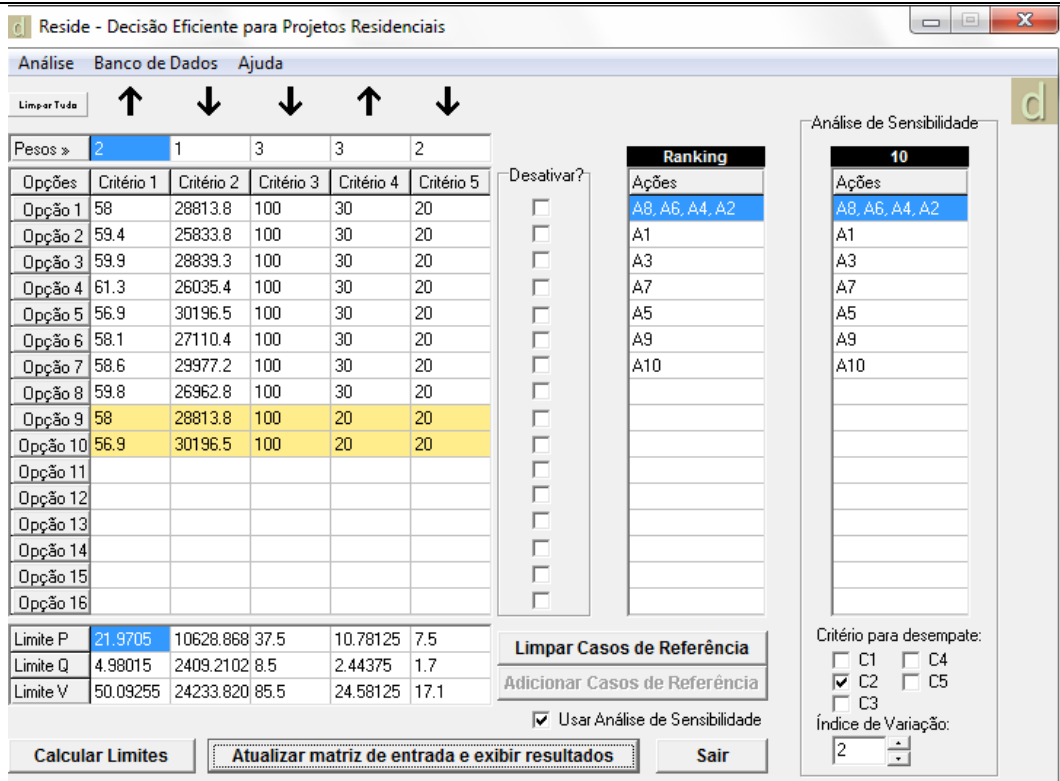


Figura 5.34 – Situação de análise 8, etapa 3
Elaborado pela autora.

De modo geral, as situações analisadas foram capazes de mostrar formas de aplicação do *software* RESIDE e como as características da metodologia ELECTRE-III interferem na formação do *ranking*. O ideal ao se apresentar como resultado um programa computacional é que o próprio possa ser utilizado para que o usuário seja capaz de entendê-lo, aplicá-lo e desenvolva sensibilidade em relação aos resultados. A apresentação descritiva, como essa, não permite mostrar todo o potencial da ferramenta.

6. Considerações Finais

Este trabalho tratou do processo de tomada de decisão nas fases iniciais de planejamento de edificações residenciais com foco na melhoria do desempenho termoenergético da envoltória e do sistema de aquecimento de água, considerando os custos do empreendimento. O objetivo principal foi desenvolver uma ferramenta a partir de um método de decisão multicritério para auxiliar à tomada de decisão. O desenvolvimento do RESIDE mostra que o objetivo foi alcançado. Além disso, foi possível apresentar uma aplicação do programa a partir de um banco de dados desenvolvido para empreendimentos localizados na zona Oeste do Rio de Janeiro de tipologia multifamiliar padrão de acabamento normal com oito pavimentos.

A metodologia proposta contribui para ampliar o arcabouço de trabalhos, ainda escassos no país, que tratam do desempenho termoenergético das edificações habitacionais de maneira objetiva nas fases iniciais de planejamento do empreendimento. Por meio dela confirmou-se a primeira premissa de que é possível considerar o desempenho termoenergético das edificações e seus custos de maneira objetiva nessa etapa do empreendimento, anterior ao projeto arquitetônico. Além disso, o estudo de caso demonstrou que a segunda premissa foi verdadeira para aquela situação, pois grande parte das soluções construtivas para envoltória que apresentaram melhor desempenho termoenergético eram as de menor custo.

A ferramenta RESIDE é o principal resultado desta pesquisa. Por meio de sua utilização foi possível avaliar diferentes soluções construtivas para envoltória e sistema de aquecimento de água, a partir de múltiplos critérios de maneira simples e direta para um estudo de caso. Para chegar a esses resultados foi necessário integrar diferentes abordagens ao planejamento de empreendimentos tradicional: i) o conceito energético de edificações; ii) a simulação termoenergética e iii) a análise multicritério.

Neste capítulo são expressas as considerações finais sobre cada etapa de desenvolvimento do trabalho. Inicialmente aborda-se o procedimento metodológico proposto, em seguida o *software* desenvolvido e por fim a aplicação do RESIDE no estudo de caso. Para cada um desses pontos são discutidos os procedimentos

adotados, os resultados alcançados, os limites de aplicação e as possibilidades de trabalhos futuros.

6.1. Processo metodológico

O processo metodológico proposto permitiu avançar sobre a lacuna que existia na bibliografia brasileira em relação à consideração objetiva do conceito energético das edificações nas fases iniciais de planejamento de uma edificação. O resultado do processo proposto, o *software* RESIDE, se adequa à dinâmica de planejamento e decisão sobre novos empreendimentos residenciais na medida em que oferece respostas diretas e ágeis sobre o desempenho de opções formais, de sistemas construtivos e de aquecimento de água em relação à cinco critérios. Para que a utilização do RESIDE seja viabilizada de maneira mais adequada é necessário investir no desenvolvimento de bancos de dados que venha a atender às realidades climáticas e às principais tipologias construtivas produzidas no país. No estudo de caso realizado o banco de dados refere-se a uma situação típica da zona Oeste do Rio de Janeiro.

Pode-se apontar como avanços do processo metodológico proposto (i) a inserção do agente público (governo) como um dos atores considerados durante o processo de tomada de decisão (na definição dos pesos dos critérios) nas fases iniciais dos projetos dos empreendimentos habitacionais e (ii) a consideração como critério de decisão de aspectos relacionados às políticas públicas vigentes, como é o caso do incentivo a sistemas de aquecimento de água. Assim, a metodologia proporciona uma aproximação entre as políticas públicas e os interesses dos incorporadores.

Considera-se que o procedimento é adequado a todos os tipos de investidores em edificações habitacionais, sejam eles do setor privado ou do setor público. Ambos podem avaliar seus empreendimentos se dispuserem de um banco de dados adequado à uma dada situação. O procedimento metodológico proposto pode ser utilizado também como forma de auxílio ao atendimento das normas e regulamentações relacionadas com o desempenho térmico e a eficiência energética, na medida em que é capaz de apontar soluções mais adequadas. Quando numa análise com esse objetivo, o usuário deve rever a atribuição de pesos de modo a

tornar preponderantes os pesos dos critérios relacionados ao desempenho termoenergético.

Ao serem consideradas as novas necessidades de informações técnicas para o projeto arquitetônico, como o sistema BIM, constata-se que a metodologia proposta pode contribuir significativamente, na medida em que é capaz de avaliar muitas soluções possíveis de projeto em pouco tempo, e indicar como essas se comportam frente a critérios considerados, desde exista banco de dados disponível para o caso em questão. Assim, o projetista será capaz de encontrar as soluções mais adequadas e daí partir para a etapa seguinte de desenvolvimento, já possuindo informações técnicas sobre as melhores opções para sistemas de aquecimento de água e envoltória naquele contexto. Desta forma poderá melhor aproveitar as vantagens dos sistemas BIM, que, normalmente, demandam informações técnicas já nas primeiras fases dos projetos das edificações.

A principal limitação do procedimento metodológico proposto neste trabalho diz respeito ao número de usos finais tratados simultaneamente, pois apenas aquecimento de água e condicionamento ambiental (resfriamento) foram considerados. Mas estes são os usos mais impactantes sobre o consumo energético de uma residência, quando presentes. Por isso, considerou-se abordá-los, no presente trabalho de tese. Recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos futuros com a inclusão de outros usos como iluminação, por exemplo. Além disso, seria interessante que futuras abordagens adequassem também a metodologia de avaliação para sistemas de calefação de ambientes de modo que possa tratar toda a extensão territorial brasileira.

6.2. *Software* RESIDE

O RESIDE é uma ferramenta de análise multicritério que trata de alguns critérios selecionados e que estão relacionados ao desempenho de edificações residenciais. O recorte proposto na pesquisa teve como objetivo permitir a inclusão de critérios de desempenho termoenergético de maneira objetiva nas fases iniciais de planejamento de edificações residenciais, ou seja, na fase do pré-projeto

arquitetônico. Atualmente, via de regra, os aspectos termoenergéticos têm sido ignorados na etapa inicial dos empreendimentos, o que causa transtornos e dificuldades na adequação de soluções e no atendimento final de requisitos termoenergéticos. Assim, a ferramenta desenvolvida vem possibilitar aos profissionais que atuam através dela para contribuir com a melhoria do desempenho termoenergético da edificação. Além disso, é de fácil utilização e permite uma adequada compreensão dos resultados. A criação desta ferramenta e seu uso irão sem dúvida atender uma das preocupações cada vez mais presente no mercado brasileiro e que é relacionada com a qualidade das edificações.

A partir dos cinco critérios trabalhados foi possível atender aos interesses dos atores envolvidos, considerando também a visão de custo de investimento e operação. O critério *Cr01-Percentual de horas de conforto higrotérmico* foi definido com o objetivo de resguardar o usuário em fase de ocupação. O critério *Cr02-Número de graus-hora para resfriamento* está relacionado aos interesses de dois atores distintos: (i) o usuário, neste caso no que tange ao custo de operação e (ii) o poder público, na medida em que se valorizam as soluções que irão gerar menor demanda energética para o sistema elétrico nacional. A mesma preocupação em relação à demanda ao sistema elétrico está presente no critério *Cr04- Incentivo governamental ao uso da tecnologia de aquecimento de água para banho*. A preocupação com os custos de investimento, grosso modo, perpassa os interesses dos dois atores já citados e também os interesses dos incorporadores e construtores. Os critérios *Cr03-Variação percentual do custo das soluções de envoltória* e *Cr5-Grau de complexidade da infraestrutura completa do sistema de aquecimento de água para banho* tratam deste aspecto. Entende-se que a definição dos pesos-padrão do RESIDE, considerando mais relevante (maior peso) os critérios que envolvem interesses de um maior número de atores, é uma forma de manter o tratamento homogêneo para todos os envolvidos direta ou indiretamente no processo de decisão.

As características do método ELECTRE-III baseado na análise não-compensatória e na incomparabilidade entre soluções são muito relevantes para dar confiabilidade às saídas apresentadas pelo RESIDE. Isso impede o favorecimento de soluções ou alternativas muito bem avaliadas em algum(ns) critério(s) e muito mal avaliadas nos demais. Como os critérios utilizados interessam de maneira distinta aos diferentes

atores envolvidos no planejamento de edificações, a análise não-compensatória tende a proteger o favorecimento de critérios que interessam a parte dos envolvidos frente ao descaso em relação a outros que interessam a atores com menor poder de decisão nesta fase do processo, por exemplo, o usuário. Outra característica que aumenta a isenção do método de análise é a noção de limite de preferência e indiferença. Com base em definições do desenvolvedor da ferramenta (ver anexo 9.1), é possível estabelecer o limite 'P' a partir do qual há forte preferência a uma alternativa em relação à outra, assim como o limite 'Q' a partir do qual não há evidência clara em favor de uma alternativa sobre a outra. Isso impede que diferenças pequenas sejam usadas para definir que uma alternativa é melhor que outra.

Foi proposta uma interface amigável, focada na descrição das alternativas analisadas e nos resultados. Desde modo, espera-se ter criado um *software* para produzir informação a mais objetiva possível sobre o desempenho das análises realizadas. Informações secundárias que fazem parte da saída do método para estabelecimento do *ranking*, como as matrizes de concordância, discordância, etc., não estão disponíveis na interface do RESIDE. Isso foi suprimido porque tais matrizes (i) são de difícil compreensão pelos usuários que não conheçam profundamente o método, (ii) sua análise não traz informações relevantes para o processo de decisão, e por fim (iii) porque sua presença poderia dificultar a leitura imediata e direta do *ranking* estabelecido para uma determinada análise.

A ferramenta desenvolvida permite ao usuário uma flexibilidade com relação à definição de pesos e limites. O RESIDE apresenta uma definição de pesos justificada no procedimento metodológico e permite também que o usuário realize análises de sensibilidade alterando os pesos dos critérios de interesse. Além disso, caso o usuário deseje poderá alterar os pesos dos cinco critérios envolvidos. A interface permite, ainda, substituir os valores dos limites de 'P', 'Q' e 'V' calculados pelo método apresentado no anexo 9.1 por valores que o usuário julgar adequados para aquela análise.

Há outros critérios que poderiam ter sido incluídos para abordar outros usos finais (por exemplo, iluminação e cocção) e/ou outros aspectos do desempenho das

edificações habitacionais (desempenho acústico, consumo de água, etc.). Entretanto, para tratar a questão com recorte mais amplo que o desta pesquisa, seria necessário uma demanda maior de tempo e talvez ter de recorrer a outros métodos de análise. No presente trabalho, julgou-se mais prudente restringir a abordagem para desenvolver um método consistente e capaz de se integrar ao processo de planejamento de edificações. Porém com o amadurecimento dessa abordagem poderiam ser desenvolvidos trabalhos usando outras ferramentas da família ELECTRE ou outras metodologias, que permitam ampliar o número de critérios avaliados, as opções de soluções construtivas, etc. Isso permitiria considerar várias soluções de esquadrias, características energéticas e visuais dos vidros utilizados. Entende-se que essas são possibilidades para realização de pesquisas posteriores sobre a utilização de análise multicritério como auxílio à decisão em fases iniciais de planejamento de empreendimentos imobiliários. Além disso, seria muito interessante preparar banco de dados para outras tipologias construtivas e também para outras situações climáticas.

Em relação à credibilidade dos resultados é interessante comentar que a análise de sensibilidade permite verificar o comportamento das alternativas frente à variação dos pesos. Assim, o usuário pode perceber se o *ranking* estabelecido sofre ou não alteração diante de mudanças de pesos. Durante uma negociação esse tipo de informação é relevante e deve ser colocada para os decisores. Além disso, um usuário avançado de ferramentas de análise multicritério pode recorrer as matrizes de credibilidade quando surgir alguma dúvida em relação a um *ranking* estabelecido.

6.3. Estudo de caso

A escolha do estudo de caso ocorreu em função da relevância da cidade do Rio de Janeiro como consumidor de energia elétrica destinada a condicionamento ambiental. O percentual de posse de sistema de condicionamento de ar nas residências está entre os maiores do país. Para se tornar mais representativo optou-se por desenvolver uma tipologia que atendesse à legislação municipal de uso e ocupação do solo vigente e estivesse em consonância com os produtos imobiliários oferecidos pelo mercado local. Partindo dessas condicionantes legais, normativas e de mercado foi construída uma proposta de edificação representativa.

O passo seguinte foi levantar informações sobre o comportamento térmico dos materiais que seriam analisados. Essa não foi uma tarefa simples, há dados disponíveis sobre poucos materiais e também há muita incerteza em relação à qualidade desses dados. Esse é um gargalo nacional para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao desempenho termoenergético de edificações. É urgente superar tal dificuldade e criar uma base de dados confiável e ampla, capaz de permitir avaliar qualquer tipo de material, elemento ou sistema construtivo de uso corrente nas edificações do país. Seria muito importante que a política nacional de eficiência energética por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, se dedicasse a estabelecer essa base de dados ampla e com acesso público gratuito.

Outro problema enfrentado por essa pesquisa, e que também é recorrente em outras que tratam do desempenho termoenergético utilizando simulação computacional, foi a dificuldade de obtenção com qualidade de uma base de dados climáticos. A base utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida por um organismo estrangeiro a partir de dados de aeroportos nacionais. O recomendado é utilizar dados climáticos de estações meteorológicas localizadas no tecido urbano, pois suas informações são mais representativas para análises de edificações nele inseridas. No nosso país os dados climáticos das estações meteorológicas ligadas ao Ministério da Agricultura só muito recentemente, com a entrada em vigor da Lei da Informação nº 12.527/2011, estão amplamente disponibilizados a comunidade

Superados os desafios das informações sobre características térmicas e arquivos climáticos nesta pesquisa partiu-se para realização das simulações termoenergéticas usando o *software* EnergyPlusTM. O volume de simulações necessárias para construção do banco de dados é grande e para que o trabalho não seja muito moroso é recomendável a utilização de computador com dois núcleos de processamento com 2.5GHz.

Para que o *software* RESIDE possa ser aplicado em outros contextos climáticos e de mercado faz-se necessária a construção de bancos de dados específicos como já foi esclarecido. Tal processo passará pela superação dos desafios já mencionados e também demandará o levantamento de informações sobre a composição de custos

das soluções construtivas tratadas. Esse tipo de informação pode ser obtido com facilidade no mercado brasileiro. Existem empresas especializadas na produção mensal dessas informações para todas as capitais do País que as comercializam em planilhas ou *softwares*. Usar esse tipo de informação na base de dados permite, inclusive, a atualização periódica dos bancos de dados do RESIDE.

Em relação aos resultados apresentados por esse estudo de caso é relevante destacar que a forma da edificação analisada proporcionou autosombreamento em grande parte das aberturas da edificação, mesmo nos casos em que não há proteção solar. Esse fato interferiu nos resultados apresentados, contribuindo para reduzir a relevância da proteção solar neste estudo de caso. Possivelmente, em edificações sem autosombreamento, neste mesmo contexto climático, apresentarão maior sensibilidade à proteção solar.

Por fim, é relevante comentar o comportamento do banco de dados elaborado. O que se observa, de modo geral, é o melhor desempenho das soluções de envoltória que mais se aproximam das recomendações presentes nas normas brasileiras para a zona bioclimática onde se localiza a cidade do Rio de Janeiro. Coincidentemente, essas são as soluções com menor custo construtivo neste contexto. Além disso, boa parte da cidade possui uma rede de gás natural encanado o que faz essa solução ser frequente para o aquecimento de água nas residências, diferentemente do restante do país. Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam desenvolvidos bancos de dados para, pelo menos, todas as capitais brasileiras com o intuito de ampliar a capacidade de aplicação do RESIDE e ainda verificar se os resultados obtidos estão em consonância com as recomendações normativas. É importante que isso seja feito, inclusive, para diferentes tipologias residenciais construtivas.

7. Referências

- ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO (ADEMI RJ). *Pesquisa ADEMI*. Disponível em <http://ademi.webtexto.com.br/index.php3>. Acessado em 24 de abril de 2010.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Chapter 16: Focus on Brazil*. In *World Energy Outlook 2006 - focus on key topics*. Paris, IAE, 2006
- AGÊNCIA PARA ENERGIA (ADENE). *Certificação energética e ar interior*. Disponível <http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Introducao/Apresenta%c3%a7%c3%a3o.htm>. Acessado em 25 de abril de 2010.
- _____. *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Versão para Consulta Pública*. Apresentação da versão para consulta pública, 2008. Disponível em www.adene.pt. Acessado em 25 de abril de 2010.
- ANASTASELOS, D.; GIAMA, E.; PAPADOPOULOD, A.M. An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. *Energy and Buildings*, n.41, p.1165-1171, 2009.
- ARAÚJO, V. M. D. *Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordestino Brasileiro*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. *Handbook of Fundamentals*, 1993. Atlanta, 1993.
- _____. *Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs*. ASHRAE Standard 140 - 2001.140. Atlanta, 2001. 91 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). *Manual Técnico de Telhas de Aço*. São Paulo, ABCEM, 2009.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR-ISO 12.006-2: Construção de edificações – Organização de informação da construção. Parte 2 – Estrutura para classificação de informação*. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15.575: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos*. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.
- _____. *NBR12721 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. *NBR15220 - Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- AUTODESK. *Building Information Modeling*. Estados Unidos da América: Autodesk, 2012. Disponível em <http://usa.autodesk.com/building-information-modeling/>. Acessado em 04 de maio de 2012.
- AVGELIS, A.; PAPADOPOULOS, A.M. Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems. *Energy and Buildings*, Volume 41, Edição 7, Julho 2009, P. 774-780.
- BARROS, M.M.B. *Metodologia para implantação de tecnologia construtiva racionalizada na produção de edifícios*. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BATALHA-VASCONCELOS, D. L.; VASCONCELOS, R. L. *Sustentabilidade: Ferramenta de marketing ou instrumento essencial*. In VIII seminário internacional da LARES, 2008, São Paulo. Anais.... São Paulo, 2008.
- BATISTA, L. T. *O processo de projeto na era digital: um novo deslocamento da prática profissional*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- BEYER, P.O. Relatório de resultados da determinação da condutividade térmica equivalente do Ecotelhado. Porto Alegre, Ecotelhado, 2008. Disponível em

<http://www.ecotelhado.com.br/por/informacoes/sitepages/Pesquisas.aspx>.

Acessado em 16 de janeiro de 2011.

- BLUMENSCHHEIN, Raquel Naves. *A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Indústria da Construção*. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.
 - BORGES, M. M. *Aspectos de viabilidade Aspectos de viabilidade de empreendimentos habitacionais de interesse social: HIS*. In IX Seminário internacional da LARES, 2009, São Paulo. Anais.... São Paulo, 2009.
 - BRASIL. *Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia*. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10.295.pdf>. Acesso em: 17/03/03
 - _____. *Lei n°10.931, de 02 de agosto de 2004. Dispõe sobre o patrimônio de afetação de incorporações imobiliárias, Letra de Crédito Imobiliário, Cédula de Crédito Imobiliário, Cédula de Crédito Bancário, altera o Decreto-Lei no 911, de 1o de outubro de 1969, as Leis no 4.591, de 16 de dezembro de 1964, no 4.728, de 14 de julho de 1965, e no 10.406, de 10 de janeiro de 2002, e dá outras providências*. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 02 ago 2004.
 - _____. *Lei n°11.124, de 16 de junho de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS*. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 16 jun 2005.
 - _____. *Lei n°9.514, de 20 de novembro de 1997. Dispõe sobre o Sistema de Financiamento Imobiliário, institui a alienação fiduciária de coisa imóvel e dá outras providências*. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 20 nov 1997.
 - BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P.; VANDERPOOTEN, D. Project ranking using ELECTRE III. In *MCDM 2000*, Ankara, Turkey, 1999.
 - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG. *Energieeffiziente Gebäude und Städte*. Disponível
-

- http://www.bmvbs.de/DE/BauenUndWohnen/EnergieeffizienteGebaeude/energieeffiziente-gebaeude_node. Acessado em 16 de abril de 2010.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE. *Energiepolitik*. Disponível em <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/energie.html>. Acessado em 17 de abril de 2010.
 - CACCAVELLI, D. GUGERLI, H. TOBUS: a European diagnosis and decision-making tool of office building upgrading. *Energy and Buildings*, n.34, p.113-119, 2002.
 - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Selo para empreendimentos habitacionais*. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/imprensa/imprensa_release.asp?codigo=6609833&tipo_noticia=3. Acessado em 03 de Julho de 2010.
 - CARDEMAN, D.; CARDEMAN, R. G. *O Rio de Janeiro nas alturas*. Rio de Janeiro, Mauad, 2004.
 - CARLO, J. C. *Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, 2008.
 - CASTRO, E. B. P. *Método de auxílio a concepção arquitetônica baseado na análise multicritério em dados simulados dos comportamentos da edificação*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
 - CATALINA, T.; VIRGONE, J.; BLANCO, E. Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology. *Renewable Energy*, Volume 36, 8ª Edição, Agosto 2011, p. 2245-2252
 - CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. *Energy and Buildings*, v.33, n.4, p. 319-331. 2001.
 - CRAWLEY, D. B.; HUANG, Y. J. *Does it matter which weather data you use in energy simulations?* User news. USA, Vol18, N°1, p. 2-6,1997. Disponível em: <<http://eande.lbl.gov/BTP/SRG/UNews>>. Acesso em: 05 abril 2005
-

Referências

- DEPARTMENT OF ENERGY. *Weather Data*. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil. Acessado em 20 de agosto de 2011.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR (DENA). *Energieeffiziente Gebäude*. Disponível em <http://www.dena.de/de/themen/thema-bau/>. Acessado em 18 de abril de 2010.
- DIAKAKI, C. et al. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, article in press, 2010.
- ELETROBRÁS. *Programa nacional de conservação de energia elétrica: PROCEL Edifica*. Disponível em <http://www.eletronbras.gov.br/elb/PROCEL/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D>. Acessado em 05 de junho de 2010.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA: *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília, 2007.
- _____. *Balanço Energético Nacional*, 2008. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 18 de janeiro de 2009.
- ENERGY CONSCIOUS CONSTRUCTION ADMINISTRATOR. *Energy and economics: Strategies for Office building design*. Hartford, Northeast Utilities, (S/D).
- EASTMAN, C. et al. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008 490p.
- FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B.; GRILO, L. M.. *Coordenação e coordenadores de projetos: modelos e formação*. In III Workshop brasileiro de gestão do processo de projeto na construção de edifícios, 3., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2003.
- FABRICIO, Márcio Minto. *Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios*. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

- FONTENELLE, M. R. *A Abordagem Multicritério na concepção arquitetônica: um estudo sobre as aberturas laterais em edifício de escritórios no Rio de Janeiro*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.
- FRANCO, L. S; AGOPYAN, V. *Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto*. In: Boletim Técnico da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.
- FROTA, Anésia B; SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Nobel. 1999. 228p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS; ERNST & YOUNG. *Brasil sustentável: potencialidades do mercado habitacional*. São Paulo. FGV. 2008. Disponível em [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Brasil_Sustentavel_-_Mercado_Habitacional/\\$FILE/Brasil_Sustentavel_-_Mercado_Habitacional.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Brasil_Sustentavel_-_Mercado_Habitacional/$FILE/Brasil_Sustentavel_-_Mercado_Habitacional.pdf). Acessado em 17 de junho de 2009.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. *Processo AQUA*. Disponível em http://www.processoaqua.com.br/?cod_site=0&id_menu=493. Acessado em 16 de maio de 2010.
- GÁLVEZ D. M. *Certificación de Vivienda Sustentable en México* (Apresentação). In Seminário: Os edifícios bioclimáticos a integração das energias renováveis e os sistemas energéticos. Lisboa, 2008.
- GARD Analytics. *Introduction to building simulation and EnergyPlus*. Illinois: USA DOE, 2003. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/training.htm>. Acesso em: 23 maio 2005
- GELLER, H. S. *Revolução energética: Políticas para um futuro sustentável*. Tradução: Maria Vidal Barbosa, Rio de Janeiro, Relume Dumará, 2003.
- GIVONI, B. Comfort, climate and building design guidelines. *Energy and Buildings*. v.18, n.1, p.11-23, 1992.
- GOLDMAN, P.; *Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira*. São Paulo. Editora Pini, 2004.

- GOLDMAN, P.; AMORIM, S. L. *Estimativa orçamentária da construção: Técnica paramétrica para utilização nos estudos de viabilidade de empreendimentos residenciais*. In VII SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, 2007, São Paulo. Anais.... São Paulo, 2007.
- _____. *Indicadores e variáveis no estudo de viabilidade econômica e financeira: Identificação e relevância para empreendedores da habitação*. In VI SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, 2006, Rio de Janeiro. Anais.... Rio de Janeiro, 2006.
- GONÇALVES, W. B. *Estudo de Índices de Conforto Térmico Avaliados com Base em População Universitária na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC BRASIL). Certificação LEED. 2012. Disponível em <http://www.gbcbrazil.org.br/?p=certificacao>. Acessado em 11 de janeiro de 2012.
- HAVES, P. *New tools for building simulation*. IV Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. Anais... Curitiba: ASBRAV, 2004. Documento eletrônico. 15 p.
- HEGGER, M.; FUCHS, M.; STARK, T.; ZEUMER, M.. *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Berlin, Birkhauser, 2008. ISBN: 978-3-7643-8830-0
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sistema de contas nacionais*. 2012. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/referencia2000/2004_2005/default.shtm . Acessado em 25 de fevereiro de 2012.
- _____. *Cidades@*. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> . Acessado em 17 de dezembro de 2010.
- _____. *Trabalho e Rendimentos*. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/default.shtm> . Acessado em 23 de novembro de 2010.

- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO. *Portaria n° 181: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. Rio de Janeiro, INMETRO, 2010.
- _____. *Portaria n° 18: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais*. Rio de Janeiro, INMETRO, 2012.
- INSTITUTO PEREIRA PASSOS. *Índices de desenvolvimento humano*. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 04 de junho de 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered, ISO 6241*. London, ISO, 1984.
- JAKOB, M. Marginal cost and co-benefits of energy efficiency investments: The case of the Swiss residential sector. *Energy Policy*. n 34, p.172-187, 2006.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEE). *Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas – versão 4*. Florianópolis. LABEEE, 2010.
- LAISERIN, Jerry. *BIM Handbook*. New Jersey: John Wiley, 2008 490p.
- LAMBERTS, R. Heat transfer through roofs of low cost Brazilian houses. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), University of Leeds, Leeds, 1988.
- LIPPIAT, B.; BOYLES, A. S. *Building for environmental and economic sustainability (BEES): Software for selecting cost-effective Green building products*. In CIB World Building Congress, 2001, Wellington. Anais...Wellington, 2001.
- LOURA, R. M. *Procedimento de Identificação de Variáveis e Análise de sua Pertinência em Avaliações Termoenergéticas de Edificações*. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- LOURA, R.M. ASSIS, E.S. BASTOS, L.E.G. *Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por*

- diferentes normas brasileiras*. In XI Encontro nacional de conforto do ambiente construído, 2011, Búzios, RJ. Anais... Rio de Janeiro, 2011. CD-ROM.
- MAAS, A. *Prinzipien des energieeffizienten Planens und Bauens Energiestandards*. Apostila. Kassel, UniKassel, 2011.
 - MAHDAVI, A. Reflections on computational building models. *Building and Environment*. Oxford: Elsevier, 2004 V. 39. pp. 913-925
 - MATTOS, A. D.. *Como preparar orçamentos de obras*. São Paulo, PINI, 2006, 281p.
 - MASCARÓ, J. L (org.). *O custo das decisões arquitetônicas*. 5ª Ed. Porto Alegre: Masqatro Editora, 2010.
 - MEIER, A., OLOFSSON, T., LAMBERTS, R. *What is an energy-efficient building?* In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Anais... Foz do Iguaçu: ANTAC, ENTAC, 2002.
 - MELHADO, S. B. *Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado "a qualidade do processo de projeto na construção de edifícios"*. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
 - _____. *Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção*. Tese (doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.
 - MELHADO, S. B.; OLIVEIRA, L. *Análise da qualidade do processo de projeto em função da ocorrência de problemas na etapa de execução da obra: estudos de caso*. In simpósio brasileiro de gestão e economia da construção, 4.; Encontro latino-americano de gestão e economia da construção, 2005, Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre, RS. 2005.
 - MÉXICO, COMISIÓN NACIONAL DE FOMENTO A LA VIVIENDA (CONAFOVI). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. Cidade do México, CONAVI, 2006.
 - MÉXICO, COMISIÓN NACIONAL DE VIVIENDA (CONAVI) (a). *Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables*. Cidade do México, CONAVI, 2008.
-

- _____ (b). *Programa Nacional de Vivienda 2007-2012:Hacia un desarrollo habitacional sustentable - Versión Ejecutiva*. Cidade do México, CONAVI, 2008.
- _____. *Código de edificación de vivienda*. Cidade do México, CONAVI, 2007.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. *Normais Climatológicas 1961-1990*. Brasília: DNMET, 1992.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Plano Nacional de Habitação*. Brasília, 2007. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/secretaria-de-habitacao/planhab/produtos/produtos>. Acessado em 19 de outubro de 2009.
- _____. *Política Nacional de Habitação*. Brasília. Ministério das Cidades. 2004. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/secretaria-de-habitacao/politica-nacional-de-habitacao/4PoliticaNacionalHabitacao.pdf>. Acessado em 18 de agosto de 2009.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas*. Brasília, MME, 2011.
- NATIVIDADE-JESUS, E.; COUTINHO-RODRIGUES, J.; ANTUNES, C. H. A multicriteria decision support system for housing evaluation. *Decision Support Systems*. n 43, p.779-790, 2007.
- O que vamos ganhar com o juro baixo. *Revista Exame*, ed. 945, ano 43, nº11, p. 20-29, São Paulo, 2009.
- OLIVEIRA, R.; BELCHIOR, M.; JUNGLES, A. *Análise das variáveis que influenciam na rentabilidade de empreendimentos residenciais: Estudo de caso*. In VII SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, 2007, São Paulo. Anais.... São Paulo, 2007.
- PARLAMENTO EUROPEU. *Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho*. Jornal oficial das comunidades europeias, Portugal, 4,1,2003. 65-71p.
- PEREIRA. I. M; ASSIS. E. S. Assis. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. *Ambiente Construído*. v.10, n1, 2010.

- PIGUET, P.; BLUNIER, P.; LEPAGE, M. L.; MAYER, M. A.; OUZILOU, O. A new energy and natural resources investigation method: Geneva case studies *Cities*, Volume 28, Edição 6, Dezembro 2011, P. 567-575.
- PINI. *Tabela de composição de preços para orçamentos (TCPO) Modelatto*. Ed. São Paulo: Pini, 2011. CD-ROOM
- POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.8, p.365-381, 2004.
- PORTUGAL (a). *Decreto-lei n. 78/2006 de 4 de abril de 2006. Regulamento para certificação energética de edificações* Disponível em: <http://www2.dem.uc.pt/emec/docs/DL78.pdf>. Acesso em 02/03/2009.
- _____(b). *Decreto-lei n. 79/2006 de 4 de abril de 2006. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. Disponível em: <http://www2.dem.uc.pt/emec/docs/DL79.pdf>. Acesso em 02/03/2009.
- _____(c). *Decreto-lei n. 80/2006 de 4 de abril de 2006. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Disponível em: <http://www2.dem.uc.pt/emec/docs/DL79.pdf>. Acesso em 15/01/2008.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. *Consumo de energia elétrica. Rio de Janeiro*. Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 05 de novembro de 2009.
- _____. *Decreto n° 2418 de 5 de dezembro de 1979. Estabelece condições de zoneamento, de parcelamento da terra e das edificações em parte da XVI Região Administrativa - Jacarepaguá e da XVII Região Administrativa - Bangu*. Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 06 dez 1979.
- _____. *Decreto n° 25.699, de 25 de agosto de 2005. Define parâmetros, usos, regulamenta o enquadramento das atividades nos usos do solo permitidos e dispõe sobre regulamentações mencionadas na Lei complementar n°70*. Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 26 ago 2005.
- _____. *Decreto n° 3046 de 27 de abril de 1981. Consolida as Instruções Normativas e os demais atos complementares baixados para disciplinar a*

- ocupação do solo na área da Zona Especial 5 (ZE-5), definida e delimitada pelo Decreto nº 322, de 03/03/1976.* Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 22 mai 1981.
- _____ . *Decreto nº 7.336, de 05 de janeiro de 1988. Aprova a regulamento de construção de edificações residenciais multifamiliares.* Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 05 jan 1988.
 - _____ . *Lei complementar nº16 de 04 de junho de 1992. Dispões sobre a política urbana do município, institui o Plano Diretor Decenal da cidade do Rio de Janeiro, e dá outras providências.* Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 04 jun 1992.
 - _____ . *Lei complementar nº70 de 06 de julho de 2004. Institui o PEU Taquara.* Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 06 jul 2004.
 - _____ . *Lei complementar nº79, de 30 de maio de 2006. Institui o Projeto de Estruturação Urbana – PEU dos bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim e parte dos bairros do Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca e Jacarepaguá.* Diário Oficial [do Município do Rio de Janeiro], Rio de Janeiro, RJ, 30 mai 2006.
 - _____ . *Mapas temáticos. Rio de Janeiro.* Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 10 de junho de 2010.
 - PROCEL. *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil.* Rio de Janeiro. Eletrobrás, 2007.
 - REY, E. Office building retrofitting strategies: multicriteria approach of an architectural and technical issue. *Energy and Buildings*, Volume 36, Edição 4, Abril 2004, P. 367-372.
 - ROCHA LIMA JUNIOR, J. *Princípios para análise de qualidade de empreendimentos: O caso de empreendimentos de base imobiliária.* In: Boletim Técnico da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

- ROY, B. Electre- III, un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences de critères multiples. Sema, Rapport de recherche n.81, Paris, 1977.
- ROY, B; BOYSSOU, D. *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Ed. Economica, Paris, 1985.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. *Características ambientais*. 1999 Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 14 de julho de 2010.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO. (SMU) *Características físicas do município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 11 de junho de 2010.
- SINDUSCON-RIO. *Sindicato da indústria da construção civil no estado do Rio de Janeiro*. Disponível em <http://www.sinduscon-rio.com.br/>. Acessado em 17 de abril de 2010.
- SINDUSCON-SP e FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). *Conjuntura da Construção*. Ano VI, nº2, 2008.
- SOEBARTO, V.I; WILLIAMSON, T.J. Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation. *Building and environmental*, n. 36, p.
- TERVONEN, T.; FIGUEIRA, J.; LAHDELMA, R.; SALMINEN, P.. *An inverse approach for ELECTRE III*. Relatório Interno. Coimbra, INESC, 2005. Disponível em http://www.inescc.pt/documentos/20_2004_revisto.pdf. Acessado em 05 de maio de 2012.
- TUSCHINSKI, M. EnEV 2020: *Energieeinsparverordnung auf dem Weg zu klimaneutralen Bauten*. Stuttgart, Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien, 2012. Disponível em http://service.enev-online.de/bestellen/EnEV_2020_klimaneutrale_Bauten.pdf. Acessado em 01 de fevereiro de 2012.
- U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE. NIST Handbook 135: Life-cycle costing manual for the federal energy management program. Washington, National Institute of Standards and Technology, 1995.

Referências

- UIHLEN, A.; EDER, P. Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27. *Energy and Buildings*, n.42, p.791-798, 2010.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *UNEP 2007 Annual Report*. Belley UNEP. 2008.
- WANG, J.J. et al. Review on multi-criteria decision analysis AID in sustainable energy decision making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.13, p.2263-2278, 2009.
- WRIGHT, J. A.; LOOSEMORE, H.A.; FARMANI, R. Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy and Buildings*, n.34, p.959-972, 2002.
- WORLD BANK. Data: Indicator. Washington. The World Bank Group, 2012. Disponível em <http://data.worldbank.org/indicator>. Acessado em 25 de abril de 2012.
- XAVIER, A. A. P. *Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- ZAMBRANO,L.;MALAFAIA,C.;BASTOS,L.E.G.. *Thermal comfort evaluation in outdoor space of tropical humid climate*. In PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture,2006, Geneva. Anais..., 2006, Geneva.

8. Apêndices

8.1. Definição do critério de conforto térmico

Foi necessário definir uma equação para calcular a condição de conforto térmico passivo nas edificações. Buscou-se um método simples, que demandasse um número reduzido de variáveis de entrada, assim o processo de simulação e tratamento dos dados para construção do bando de dados seria mais ágil. Sabia-se que o índice PMV de Fanger havia sido adaptado para o Rio de Janeiro por ZAMBRANO et al (2006). Entretanto, esse índice demanda uma vasta entrada de dados. Dentre os índices de conforto existentes, aqueles que denominados índices adaptativos demandam apenas a temperatura do ar para estabelecimento da condição de conforto térmico. Pereira e Assis (2010) compararam diferentes índices adaptativos para as distintas regiões brasileiras e verificaram que o mais adequado às regiões litorâneas é o índice de Humphreys (1978 apud PEREIRA e ASSIS, 2010), apresentado na equação a seguir.

$$T_n = 0,234 \cdot TMED + 12,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sendo: T_n : temperatura de conforto ou de neutralidade;

TMED: temperatura média mensal externa (normais climatológicas).

Faixa de conforto: $T_n \pm 2$ a $3 \text{ } ^\circ\text{C}$, exceto em condições de umidade relativa elevada. Neste caso $T_n \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fez-se, então, uma análise comparativa entre os dois índices. Para aplicação do índice de Fanger, além dos dados das normais climatológicas também usados na análise do índice adaptativo de Humphreys, foram feitas as seguintes considerações:

- Vestimentas: 0,4 clo
- Metabolismo: 1 met
- Taxa de atividade: 0
- Temperatura radiante igual a temperatura do ar

- Velocidade do ar: 0,2 m/s
- Fator de correção definido por ZAMBRANO et al (2006): 60%

A tabela 8.1 mostra os resultados da comparação realizada nos meses mais quentes do ano (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Novembro e Dezembro). Percebe-se que sempre que temperatura do ar externo (TMED) supera 28,5°C existe sensação de desconforto em ambos os índices e que a sensação de conforto existe em ambos os índices sempre que TMED é inferior a 26,5°C. Além disso, o mais relevante é observar que na maioria das horas analisadas os índices apresentam o mesmo indicativo, seja de conforto ou de *stress* térmico. Os momentos em que há divergência de avaliações, destacados na tabela, são principalmente em relação a *stress* por frio. Entende-se que o índice de Humphreys é um pouco rígido neste sentido, porque considera que num clima tropical as pessoas se encontram em *stress* térmico devido ao frio se a temperatura do ar externo estiver 1°C abaixo da temperatura neutra. Além disso, como foco do trabalho é o *stress* devido ao calor, considera-se que, apesar das diferenças observadas, o índice de Humphreys é adequado a aplicação no caso analisado.

Quadro 8.1 – Comparativo de índices de conforto

Legenda da tabela

Sensações PMV: LF – Leve frio; N – Normal; LQ – Leve calor; Q – Calor.

Sensações Tn: Stress – Calor (Tn+1); Stress* – Frio (Tn-1)

Hora	Janeiro					Fevereiro				
	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn
0	24,8	86,0	N	-2,1	STRESS*	25,2	85,0	N	-1,9	STRESS*
1	24,6	87,0	N	-2,2	STRESS*	25,0	86,6	N	-2,1	STRESS*
2	24,4	88,4	N	-2,5	STRESS*	24,7	88,1	N	-2,4	STRESS*
3	24,1	90,1	N	-2,8	STRESS*	24,4	90,0	N	-2,7	STRESS*
4	24,0	90,8	N	-2,9	STRESS*	24,2	90,8	N	-2,9	STRESS*
5	23,5	93,3	LF	-3,3	STRESS*	23,8	93,5	LF	-3,3	STRESS*
6	23,3	94,8	LF	-3,6	STRESS*	23,5	95,2	LF	-3,6	STRESS*

Continuação

7	23,7	92,3	LF	-3,2	STRESS*	24,0	92,4	N	-3,1	STRESS*
8	24,8	86,3	N	-2,1	STRESS*	25,1	85,3	N	-2,0	STRESS*
9	25,9	80,2	N	-1,0	CONFORTO	26,4	79,5	N	-2,0	STRESS*
10	26,9	76,0	N	0,0	CONFORTO	27,5	74,9	N	0,3	CONFORTO
11	27,7	72,7	N	0,8	CONFORTO	28,3	71,4	LQ	1,2	STRESS
12	28,5	69,6	N	1,6	STRESS	29,2	68,1	LQ	2,1	STRESS
13	28,7	68,7	LQ	1,8	STRESS	29,5	67,1	LQ	2,4	STRESS
14	29,3	66,6	LQ	2,4	STRESS	30,1	64,9	LQ	3,0	STRESS
15	29,4	66,2	LQ	2,5	STRESS	30,2	64,4	LQ	3,1	STRESS
16	29,2	67,1	LQ	2,3	STRESS	29,9	65,3	LQ	2,8	STRESS
17	28,9	68,0	LQ	2,0	STRESS	29,7	66,3	LQ	2,6	STRESS
18	28,5	69,6	LQ	1,6	STRESS	29,2	68,1	LQ	2,1	STRESS
19	26,6	77,3	N	-0,3	CONFORTO	27,1	76,3	N	0,0	CONFORTO
20	26,0	79,9	N	-0,9	CONFORTO	26,4	79,2	N	-0,7	CONFORTO
21	25,5	82,1	N	-1,4	STRESS*	25,9	81,6	N	-1,2	STRESS*
22	25,1	83,8	N	-1,9	STRESS*	25,5	83,4	N	-1,8	STRESS*
23	24,9	85,3	N	-1,8	STRESS*	25,3	84,4	N	-1,6	STRESS*
	Março					Abril				
Hora	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn
0	24,8	86,1	N	-2,1	STRESS*	23,4	86,0	LF	-2,7	STRESS*
1	24,6	87,1	N	-2,2	STRESS*	23,2	87,0	LF	-2,9	STRESS*
2	24,4	88,5	N	-2,5	STRESS*	23,0	88,3	LF	-3,1	STRESS*
3	24,1	90,3	N	-2,8	STRESS*	22,7	90,0	LF	-3,4	STRESS*
4	24,0	91,0	N	-2,9	STRESS*	22,5	90,6	LF	-3,5	STRESS*

Continuação

5	23,5	93,5	LF	-3,3	STRESS*	22,1	93,1	LF	-3,9	STRESS*
6	23,3	95,0	LF	-3,6	STRESS*	21,9	94,5	LF	-4,2	STRESS*
7	23,7	92,4	LF	-3,2	STRESS*	22,3	92,0	LF	-3,8	STRESS*
8	24,8	86,5	N	-2,1	STRESS*	23,3	86,3	LF	-2,8	STRESS*
9	25,9	80,3	N	-1,0	CONFORT O	24,4	80,3	N	-1,6	STRESS*
10	26,9	76,1	N	0,0	CONFORT O	25,4	75,3	N	-0,7	CONFORT O
11	27,7	72,9	N	0,8	CONFORT O	26,1	72,2	N	0,1	CONFORT O
12	28,5	69,7	LQ	1,6	STRESS	26,9	69,2	N	0,8	CONFORT O
13	28,7	68,8	LQ	1,8	STRESS	27,2	68,3	N	1,1	STRESS
14	29,3	66,7	LQ	2,4	STRESS	27,7	66,3	N	1,6	STRESS
15	29,4	66,3	LQ	2,5	STRESS	27,8	65,9	N	1,7	STRESS
16	29,2	67,2	LQ	2,3	STRESS	27,6	66,8	N	1,5	STRESS
17	28,9	68,1	LQ	2,0	STRESS	27,3	67,6	N	1,2	STRESS
18	28,5	69,7	LQ	1,6	STRESS	26,9	69,2	N	0,8	CONFORT O
19	26,6	77,4	N	-0,3	CONFORT O	25,1	76,6	N	-1,0	CONFORT O
20	26,0	80,1	N	-0,9	CONFORT O	24,5	80,0	N	-1,6	STRESS*
21	25,5	82,3	N	-1,4	STRESS*	24,0	82,5	N	-2,1	STRESS*
22	25,1	83,9	N	-1,9	STRESS*	23,7	84,4	LF	-2,6	STRESS*
23	24,9	85,5	N	-1,8	STRESS*	23,5	85,3	LF	-2,4	STRESS*
	Novembro					Dezembro				
Hora	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn	TMED	UR	Sensação PMV	TMED-Tn	Sensação Tn
0	22,9	85,9	LF	-2,9	STRESS*	24,0	87,1	LF	-2,5	STRESS*
1	22,7	86,8	LF	-3,1	STRESS*	23,8	88,2	LF	-2,7	STRESS*

2	22,5	88,2	LF	-3,4	STRESS*	23,5	89,6	LF	-2,9	STRESS*
3	22,2	89,9	LF	-3,7	STRESS*	23,2	91,4	LF	-3,2	STRESS*
4	22,1	90,6	LF	-3,8	STRESS*	23,1	92,1	LF	-3,3	STRESS*
5	21,6	93,1	LF	-4,2	STRESS*	22,6	94,7	LF	-3,8	STRESS*
6	21,4	94,5	LF	-4,4	STRESS*	22,4	96,2	LF	-4,0	STRESS*
7	21,8	92,0	LF	-4,0	STRESS*	22,8	93,6	LF	-3,6	STRESS*
8	22,8	86,2	LF	-3,0	STRESS*	23,9	87,5	LF	-2,5	STRESS*
9	24,0	80,1	LF	-1,9	STRESS*	25,1	80,6	N	-1,4	STRESS*
10	24,9	75,3	N	-0,9	CONFORT O	26,1	76,3	N	-0,4	CONFORT O
11	25,7	71,6	N	-0,1	CONFORT O	26,9	73,0	N	0,4	CONFORT O
12	26,5	68,6	N	0,7	CONFORT O	27,7	69,8	N	1,2	STRESS
13	26,7	67,7	N	0,9	CONFORT O	27,9	68,8	N	1,5	STRESS
14	27,3	65,7	N	1,4	STRESS	28,5	66,7	LQ	1,9	STRESS
15	27,4	65,3	N	1,6	STRESS	28,6	67,2	LQ	1,9	STRESS
16	27,2	66,1	N	1,3	STRESS	28,4	67,2	LQ	1,9	STRESS
17	26,9	67,0	N	1,1	STRESS	28,1	68,1	N	1,7	STRESS
18	26,5	68,6	N	0,7	CONFORT O	27,7	69,8	N	1,7	STRESS
19	24,6	76,8	N	-1,2	STRESS*	25,7	77,6	N	-0,7	CONFORT O
20	24,0	79,8	LF	-1,8	STRESS*	25,1	80,3	N	-1,3	STRESS*
21	23,6	82,3	LF	-2,3	STRESS*	24,6	83,4	N	-1,8	STRESS*
22	23,2	84,2	LF	-2,8	STRESS*	24,3	85,4	N	-2,4	STRESS*
23	23,0	85,2	LF	-2,6	STRESS*	24,1	86,5	N	-2,2	STRESS*

Elaborado pela autora

8.2. Construção do projeto padrão

Para elaboração do projeto padrão foi feito um levantamento dos lançamentos de imóveis na região de Jacarepaguá no Rio de Janeiro entre 2008 e 2010. Os resultados desse levantamento podem ser observados na tabela 8.2. A partir dessa amostra foram obtidos os valores médios dos ambientes de uma unidade habitacional, como mostrado na tabela 8.3. O valor do desvio padrão da amostra em relação aos dados médios são inferiores a 10% para os dois itens considerados mais relevantes: AT⁴³ (8,6%) e APP⁴⁴ (9,2%).

Tabela 8.1 - Levantamento de áreas de unidades habitacionais de três quartos

	Sala	Q 1	Q 2	Suíte	IS ⁴⁵	IS	Cozinha/AS	Varanda	AT	APP
1	16,8	6,6	7,7	12,5	3,9	3,9	9,5	7,7	68,4	43,6
2	21,2	8,4	9,1	12,0	2,9	2,9	9,5	2,7	68,5	50,7
3	16,6	6,1	9,8	11,7	3,2	3,2	8,2	9,9	68,6	44,2
4	13,8	8,4	7,5	11,0	3,4	3,1	8,2	13,5	68,8	40,7
5	17,8	8,6	9,3	14,0	3,2	4,1	8,1	4,0	68,9	49,7
6	15,1	5,5	8,1	11,9	4,4	4,4	15,6	4,8	69,9	40,6
7	18,6	7,0	9,0	13,0	3,5	3,2	7,4	8,9	70,5	47,5
8	21,5	7,2	10,9	11,9	3,5	3,0	8,2	5,7	71,8	51,5
9	18,7	6,8	9,4	10,1	3,0	3,3	9,4	11,2	72,0	45,0
10	18,6	7,8	8,8	10,9	2,8	3,4	12,0	7,9	72,3	46,2
11	19,7	6,8	9,7	12,4	4,0	3,0	8,5	8,3	72,4	48,5
12	17,4	8,2	8,5	13,3	2,9	2,9	8,0	11,8	73,0	47,3
13	17,2	7,3	9,0	13,4	3,6	5,0	9,0	8,8	73,2	46,8
14	17,1	8,0	8,1	13,0	3,8	3,3	10,3	9,8	73,4	46,2
15	21,7	9,5	9,5	15,5	2,5	2,5	9,0	5,3	75,5	56,3
16	20,1	7,0	10,2	11,7	3,0	3,0	10,2	10,5	75,6	49,0
17	19,6	6,5	9,2	11,3	2,7	3,4	14,8	8,3	75,8	46,6

⁴³ Área total da edificação, excetuando áreas de circulação.

⁴⁴ Área de permanência prolongada: quartos e salas.

⁴⁵ IS: Instalação sanitária. Uma delas é da suíte a outra de uso social.

continuação										
18	18,0	7,0	11,0	13,5	3,3	2,6	10,1	10,5	76,0	49,5
19	20,3	9,0	9,0	11,1	2,6	2,6	9,5	12,0	76,2	49,4
20	20,5	7,2	8,7	11,7	3,9	3,8	10,0	10,6	76,3	48,0
21	20,4	8,8	9,0	12,6	3,1	3,2	13,5	6,2	76,7	50,7
22	17,7	7,9	8,9	12,0	4,8	3,5	9,9	12,0	76,8	46,6
23	23,7	7,0	11,3	11,7	3,4	3,0	8,2	8,7	76,8	53,6
24	24,1	6,8	9,4	11,3	3,2	3,1	10,5	8,8	77,1	51,6
25	18,8	8,3	8,3	11,3	2,8	2,5	11,2	14,5	77,7	46,8
26	17,1	7,0	10,0	15,5	3,1	3,0	7,8	15,1	78,5	49,6
27	21,6	8,9	10,8	12,1	4,3	3,4	9,7	8,7	79,6	53,4
28	22,2	6,9	9,1	12,2	2,9	3,1	10,4	13,0	79,8	50,4
29	23,1	8,7	11,7	16,0	3,0	3,0	6,0	8,9	80,3	59,5
30	23,9	6,7	9,9	12,2	3,4	3,4	11,0	10,3	80,8	52,7
31	22,3	9,3	9,3	14,7	3,2	3,4	9,6	9,0	80,8	55,6
32	25,5	7,9	8,8	11,3	4,7	2,4	12,4	10,0	82,9	53,4
33	24,0	8,0	10,4	15,0	3,6	3,4	11,6	10,3	86,3	57,4
34	24,0	7,7	10,0	17,2	3,6	3,4	10,5	10,3	86,7	58,9
35	22,9	7,4	7,7	12,4	3,1	3,5	12,8	17,9	87,8	50,4
36	23,7	9,1	10,2	12,2	3,5	3,0	15,2	11,6	88,5	55,2
37	22,1	8,2	10,1	13,4	3,6	3,6	17,1	11,5	89,6	53,8
38	25,2	7,9	8,3	13,9	3,4	3,4	13,8	20,5	96,3	55,3

Obs.: Valores em m².
Elaborado pela autora

Tabela 8.2 – Valores médios das unidades habitacionais de 3 quartos

	Sala	Q 1	Q 2	Suíte	IS	IS	Cozinha/AS	Varanda	AT	APP
Média	20,3	7,7	9,4	12,7	3,4	3,3	10,4	10,0	77,1	50,1

Elaborado pela autora

8.3. Detalhamento da composição dos casos analisados usando o RESIDE.

A seguir são apresentadas as descrições detalhadas das oito situações analisadas no capítulo Resultados, bem como a figura referente à tela de análise do RESIDE. As tabelas 8.4 a 8.10 contêm as descrições de uma das situações. As opções destacadas se referem aos casos de referência daquela análise.

Quadro 8.2 – Situação de análise 1 e 2.

The screenshot shows the RESIDE software interface. At the top, there are tabs for 'Análise', 'Banco de Dados', and 'Ajuda'. Below the tabs, there are navigation arrows and a 'Limpar Tudo' button. The main area contains a table with columns for 'Opções' and five 'Critérios'. The 'Opção 9' row is highlighted in yellow. To the right of the table is a 'Desativar?' section with checkboxes. Further right is a 'Ranking' table with 'Ações' listed. To the right of that is an 'Análise de Sensibilidade' table with 'Ações' listed. At the bottom of the interface are buttons for 'Calcular Limites', 'Atualizar matriz de entrada e exibir resultados', and 'Sair'. There are also checkboxes for 'Usar Análise de Sensibilidade' and 'Limpar Casos de Referência'.

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
2	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
3	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
4	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
5	Sul	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
6	Sudoeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
7	Oeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
8	Noroeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
9	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
10	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
11	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
12	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

13	Sul	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
14	Sudoeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
15	Oeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
16	Noroeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

continuação

Elaborado pela autora

Quadro 8.3 – Situação de análise 3

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
2	Nordeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
3	Leste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
4	Sudeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
5	Sul	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
6	Sudoeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
7	Oeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
8	Noroeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Solar multifamiliar
9	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
10	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
11	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
12	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

						continuação
13	Sul	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
14	Sudoeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
15	Oeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
16	Noroeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Elaborado pela autora

Quadro 8.4 – Situação de análise 4

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Argamassa vermiculita	Unifamiliar gás (GN) passagem
2	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e barreira radiante	Unifamiliar gás (GN) passagem
3	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e manta lã de vidro	Unifamiliar gás (GN) passagem
4	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
5	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Ecotelhado	Unifamiliar gás (GN) passagem
6	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Elaborado pela autora

Quadro 8.5 – Situação de análise 5

The screenshot displays the 'Reside' software interface. At the top, there are tabs for 'Análise', 'Banco de Dados', and 'Ajuda'. Below the tabs, there are navigation arrows and a 'Limpar Tudo' button. The main area contains a table with columns for 'Opções' (Options) and 'Critério 1' through 'Critério 5' (Criteria). Option 12 is highlighted in yellow, with values 57.4, 29606.5, 100, 20, and 20. To the right, there is a 'Ranking' list showing 'A8, A7' as the top choice. Further right, the 'Análise de Sensibilidade' (Sensitivity Analysis) section shows '12' as the selected option. At the bottom of the interface, there are buttons for 'Calcular Limites', 'Atualizar matriz de entrada e exibir resultados', and 'Sair'. There are also checkboxes for 'Desativar?' and 'Usar Análise de Sensibilidade'.

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Argamassa vermiculita	Unifamiliar gás (GN) passagem
2	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e barreira radiante	Unifamiliar gás (GN) passagem
3	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e manta lã de vidro	Unifamiliar gás (GN) passagem
4	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
5	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Ecotelhado	Unifamiliar gás (GN) passagem
6	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Argamassa vermiculita	Unifamiliar gás (GN) passagem
7	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
8	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e barreira radiante	Unifamiliar gás (GN) passagem
9	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento e manta lã de vidro	Unifamiliar gás (GN) passagem
10	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
11	Norte	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Ecotelhado	Unifamiliar gás (GN) passagem
12	Norte	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Elaborado pela autora

Quadro 8.6 – Situação de análise 6

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
2	Leste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
3	Leste	Grande	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
4	Leste	Grande	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
5	Sudoeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
6	Sudoeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
7	Sudoeste	Grande	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
8	Sudoeste	Grande	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
9	Noroeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
10	Noroeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
11	Noroeste	Grande	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
12	Noroeste	Grande	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Bomba de calor
13	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
14	Sudoeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
15	Noroeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Elaborado pela autora

Quadro 8.7 – Situação de análise 7

The screenshot shows a software window titled "Reside - Decisão Eficiente para Projetos Residenciais". It features a menu bar with "Análise", "Banco de Dados", and "Ajuda". Below the menu is a toolbar with "Limpar Tudo" and five arrow icons. The main area contains a table with 16 rows (Opção 1 to Opção 16) and 5 columns (Critério 1 to Critério 5). The values in the table are: Opção 1: (70.9, 17701.7, 100, 30, 30); Opção 2: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 3: (70.9, 17701.7, 100, 10, 10); Opção 4: (70.9, 17701.7, 100, 10, 20); Opção 5: (70.9, 17701.7, 100, 10, 10); Opção 6: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 7: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 8: (70.9, 17701.7, 100, 10, 20); Opção 9: (70.9, 17701.7, 100, 30, 30); Opção 10: (70.9, 17701.7, 100, 30, 20); Opção 11: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 12: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 13: (70.9, 17701.7, 100, 10, 20); Opção 14: (70.9, 17701.7, 100, 20, 20); Opção 15: (); Opção 16: (). Below the table are fields for "Limite P", "Limite Q", and "Limite V" with their respective values. To the right of the table is a "Desativar?" section with checkboxes. Further right is a "Ranking" list showing "A10" as the top option, followed by "A9, A1", "A14, A12, A11, A7", "A5, A3", and "A13, A8, A4". To the right of the ranking is an "Análise de Sensibilidade" section showing "A10" as the top option, followed by "A14, A12, A11, A9", "A5, A3", and "A13, A8, A4". At the bottom of the interface are buttons for "Calcular Limites", "Atualizar matriz de entrada e exibir resultados", and "Sair".

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
1	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar solar
2	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GLP) passagem
3	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar elétrico passagem individual
4	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar elétrico passagem central
5	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar chuveiro elétrico
6	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) acumulação
7	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GLP) acumulação
8	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar elétrico acumulação
9	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar solar grandes volumes
10	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
11	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar gás (GN) acumulação
12	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar gás (GLP) acumulação

13	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar elétrico acumulação
14	Sudeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Elaborado pela autora

Quadro 8.8 – Situação de análise 8

Opção	Orientação	Abertura	Sombreamento	Vedação vertical	Cobertura	Sistema de aquecimento
Etapa 1						
1	Nordeste	Média	Não	Concreto 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
2	Nordeste	Média	Não	Concreto celular 10cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
3	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
4	Nordeste	Média	Não	Concreto 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
5	Nordeste	Média	Não	Concreto celular 10cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
6	Leste	Média	Não	Concreto 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
7	Leste	Média	Não	Concreto celular 10cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
8	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
9	Leste	Média	Não	Concreto 9cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem
10	Leste	Média	Não	Concreto celular 10cm	Termotelha	Unifamiliar gás (GN) passagem

continuação

11	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
12	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Etapa 2

The screenshot displays the 'Reside' software interface for residential project decisions. It features a main data table with 16 options and 5 criteria. The 'Ranking' and 'Análise de Sensibilidade' panels provide additional insights into the selected options. The interface is user-friendly with various navigation and analysis tools.

1	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar solar grandes volumes
2	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
3	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar solar grandes volumes
4	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
5	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
6	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

Etapa 3

Reside - Decisão Eficiente para Projetos Residenciais

Análise Banco de Dados Ajuda

Limpar Toda ↑ ↓ ↓ ↑ ↓

Pesos »	2	1	3	3	2
Opções	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
Opção 1	58	28813.8	100	30	20
Opção 2	59.4	25833.8	100	30	20
Opção 3	59.9	28839.3	100	30	20
Opção 4	61.3	26035.4	100	30	20
Opção 5	56.9	30196.5	100	30	20
Opção 6	58.1	27110.4	100	30	20
Opção 7	58.6	29977.2	100	30	20
Opção 8	59.8	26962.8	100	30	20
Opção 9	58	28813.8	100	20	20
Opção 10	56.9	30196.5	100	20	20
Opção 11					
Opção 12					
Opção 13					
Opção 14					
Opção 15					
Opção 16					

Desativar?

Ranking

Opções

A8, A6, A4, A2

A1

A3

A7

A5

A9

A10

Análise de Sensibilidade

10

Opções

A8, A6, A4, A2

A1

A3

A7

A5

A9

A10

Limite P 21.9705 10628.868 37.5 10.78125 7.5

Limite Q 4.98015 2409.2102 8.5 2.44375 1.7

Limite V 50.09255 24233.820 85.5 24.58125 17.1

Limpar Casos de Referência

Adicionar Casos de Referência

Usar Análise de Sensibilidade

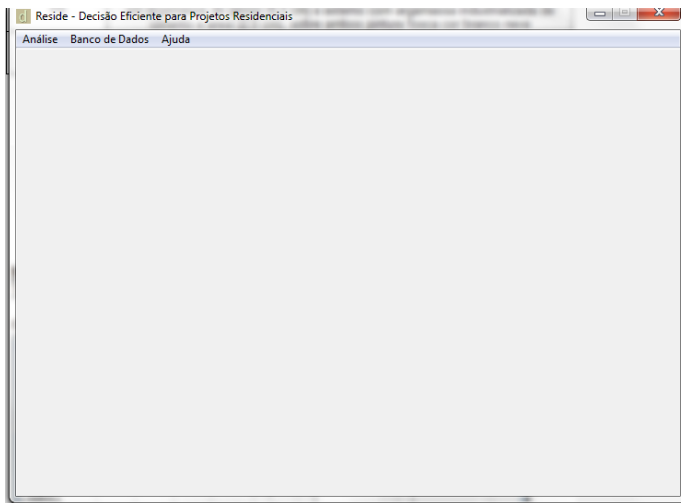
Calcular Limites **Atualizar matriz de entrada e exibir resultados** Sair

Crítério para desempate:
 C1 C4
 C2 C5
 C3
 Índice de Variação:
 2

1	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
2	Nordeste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
3	Nordeste	Grande	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
4	Nordeste	Grande	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
5	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
6	Leste	Média	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
7	Leste	Grande	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
8	Leste	Grande	Sim	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Multifamiliar bomba de calor
9	Nordeste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem
10	Leste	Média	Não	Cerâmico 9cm	Fibrocimento	Unifamiliar gás (GN) passagem

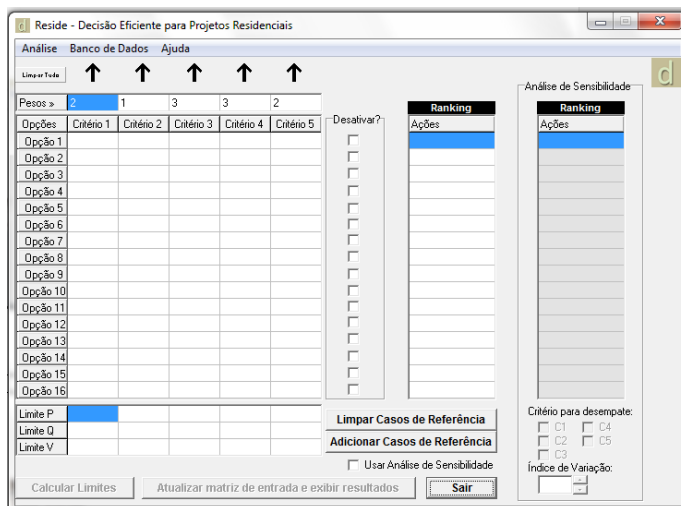
Elaborado pela autora

8.4. Manual RESIDE

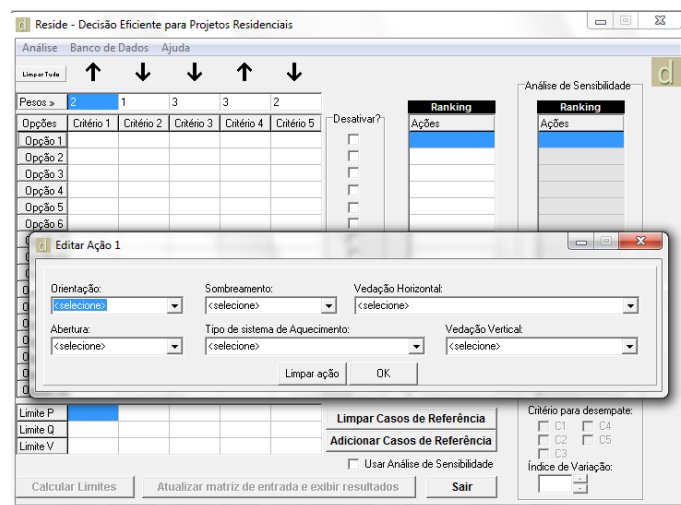


1º Passo – Selecionar o banco de dados no Menu Banco de Dados

2º Passo – No Menu Análise optar por uma Nova Análise ou por Carregar uma Análise existente



3º Passo: Acima da linha de pesos há cinco setas, cada uma corresponde ao peso e ao critério dispostos imediatamente abaixo. As setas voltadas para cima indicam que o critério é diretamente proporcional e, voltadas para baixo que é inversamente proporcional. Deve-se clicar sobre as setas referentes aos critérios 2, 3 e 5 para inverter o sentido das mesmas.



4º Passo: Clique sobre a caixa “Opção 1” para selecionar as características dessa alternativa. Uma nova janela se abrirá, na qual há as opções para seleção. Repita o procedimento para todas as alternativas de interesse.

5º Passo: Após adicionar todos os casos de interesse, clique no botão “Adicionar Casos de Referência”.

Apêndices

Reside - Decisão Eficiente para Projetos Residenciais

Análise Banco de Dados Ajuda

Limpar Tabela

Pesos: 2 1 3 3 2

Opções	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
Opção 1	57	29541.5	142.04	10	10
Opção 2	56.6	30114.2	142.04	10	10
Opção 3	56.8	29850.8	181.22	10	10
Opção 4	56.4	30323.8	181.22	10	10
Opção 5	57.4	29606.5	100	20	20
Opção 6	56.9	30196.5	100	20	20
Opção 7					
Opção 8					
Opção 9					
Opção 10					
Opção 11					
Opção 12					
Opção 13					
Opção 14					
Opção 15					
Opção 16					

Limite P: Limite Q: Limite V:

Ranking: Ações

Análise de Sensibilidade: Ações

Limpar Casos de Referência Adicionar Casos de Referência Usar Análise de Sensibilidade

Calcular Limites Atualizar matriz de entrada e exibir resultados Sair

6º Passo: Clique no Botão “Calcular Limites”.

7º Passo: Clique no Botão “Atualizar matriz de entrada e exibir resultados”. O RESIDE irá apresentar o *ranking* de resultados da análise realizada. Caso haja interesse em realizar uma análise de sensibilidade do *ranking* apresentado, deve-se prosseguir para o passo seguinte. Caso contrário, a análise está finalizada.

Reside - Decisão Eficiente para Projetos Residenciais

Análise Banco de Dados Ajuda

Limpar Tabela

Pesos: 2 1 3 3 2

Opções	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
Opção 1	57	29541.5	142.04	10	10
Opção 2	56.6	30114.2	142.04	10	10
Opção 3	56.8	29850.8	181.22	10	10
Opção 4	56.4	30323.8	181.22	10	10
Opção 5	57.4	29606.5	100	20	20
Opção 6	56.9	30196.5	100	20	20
Opção 7					
Opção 8					
Opção 9					
Opção 10					
Opção 11					
Opção 12					
Opção 13					
Opção 14					
Opção 15					
Opção 16					

Limite P: 31.303 11228.25 52.9965 4.6875 4.6875
Limite Q: 4.8297 2545.07 12.0122 1.0625 1.0625
Limite V: 48.5849 25600.41 120.8324 10.6875 10.6875

Ranking: Ações
A5, A5
A2, A1
A4, A3

Análise de Sensibilidade: 6

Limpar Casos de Referência Adicionar Casos de Referência Usar Análise de Sensibilidade

Calcular Limites Atualizar matriz de entrada e exibir resultados Sair

8º Passo: Clique sobre a caixa “Usar Análise de Sensibilidade”.

9º Passo: Selecionar o(s) critério(s) para análise.

10º Passo: Inserir número racional positivo na caixa “Índice de Variação”.

Reside - Decisão Eficiente para Projetos Residenciais

Análise Banco de Dados Ajuda

Limpar Tabela

Pesos: 2 1 3 3 2

Opções	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
Opção 1	57	29541.5	142.04	10	10
Opção 2	56.6	30114.2	142.04	10	10
Opção 3	56.8	29850.8	181.22	10	10
Opção 4	56.4	30323.8	181.22	10	10
Opção 5	57.4	29606.5	100	20	20
Opção 6	56.9	30196.5	100	20	20
Opção 7					
Opção 8					
Opção 9					
Opção 10					
Opção 11					
Opção 12					
Opção 13					
Opção 14					
Opção 15					
Opção 16					

Limite P: 31.303 11228.25 52.9965 4.6875 4.6875
Limite Q: 4.8297 2545.07 12.0122 1.0625 1.0625
Limite V: 48.5849 25600.41 120.8324 10.6875 10.6875

Ranking: Ações
A5, A5
A2, A1
A4, A3

Análise de Sensibilidade: 6

Limpar Casos de Referência Adicionar Casos de Referência Usar Análise de Sensibilidade

Calcular Limites Atualizar matriz de entrada e exibir resultados Sair

11º Passo: Clique no Botão “Atualizar matriz de entrada e exibir resultados”. O RESIDE irá apresentar o *ranking* de resultados da análise de sensibilidade realizada.

9. Anexos

9.1. Definição dos limites P, Q e V

O procedimento de definição dos limites de preferência 'P', indiferença 'Q' e veto 'V' foram determinados originalmente no código-fonte do CELECTRE por Castro (2005). Optou-se por manter o mesmo procedimento no código-fonte do RESIDE. Entretanto, vale ressaltar que assim como os pesos, os limites são valores que introduzem certa subjetividade na análise. Neste programa o usuário pode adotar os valores defaults, obtidos pelo procedimento descrito a seguir, ou, preferindo, pode informar os limites seguindo outro critério.

Deve-se iniciar o cálculo pelo limite de preferência 'P' fazendo o somatório de todos os valores atribuídos ao critério A, excluindo o valor extremo mais alto e mais baixo. A resultante deve ser multiplicada por 500 e depois dividida pelo número de alternativas menos dois (referentes ao valor mais alto e mais baixo). O resultado deve ser arredondado para um número inteiro e em seguida dividido por 1000. Para chegar ao valor do limite 'P' deve-se multiplicar o valor obtido por 0.75.

O passo seguinte é calcular o limite de indiferença 'Q' para o mesmo critério A. O procedimento é o mesmo adotado para o limite 'P'. Entretanto, a resultante do somatório, excetuando os valores extremos, deve ser multiplicado por 100 e não por 500. Já o resultado final que no limite 'P' foi multiplicado por 0.75, deve ser multiplicado por 0.85.

Por fim, calcula-se o limite de veto 'V' seguindo o mesmo procedimento e novamente alterando os valores a serem multiplicados. No lugar de 500 usado para o limite 'P', deve-se multiplicar por 900. E onde se multiplica por 0.75 para o limite 'P', deve-se multiplicar por 0.95 para o limite 'V'.

9.2. Condições de modelagem de acordo com RTQ-R (versão 2010)

As definições e os procedimentos para modelagem dos arquivos de simulação, apresentadas a seguir, foram retirados na íntegra do RTQ-R versão 2010.

9.2.1. Condições para a modelagem da envoltória

“A modelagem da envoltória da edificação deve considerar que:

- Para as UHs, cada ambiente deve ser modelado como uma única zona térmica, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação;
- Para as edificações multifamiliares de até 10 pavimentos, todas as UHs do pavimento tipo, do térreo e da cobertura devem ser modeladas, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação. Cada ambiente da UH deve ser modelado como uma zona térmica;
- Para as edificações multifamiliares que possuem mais de 10 pavimentos deve-se seguir as orientações do item anterior, com exceção dos pavimentos tipo, que não precisam ser todos modelados: deve-se modelar um pavimento a cada 5 pavimentos tipo;
- Os dispositivos de sombreamento devem ser modelados conforme o projeto sob avaliação;
- O ático da cobertura pode ser modelado como uma zona térmica;
- Os ambientes comuns das edificações multifamiliares, tais como circulação vertical, corredores, hall de entrada e similares, podem ser modelados agrupados em uma única zona térmica, desde que esta modelagem não interfira na ventilação natural das UHs;
- As garagens que tiverem contato com UHs devem ser simuladas como uma zona térmica” (INMETRO, 2010, p. 67-68).

9.2.2. Modelagem do sistema de ventilação natural

“A modelagem do sistema de ventilação natural da edificação deve considerar que:

- Todos os ambientes da UH que possuem aberturas para ventilação devem ser modelados no sistema de ventilação natural. As aberturas que proporcionam a ventilação (portas e janelas) devem possuir as mesmas coordenadas cartesianas do projeto sob avaliação;
- O coeficiente de rugosidade do entorno (α) deve ser de 0,33, que representa um terreno de centro urbano no qual pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21 m. Mesmo que a UH não esteja em centro urbano, este valor deve ser utilizado na simulação;

Observação: O valor recomendado é baseado na ASHRAE Handbook of Fundamentals (2009) que estabelece o expoente $\alpha = 0,33$ e $\delta = 460$ ⁴⁶ para a camada limite.

- Os coeficientes de pressão superficial (CP) podem ser estimados através de experimentos em túnel do vento, bancos de dados de medições em túnel de vento ou calculados pelas equações de Swami e Chandra (1988) e Akins et al. (1979), que estimam os coeficientes de pressão médios das superfícies de edificações baixas e altas, respectivamente. As bases de dados de coeficientes de pressão recomendadas são Pressure Database1, CP Generator2 e o CPCALC+;
- O coeficiente de descarga (CD) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,60. Para outros formatos que não retangulares pode-se usar outros valores, desde que justificados;
- O coeficiente do fluxo de ar por frestas⁴⁷ (CQ) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,001 kg/s.m e o expoente do fluxo de ar (n)⁴⁸ deve

⁴⁶ Espessura da camada limite, em metros.

⁴⁷ Coeficiente de infiltração de ar

⁴⁸ Coeficiente de perda de carga nas aberturas não-pivotantes.

ser 0,65. Para outros formatos que não retangulares pode-se usar outros valores, desde que justificados;

- O padrão de uso⁴⁹ da ventilação natural pode ser através da estratégia de controle automático, por temperatura ou entalpia. Também há a opção de controlar a ventilação por períodos determinados, através de padrões horários.

Observação: O controle automático por temperatura é realizado através de um padrão de uso de temperatura que controla a abertura das janelas, a qual habilita a abertura da janela quando a temperatura do ar do ambiente (T_{int}) é igual ou superior à temperatura do termostato ($T_{int} \geq T_{termostato}$) e também quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$). Nas simulações do método prescritivo deste RTQ foi adotada a temperatura de termostato ($T_{termostato}$) de 20°C.

9.2.3. Padrão de ocupação

O padrão mínimo de ocupação dos dormitórios deve ser de duas pessoas por ambiente e a sala deve ser utilizada por todos os usuários dos dormitórios. Caso exista mais de uma sala ou ambiente de permanência prolongada que não dormitórios, a população descrita na coluna “sala” da Tabela 3.39 pode ser distribuída entre estes ambientes.

Deve ser modelado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme os horários de ocupação apresentados na Tabela 9.1. A ocupação do ambiente é representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente deve ser adotada a taxa metabólica para cada atividade, conforme recomendado na Tabela 9.2. Os valores recomendados para as taxas foram baseados na ASHRAE Handbook of Fundamentals (2009), considerando uma área de pele média de 1,80 m²

⁴⁹ É o perfil de utilização das aberturas.

(equivalente à área de pele de uma pessoa média). Quando a cozinha for ocupada por mais de uma pessoa, somente uma estará com taxa metabólica de 95 W/m², os outros ocupantes podem estar com taxas metabólicas de 60 W/m².

Tabela 9.1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	0	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

Tabela 9.2 – Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido para área de pele = 1,80m ² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	40	81

9.2.4. Padrão de uso da iluminação

A modelagem deve ser realizada para os ambientes de permanência prolongada, considerando dois padrões de uso da iluminação: um para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme apresentado na Tabela 9.3.

Os valores 100% representam os horários do uso da iluminação e os valores 0% representam que a iluminação do ambiente está desligada.

Caso exista mais de uma sala ou ambiente de permanência prolongada que não dormitórios, o padrão de uso da iluminação descrito na coluna “sala” da Tabela 9.3 deve ser utilizado para estes ambientes.

Tabela 9.3 – Padrão de uso de iluminação

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h	0	0	0	0
2h	0	0	0	0
3h	0	0	0	0
4h	0	0	0	0
5h	0	0	0	0
6h	0	0	0	0
7h	100	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	0	0	0
11h	0	0	0	100
12h	0	0	0	100
13h	0	0	0	0
14h	0	0	0	0

continuação				
15h	0	0	0	0
16h	0	0	0	0
17h	0	0	100	100
18h	0	0	100	100
19h	0	0	100	100
20h	0	0	100	100
21h	100	100	100	100
22h	100	100	0	0
23h	0	0	0	0
24h	0	0	0	0

Os ambientes de permanência prolongada devem ser modelados com densidades de potência instalada de iluminação conforme a Tabela 9.4.

Tabela 9.4 – Densidade de potência instalada de iluminação

Ambiente	DPI (W/m ²)
Sala	5,0
Dormitórios	6,0

9.2.5. Cargas internas de equipamentos

As cargas internas de equipamentos devem ser modeladas para a sala. O período e a potência das cargas internas são apresentados na Tabela 9.5.

Tabela 9.5 – Carga interna de equipamentos

Ambiente	Período	Potência (W/m ²)
Sala	24h	1,5

Observação: Para a simulação do ambiente devem ser consideradas as potências dos equipamentos para o período de 24 horas do dia durante todo o período de simulação” (INMETRO, 2010, p.70-75).