

Aline Schaefer da Rosa

**DETERMINAÇÃO DE MODELOS DE REFERÊNCIA DE
HABITAÇÕES POPULARES UNIFAMILIARES PARA
FLORIANÓPOLIS ATRAVÉS DE ANÁLISE DE
AGRUPAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Aline Schaefer da

Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento / Aline Schaefer da Rosa ; orientador, EneDir Ghisi - Florianópolis, SC, 2014.

198 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Análise de agrupamento. 3. Desempenho termo-energético. 4. Habitação popular. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Aline Schaefer da Rosa

DETERMINAÇÃO DE MODELOS DE REFERÊNCIA DE
HABITAÇÕES POPULARES UNIFAMILIARES PARA
FLORIANÓPOLIS ATRAVÉS DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Eneid Ghisi, Ph.D.
Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Aldomar Pedrini, Ph.D.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 15 de setembro de 2014.

AGRADECIMENTOS

A realização deste estudo foi uma longa jornada e muito há para agradecer às pessoas que durante esse tempo cruzaram a minha vida.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais e avós, pelo incentivo constante à minha dedicação aos estudos (mesmo com as perguntinhas “e quando vais começar a trabalhar?”).

Aos meus irmãos, pelo carinho e companhia.

Aos meus amigos “TDFs”, irmãos por escolha, pela compreensão quanto à distância e ausência frequente nos encontros.

À querida amiga Ângela, por enlouquecer comigo.

A todos os “FINEPs”, pelas aventuras em campo e trabalho em laboratório.

Ao Abel, que me apresentou a este projeto de pesquisa e com quem iniciei minha caminhada aqui, sempre me oferecendo muito apoio.

À Bruna, por ter atendido tantas vezes aos meus pedidos de “dá só uma olhadinha”.

À Laiane e ao Arthur, por me lembrarem que sempre verei um par de pegadas ao olhar para trás.

Ao Alex e à Ana Kelly, pelas “morcegadas” noturnas no laboratório.

Ao Miguel, Márcio e Rogério, sempre disponíveis para tirar uma dúvida ou para dar alguma orientação.

Às “meninas” do laboratório, pelo bate-papo, descontração e terapia em grupo na cozinha.

À turminha do RU, pelos almoços divertidos e repletos de conhecimento.

Às meninas da secretaria, sempre lembrando dos prazos e documentos.

Aos professores Bearzoti, Borgatto e Barbetta, pelos mesmo que breves mas esclarecedores momentos sobre os procedimentos estatísticos utilizados nessa pesquisa.

Ao professor Enedir, por ter aceitado o desafio de me orientar, pela oportunidade de participar do projeto FINEP, pelas correções divertidas e bem humoradas e, principalmente, pela enorme paciência.

À FINEP, por financiar meus estudos.

E especialmente ao meu marido Flavio, por me dar forças, ajudar, acalmar, animar, ensinar, orientar, descontrair, puxar a orelha e ser o meu maior exemplo de dedicação.

*“And when at last the work is done
don't sit down,
it's time to dig another one”*

(WATERS, GILMOUR e WRIGHT, 1973)

RESUMO

As edificações são responsáveis por uma parte expressiva do consumo de energia no mundo, motivo pelo qual diversos estudos são realizados para elaboração de normas e diretrizes que visam à eficiência energética nesse setor. Para isso, o uso de modelos de referência, determinados a partir das características de todo um estoque, tem se tornado essencial em estudos envolvendo desempenho termo-energético de edificações. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar modelos de referência de habitações populares unifamiliares na região de Florianópolis através da análise de agrupamento, para estudos de desempenho termo-energético. O método foi dividido em três etapas: levantamento dos dados em campo, determinação de modelos de referência através da análise de agrupamento e simulação dos modelos. Em cada etapa, os dados foram tratados em dois blocos de informação distintos: forma das habitações e materiais utilizados. O levantamento de dados foi realizado através da aplicação de questionários semiestruturados. As informações coletadas foram resumidas, compondo uma matriz de dados que serviu de base para a etapa seguinte. A análise de agrupamento foi realizada com o programa *SPSS Statistics* (IBM, v.20), utilizando-se técnicas hierárquicas (algoritmo *Ward*) para determinação da quantidade de agrupamentos a serem formados e não hierárquicas (*k-means*) para formação final dos agrupamentos. Os modelos de referência foram determinados a partir das habitações com menor distância ao centro de cada agrupamento. Os modelos encontrados foram, então, submetidos à simulação computacional com o programa *Energyplus* e seus resultados comparados com os resultados das simulações da amostra de habitações de cada agrupamento através de testes de hipóteses para uma amostra. A partir dos levantamentos obteve-se uma amostra composta por 120 unidades habitacionais localizadas em cinco diferentes regiões de Florianópolis. Habitações com dados incompletos foram excluídas da amostra, de forma que os levantamentos referentes à forma e aos materiais foram compostos por 103 e 106 habitações, respectivamente. A análise de agrupamento referente à forma resultou em dois modelos: um composto por habitações com sala e cozinha conjugadas, dois dormitórios e área total de 37m², enquanto o segundo possui sala e cozinha separadas, três dormitórios e área total de 76m². Quanto aos materiais e sistemas construtivos, três modelos com características diferentes foram encontrados: dois deles possuem paredes com bloco cerâmico e piso de concreto com revestimento cerâmico, e o terceiro

com paredes e piso de madeira. A composição da cobertura foi o único item distinto nos três modelos: o primeiro composto por laje de concreto, sem telha e sem forro, o segundo por telha cerâmica e forro de madeira e o terceiro por telha de fibrocimento e forro de madeira. A partir das simulações, verificou-se que, para a maioria das variáveis, os resultados obtidos com os modelos aproximaram-se da mediana da amostra de habitações, indicando que os modelos obtidos são representativos do seu agrupamento. Concluiu-se, por fim, que a análise de agrupamentos é uma técnica aplicável à determinação de modelos de referência de edificações. Entretanto, é uma técnica muito suscetível às variáveis envolvidas na análise e, portanto, deve-se ter muito cuidado ao selecioná-las, tendo sempre em mente as limitações associadas ao seu uso.

Palavras-chave: habitação popular, análise de agrupamento, desempenho termo-energético de edificações.

ABSTRACT

Buildings are responsible for a significant portion of energy consumption in the world, which is why many studies are conducted to develop standards and guidelines aimed at energy efficiency in this sector. For this reason, the use of reference buildings, derived from all the features of a stock, has become an important topic in studies involving thermal and energy performance of buildings. The objective of this study was to determine reference buildings of low-income housing in the region of Florianópolis (SC, Brazil) through cluster analysis, for further use in studies of thermal and energy performance. The research method was divided into three parts: field data collection, determination of reference building through cluster analysis and performance of the models. At each step, data were divided into two distinct blocks of information: the design of housing and materials used. The survey was conducted by applying semi-structured questionnaires. Data were summarized for composing an array of data that formed the basis for the next step. Cluster analysis was then performed with the SPSS program (IBM, v.20), using hierarchical techniques (Ward algorithm) in order to determine the number of clusters to be formed and non-hierarchical techniques (k-means) for final grouping. Reference buildings were determined from households with the lowest distance to the center of each cluster. The models found were subjected to computer simulation with the EnergyPlus program and their results were compared to the simulation results of the whole sample of households in each group with statistical hypothesis tests. The sample consisted of 120 dwellings located in five different regions of Florianópolis. Households with missing data were excluded from the sample, so that the groups regarding the design and materials were composed by 103 and 106 dwellings, respectively. Cluster analysis for the design resulted in two reference buildings: one with households with combined living room and kitchen, two bedrooms and a total area of 37m², while the second had living room and kitchen in separated rooms, three bedrooms and a total area of 76m². Three models with different characteristics were found for the material block of information: two of them had walls with ceramic block and concrete floor with ceramic tile, and the third with walls and wood floors. The composition of the roof was different in all three groups: the first consists of concrete slab without tile and lining, the second for ceramic tile and wood lining and the third by cement tile and wood lining. In the simulations, it was found that the results

obtained with the reference buildings do not coincide with the average results of the sample of each type of housing for every variable of design block, but were very similar for two of the three models referring to material. Finally, it is possible to state that the reference buildings obtained are representative of their cluster and that cluster analysis is applicable to the determination of reference buildings. However, it is very susceptible to variables involved in the analysis and therefore one should be very careful while selecting them, keeping in mind the limitations associated with their use.

Key words: low-income housing, cluster analysis, thermal behavior in buildings.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	29
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	29
1.2. OBJETIVOS.....	33
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	33
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	33
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	34
1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO	34
2. REVISÃO DE LITERATURA	37
2.1. DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	37
2.2. MODELOS DE REFERÊNCIA EM ESTUDOS TERMO- ENERGÉTICOS.....	41
2.2.1. <i>Aplicações</i>	42
2.2.2. <i>Métodos</i>	44
2.2.3. <i>Estudos de desempenho termo-energético a partir de modelos de referência</i>	48
2.3. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....	52
2.3.1. <i>Procedimentos adotados na análise de agrupamento</i>	53
2.3.2. <i>Estudos envolvendo análise de agrupamento</i>	63
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA	67
3. MÉTODO	69
3.1. LEVANTAMENTO DOS DADOS EM CAMPO	70
3.1.1. <i>Delimitação do objeto de estudo</i>	71
3.1.2. <i>Levantamento dos dados socioeconômicos</i>	73
3.1.3. <i>Levantamento dos dados referentes à forma das edificações</i>	73
3.1.4. <i>Levantamento dos dados dos materiais que compõem as edificações</i>	74
3.2. DETERMINAÇÃO DOS MODELOS	77
3.3. SIMULAÇÃO DOS MODELOS.....	86
3.3.1. <i>Configuração dos arquivos para simulação</i>	86
3.3.2. <i>Análise dos resultados</i>	89
4. RESULTADOS	93
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS	93
4.1.1. <i>Delimitação do objeto de estudo</i>	93

<i>4.1.2. Levantamento dos dados socioeconômicos.....</i>	<i>93</i>
<i>4.1.3. Levantamento dos dados referentes à forma das edificações.....</i>	<i>97</i>
<i>4.1.4. Levantamento dos dados dos materiais que compõem as edificações.....</i>	<i>105</i>
4.2. DETERMINAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA.....	112
<i>4.2.1. Modelos de referência quanto à forma.....</i>	<i>112</i>
<i>4.2.2. Modelos de referência quanto aos materiais.....</i>	<i>132</i>
4.3. SIMULAÇÃO DOS MODELOS	151
<i>4.3.1. Resultados para forma</i>	<i>151</i>
<i>4.3.2. Resultados para materiais.....</i>	<i>154</i>
5. CONCLUSÃO	161
5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	163
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	165
REFERÊNCIAS.....	167
APÊNDICE 1: QUESTIONÁRIOS APLICADOS E INTRUÇÕES TÉCNICAS PARA SUA APLICAÇÃO.....	175
APÊNDICE 2: ROTINAS DE VENTILAÇÃO ADOTADAS NAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS DE REFERÊNCIA.....	189
APÊNDICE 3: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS EDIFICAÇÕES LEVANTADAS EM CAMPO.....	191

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quatro categorias utilizadas para definir o modelo de referência.	45
Figura 2: Metodologia segundo a EPBD recast para obtenção dos modelos de referência.	47
Figura 3: Procedimento para realização do balanço térmico utilizando modelos de referência.	48
Figura 4: Distância euclidiana.....	54
Figura 5: Exemplo de processos hierárquicos.....	55
Figura 6: Exemplo de dendograma.	56
Figura 7: Representação de alguns algoritmos de partição: (a) Método da Média das Distâncias. (b) Método de Ligação Simples. (c) Método de Ligação Completa.	57
Figura 8: Estágios da análise de agrupamentos segundo Hair et al. (2009).....	60
Figura 9: Estágios 1-3 do diagrama de decisão segundo Hair et al. (2009).....	61
Figura 10: Estágios 4-6 do diagrama de decisão segundo Hair et al. (2009).....	62
Figura 11: Resumo do método.	70
Figura 12: Localização de Florianópolis.....	72
Figura 13: Regiões onde foram realizados os levantamentos: (a) Norte da ilha. (b) Foz do Rio. (c) Centro. (d) Jardim El Dourado. (e) Jardim Aquários.	72
Figura 14: Espectrômetro ALTA II.	75
Figura 15: Construção da matriz de similaridade com a distância euclidiana quadrada.	80
Figura 16: Formação dos agrupamentos pelo processo hierárquico.	81
Figura 17: Processo de construção do dendograma.	81
Figura 18: Formação dos agrupamentos pelo processo não hierárquico.....	83
Figura 19: Quantidade de habitações levantadas por região.	93
Figura 20: Frequência da quantidade de habitações conforme a quantidade de habitantes.	94
Figura 21: Quantidade de habitações para cada perfil familiar.....	94
Figura 22: Fonte de renda para construção e apropriação do imóvel.....	95
Figura 23: Porcentagem de casos em que o morador realiza trabalho remunerado em casa.....	95
Figura 24: Porcentagem de habitações por faixa de renda familiar.	96
Figura 25: Porcentagem de habitações por faixa de renda per capita.	96

Figura 26: Porcentagem da existência de ambientes.	97
Figura 27: Porcentagem de habitações conforme a quantidade de dormitórios existentes.....	98
Figura 28: Porcentagem de habitações conforme a quantidade de banheiros existentes.....	98
Figura 29: Porcentagem de ocorrência referente à orientação da fachada frontal.....	99
Figura 30: Porcentagem de habitações por quantidade de pavimentos.....	99
Figura 31: Proporção entre as dimensões das fachadas.....	100
Figura 32: Porcentagem de ocorrência das dimensões de cada fachada de todas as habitações por orientação.....	101
Figura 33: Frequência de ocorrência da área total da edificação.....	102
Figura 34: Frequência de ocorrência das áreas da sala e cozinha da habitação.....	102
Figura 35: Frequência de ocorrência da soma das áreas dos dormitórios da habitação.....	103
Figura 36: Frequência de ocorrência das médias das áreas dos dormitórios da habitação.....	104
Figura 37: Áreas dos dormitórios principal e secundário em cada habitação.....	105
Figura 38: Composição das paredes.....	106
Figura 39: Composição da cobertura.....	107
Figura 40: Porcentagem de ocorrência das composições das cobertura da amostra.....	108
Figura 41: Composição dos pisos.....	109
Figura 42: Materiais das esquadrias.....	109
Figura 43: Cores encontradas na pintura externa das paredes.....	110
Figura 44: Valores de absorvância encontrados para cada cor.....	111
Figura 45: Variação nas tonalidades de azul encontrada na amostra.....	111
Figura 46: Absortância média de cada cor.....	112
Figura 47: Dendograma do processo hierárquico da forma.....	118
Figura 48: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis envolvidas na análise referente à forma.....	124
Figura 49: Dendograma do processo hierárquico dos materiais.....	136
Figura 50: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos do modelo de referência do agrupamento 1.....	148
Figura 51: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos do modelo de referência do agrupamento 2.....	149
Figura 52: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos dos modelos de referência do agrupamento 3.....	150

Figura 53: Diagrama de caixas referente ao valor de graus hora de todas as habitações de cada agrupamento para cada variável do bloco da forma.	155
Figura 54: Diagrama de caixas referente ao valor de graus hora de todas as habitações de cada agrupamento para cada variável do bloco dos materiais.	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de modelos de referência para a Itália.	43
Quadro 2: Testes de hipóteses utilizados para verificação quanto à adequação dos agrupamentos formados.	84
Quadro 3: Apresentação dos resultados da análise de agrupamento para cada bloco.	85
Quadro 4: Configuração dos parâmetros no programa de simulação.	88
Quadro 5: Variáveis utilizadas para a comparação dos resultados dos modelos e das demais habitações da amostra.	90
Quadro 6: Testes de hipóteses utilizados nas análises.	91
Quadro 7: Variáveis consideradas na análise de agrupamento referentes à forma da edificação.	113
Quadro 8: Variáveis consideradas na análise de agrupamento referente aos materiais.	133
Quadro 9: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis da análise para solução de dois agrupamentos.	141
Quadro 10: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis da análise para solução de três agrupamentos.	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de referência da refletância do papel Ripax para cada faixa de cor.	76
Tabela 2: Valores de taxa metabólica por ambiente.....	87
Tabela 3: Medidas estatísticas das áreas.	105
Tabela 4: Identificação de potenciais objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis para a forma.	114
Tabela 5: Características dos objetos identificados como atípicos para todas as variáveis envolvidas na análise.....	116
Tabela 6: Programa de aglomeração do processo hierárquico da forma.	119
Tabela 7: Variação dos percentuais de heterogeneidade a cada etapa do processo hierárquico referente à forma.	121
Tabela 8: Intervalo de soluções dos agrupamentos do processo hierárquico referente à forma.	122
Tabela 9: Comparação das médias das variáveis quantitativas dos agrupamentos referentes à forma, através do teste U de Mann-Whitney (nível de significância $p < 0,05$).	123
Tabela 10: Comparação das médias das variáveis qualitativas dos agrupamentos referentes à forma, através do teste Qui-quadrado (nível de significância $p < 0,05$).	123
Tabela 11: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise da forma.	126
Tabela 12: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis quantitativas envolvidas na análise da forma.	127
Tabela 13: Configuração do modelo de referência do agrupamento 1 da forma.	130
Tabela 14: Configuração do modelo de referência do agrupamento 2 da forma.	131
Tabela 15: Identificação de potenciais objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis do bloco dos materiais	134
Tabela 16: Programa de aglomeração do processo hierárquico dos materiais.	137
Tabela 17: Variação dos percentuais de heterogeneidade a cada etapa do processo hierárquico referente aos materiais.....	138
Tabela 18: Intervalo de soluções dos agrupamentos do processo hierárquico referente aos materiais.	138

Tabela 19: Comparação entre as duas soluções baseada na significância estatística da formação dos agrupamentos (ANOVA Kruskal Wallis).	140
Tabela 20: Teste Qui-quadrado para igualdade entre as variáveis qualitativas dos agrupamentos referente ao bloco de materiais (nível de significância $p < 0,05$).....	143
Tabela 21: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise referente aos materiais.	144
Tabela 22: Comparação de médias entre os agrupamentos da forma através do teste U de Mann-Whitney (nível de significância $p < 0,05$)	152
Tabela 23: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 1 do bloco da forma através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)	153
Tabela 24: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 2 do bloco da forma através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)	153
Tabela 25: Comparação de médias entre os agrupamentos de materiais através do teste Kruskal Wallis (nível de significância $p < 0,05$)	156
Tabela 26: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 1 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$).....	157
Tabela 27: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 2 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$).....	157
Tabela 28: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 3 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$).....	158

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

As edificações são, do ponto de vista funcional ao ponto de vista da estética, elementos fundamentais em nossas vidas. Entretanto, são também os maiores contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa, sendo responsáveis pelo consumo de mais de um terço da demanda de energia, um sexto do consumo de água potável e pela geração de aproximadamente 40% dos resíduos sólidos no mundo. Dentre os recursos gastos durante sua vida útil, a energia é normalmente o mais expressivo. (UNEP, 2011)

De forma global, o gasto energético atribuído às edificações é estimado em 40%, sendo o setor residencial responsável por cerca de 30% desse consumo (IEA, 2012). Nos EUA, as edificações foram responsáveis por cerca de 41% do consumo de energia em 2010, 44% a mais que o setor de transportes e 36% a mais que o setor industrial. Deste percentual, mais da metade (22,5%) representa o consumo energético apenas do setor residencial (DOE, 2011). Na Europa, também em 2010, as edificações foram responsáveis por 40% do consumo energético e só o setor residencial representou mais de um quarto (26,5%) do consumo total de energia (EC, 2012).

No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (MME, 2012), as edificações (setores residencial, comercial e público) são responsáveis por 47% do consumo total de energia elétrica, sendo que 23,6% deste valor referem-se apenas ao consumo no setor residencial.

De acordo com os dados do IPEA (2013), o déficit habitacional brasileiro ultrapassa cinco milhões de unidades, das quais mais de 80% correspondem a agrupamentos familiares com renda mensal abaixo de três salários mínimos. Para suprir este déficit, é provável que no futuro apareça uma grande quantidade de novas habitações, muitas com incentivo de programas públicos de habitação.

O desenvolvimento crescente de políticas públicas voltadas à habitação deverá contribuir para a redução do déficit de moradias. Esse processo certamente provocará impactos no crescimento da construção civil brasileira, promovendo mais empregos e renda, mas também aumento na demanda de energia. O setor residencial, em especial as habitações populares (devido a seu grande déficit), representa, portanto, uma área importante para pesquisa sobre eficiência energética.

O consumo de energia nas edificações depende de muitos fatores. No caso do setor residencial, o consumo energético está fortemente ligado ao uso de condicionadores de ar (MCNEIL; LETSCHERT, 2010; FRACASTORO; SERRAINO, 2011; YU et al., 2011) relacionado ao desempenho térmico da edificação, que, por sua vez, é influenciado pelas variáveis arquitetônicas e construtivas da edificação (BODACH; HAMHABER, 2010).

Muitos estudos têm sido realizados a fim de compreender o comportamento termo-energético das edificações residenciais. O grande interesse no desenvolvimento desses estudos é identificar quais variáveis possuem maior relação com o desempenho da edificação e que medidas podem ser tomadas para garantir maior conforto e eficiência energética. Os resultados têm apontado para estratégias envolvendo a geometria e orientação da edificação, especificação de materiais mais adequados (MWASHA; WILLIAMS; IWARO, 2011), aproveitamento da ventilação natural (SCHULZE; EICKER, 2013), uso de sistemas artificiais mais eficientes, considerando sempre a influência do clima (LI; YU; LI, 2011) e do usuário (YU et al., 2011). Os dados encontrados podem ser utilizados para elaboração de planos e ações mitigadoras, reformulação de normas e estabelecimento de regulamentação técnica, dando base à determinação de parâmetros de desempenho mínimo esperado das edificações. Estima-se que a redução do consumo de energia possa ser de até 50% em novas edificações e até 30% em edificações antigas se medidas sustentáveis forem aplicadas (DOE, 2013).

A análise do desempenho termo-energético de edificações é um processo complexo que envolve uma grande quantidade de informações. Esta análise pode ser realizada com o auxílio de programas computacionais, recurso que tem sido cada vez mais utilizado, devido a sua comprovada confiabilidade e agilidade de operação. A partir da inserção de dados referentes às características da edificação, variáveis climáticas, equipamentos e operação, o programa simula trocas térmicas entre a edificação e o ambiente externo, possibilitando a identificação de fatores que exerçam influência sobre o seu consumo energético e desempenho térmico (DOE, 2012).

Estas simulações podem ser feitas utilizando dados de edificações reais. Entretanto, em situações onde há uma grande quantidade de edificações a se avaliar, exige-se o investimento de muito tempo e trabalho, podendo inclusive inviabilizar o estudo. Nestes casos, uma alternativa é criar um modelo de referência a partir das características de

um grupo de edificações reais, baseando-se em análise estatística. Este procedimento permite que diferentes edificações sejam estudadas para redução do consumo de energia com menor quantidade de simulações (FAMUYIBO; DUFFY; STRACHAN, 2012).

Atualmente, não há uma definição normatizada do que seja um modelo de referência. Chamados também de arquétipos ou tipologias, considera-se um modelo de referência como sendo uma edificação que representa de forma aproximada as edificações do mesmo tipo, sob mesmas condições de uso e região climática (CORGNATI et al., 2012). O processo para sua determinação é complexo e a precisão depende do grau de detalhamento na descrição de suas características (MOFFATT, 2004). Por exemplo, alguns modelos de referência podem ser desenvolvidos a nível nacional e outros, regional. Podem representar tipologias mais gerais, como edificações comerciais, ou específicas, como edifícios públicos de atendimento à saúde. Podem ainda diferir quanto à quantidade de informações na qual são baseados; alguns representam apenas a área total de piso e o consumo energético anual, enquanto outros representam dados da envoltória, equipamentos, forma, etc. Como exemplo, citam-se os estudos desenvolvidos por Sanches e David (2001), Theodoridou, Papadopoulos e Hegger (2011a) e Dascalaki et al. (2013).

Não há uma regra para o processo de determinação de modelo de referência. De forma geral envolve, inicialmente, a delimitação do objeto de estudo (tipo de edificação, função, região climática), seguido por uma revisão de literatura em busca das variáveis que estão mais associadas com seu desempenho (como sua geometria, materiais, sistemas e operação, dependendo da proposta de estudo). Essas variáveis são levantadas no estoque edificado (podendo também ser encontradas em bases de dados existentes) e tratadas de forma a se determinar as características mais representativas, ou seja, aquelas que ocorrem com maior frequência e que definem melhor o conjunto de edificações. O próximo passo envolve a criação do modelo de referência a partir destas características, podendo ser um edifício real ou fictício (MOFFATT, 2004; CORGNATI et al., 2012; FAMUYIBO; DUFFY; STRACHAN, 2012).

O Departamento de Energia dos EUA possui um vasto banco de dados disponibilizados em sua página na internet com modelos de referência para uso em estudos de desempenho termo-energético. Eles são, de forma geral, separados por tipologia, região climática onde estão inseridos e consumo energético (DOE, 2013).

Na Europa, a fim de atender os requisitos da diretiva EPBD *recast* 2010/31/EU, que exige dos seus países membros a definição de requisitos mínimos de desempenho, muitos estudos envolvendo modelos de referência têm sido realizados. Em especial, na área de edificações residenciais, citam-se dois projetos: o TABULA e o ASIEPI. Estes projetos foram concebidos com o intuito de criar um banco de dados sobre as edificações residenciais em toda a Europa. Como há um grande estoque edificado, a criação de um banco de dados de modelos de referência tem se tornado indispensável para os estudos de desempenho termo-energéticos em grande escala (CORGNATI et al., 2012).

No Brasil, se comparado a outros países, pouco pode ser encontrado sobre determinação de modelos de referência e *benchmark* para estudos envolvendo desempenho termo-energético de edificações. Dentre os existentes, podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por Santana (2006) e Brandão (2003). Enquanto Santana pesquisou sobre a relação entre o consumo de energia de edifícios de escritórios e seus parâmetros construtivos em Florianópolis, Brandão levantou mais de 3000 edifícios residenciais por todo o Brasil, apresentando como resultado uma tipificação habitacional para apartamentos. Em ambos os casos, os autores realizaram levantamentos em campo a partir dos quais as edificações foram agrupadas em tipologias representativas. Outro estudo, realizado por Carlo (2008), levantou dados sobre consumo de energia e características de edificações comerciais e institucionais em cinco cidades brasileiras para dar base à criação de modelos de referência utilizados em estudos de eficiência energética. A aplicação deste método permitiu aos autores acesso aos resultados de um estoque edificado a partir de uma quantidade reduzida de avaliações.

Uma técnica estatística aplicável à busca por modelos de referência é a análise de agrupamentos. A análise de agrupamentos é uma análise multivariada de dados cujo objetivo encontra-se na simplificação de dados através do agrupamento de indivíduos similares e, a partir deste agrupamento, a determinação das características específicas de cada grupo (HAIR et al., 2009). Definidas as variáveis mais representativas em cada grupo, é possível determinar um objeto que represente todos os objetos do grupo em estudos futuros (BUSSAB et al., 1990).

Como visto, a utilização de simulações termo-energéticas auxilia no processo de projeto de edificações cada vez mais eficientes e confortáveis. “O uso de modelos de referência em simulações permite uma melhor representação do edifício quanto à sua geometria, materiais

construtivos, sistemas e operação” (CORGNATI et al., 2012), sendo uma ferramenta promissora nos estudos termo-energéticos em edificações. Por fim, esse modelo pode ser obtido através da aplicação da análise de agrupamento, a partir das características mais representativas da população. Dentro deste contexto, apresenta-se neste trabalho um método para obter modelos de referência a partir da análise de agrupamento de dados levantados em campo, implementando-o para o caso de habitações populares unifamiliares da região da Grande Florianópolis.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi determinar modelos de referência de habitações populares unifamiliares da região de Florianópolis, SC, baseados nas características físicas da edificação, através da análise de agrupamento, para uso em estudos de desempenho termo-energético.

1.2.2. Objetivos específicos

São objetivos específicos deste estudo:

- Verificar, através da revisão de literatura, quais parâmetros de edificações estão fortemente ligados ao seu desempenho termo-energético;
- Levantar em campo as características físicas das habitações populares unifamiliares encontradas da etapa anterior, estejam elas relacionadas à forma da edificação ou aos materiais utilizados;
- Obter um ou mais modelos de referência para cada um dos aspectos mencionados (forma e materiais) através da aplicação da análise de agrupamentos;
- Avaliar a representatividade dos agrupamentos formados e modelos obtidos em estudos de desempenho termo-energético por meio da simulação computacional, comparando os resultados obtidos com os modelos e as habitações da amostra, a partir de indicadores baseados na temperatura operativa interna, como graus hora de resfriamento e de aquecimento.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo buscou-se introduzir as ideias gerais que norteiam este estudo, contextualizando a situação energética de edificações e propondo o uso de modelos de referência como meio de facilitar os estudos em eficiência energética. Os objetivos geral e específicos foram definidos.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão de literatura sobre os assuntos pertinentes à pesquisa. São apresentados estudos que identificam quais variáveis exercem influência no desempenho termo-energético de edificações residenciais unifamiliares. Em seguida, aborda-se o conceito de modelo de referência, apresentando estudos de desempenho termo-energético que utilizam modelos. Por fim, apresenta-se a análise de agrupamentos, técnica utilizada neste trabalho, além de estudos que fizeram uso desta técnica.

O capítulo três apresenta o método a ser aplicado neste estudo. São ao todo três etapas, que envolvem levantamentos em campo, determinação dos modelos de referência e simulações termo-energéticas dos modelos encontrados. Apresentam-se os materiais e equipamentos utilizados nos levantamentos, procedimentos de medição e tratamento estatístico dos dados.

No capítulo quatro apresentam-se os resultados obtidos neste estudo, desde os dados levantados em campo, os modelos determinados a partir deles e os resultados das simulações computacionais. Discute-se a aplicação dos modelos e a implicação do uso destes em estudos de desempenho termo-energético de habitações populares unifamiliares.

Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões encontradas neste estudo. São também apresentadas as limitações e sugestões para estudos futuros relacionados ao tema.

1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta pesquisa faz parte de um projeto de pesquisa financiado pela FINEP, cujo título é Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social, desenvolvido por oito universidades brasileiras, incluindo a UFSC.

Os objetivos do projeto estão voltados à estimativa do consumo de água e de energia em habitações de interesse social e a proposição de medidas que visem a eficiência energética e racionamento do consumo de água nestas edificações.

Esta dissertação procura contribuir com resultados a dois dos subprojetos: a caracterização das habitações de interesse social de Florianópolis (Subprojeto 2: hábitos e indicadores de consumo) a partir dos levantamentos em campo e eficiência energética (Subprojeto 5: eficiência energética) a partir da definição dos modelos de referência para estudos futuros de desempenho.

A partir dos resultados obtidos com este trabalho será possível investigar ações que promovam eficiência neste tipo de edificação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo contém uma revisão sobre os principais conceitos que norteiam este trabalho. Apresenta-se inicialmente um breve panorama sobre estudos sobre desempenho termo-energético em edificações residenciais, identificando as variáveis que influenciam o seu comportamento. Também apresentam-se conceitos sobre modelo de referência e sua aplicação nos estudos de desempenho termo-energético de edificações. Por fim, apresenta-se a conceituação de análise de agrupamento quanto à sua aplicabilidade, além de estudos que utilizaram esta técnica para determinar modelos de referência.

2.1. DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

A investigação de estratégias de condicionamento passivo em edificações tem se intensificado desde a crise energética ocorrida no Brasil em 2001. Muitas pesquisas têm sido realizadas em busca das melhores estratégias de condicionamento passivo, de forma a garantir aos usuários melhores condições de conforto a um menor consumo energético.

Matos (2007) estudou o desempenho térmico de residências unifamiliares através de simulação computacional, com o programa *Energyplus*. Neste estudo foi feita a avaliação de diferentes estratégias de condicionamento passivo para a Zona Bioclimática 3 (Florianópolis). A autora variou a área de ventilação das janelas, sombreou as aberturas, variou as propriedades físicas de materiais de vedação (composição das paredes e cobertura) e aplicou diferentes estratégias de ventilação. Para avaliação do desempenho das alternativas, adotou o conceito de graus-hora de desconforto em relação à temperatura operativa para dois ambientes de longa permanência. Como resultados, encontrou que a área de abertura para ventilação que ofereceu melhor desempenho foi a de 15% em relação à área do piso. O sombreamento das aberturas funcionou como boa estratégia para a estação quente. Verificou-se que coberturas muito escuras (como de fibrocimento, por exemplo, com alta absorvância) possuíam desempenho muito inferior às coberturas claras (baixa absorvância), constituindo este elemento um bom indicador para redução de graus hora de desconforto.

Assis et al. (2007) desenvolveram um protótipo de habitação de interesse social para famílias de quatro habitantes para o clima de Belo

Horizonte. Com o uso da carta bioclimática de Givoni para o clima da cidade, baseou-se nas recomendações para a adoção de estratégias no desenvolvimento do protótipo, dentre as quais, cita-se: proteção das aberturas contra insolação direta, paredes com alta inércia térmica e coberturas bem isoladas. Consideraram aspectos bioclimáticos tais como implantação da edificação conforme a orientação solar e ventos predominantes e promoção de ventilação cruzada, dentre outras medidas de eficiência energética (como aquecedor de água solar e uso de lâmpadas eficientes). Ao final do estudo ficou confirmada a hipótese de que é possível oferecer habitações de interesse social mais confortáveis e atender, ao mesmo tempo, às restrições do sistema de financiamento de habitação.

Na busca pelo aumento do conforto térmico em edificações e redução da demanda energética, Rakoto-Joseph et al. (2009) propuseram diretrizes para a aplicação de estratégias bioclimáticas na etapa preliminar de projeto com base em medições meteorológicas em seis diferentes cidades do clima quente e úmido de Madagascar. Foram levantados dados de temperatura externa, umidade e radiação solar, a partir dos quais foram elaboradas seis cartas bioclimáticas, uma para cada cidade. As cartas bioclimáticas permitiram a determinação das estratégias de conforto a serem adotadas nos projetos para os diferentes climas. Dentre os principais resultados encontrados, concluiu-se que a massa térmica e isolamento funcionam como bons mecanismos no inverno. Já no verão, a melhor estratégia a ser adotada é a ventilação natural. Entretanto, devido à elevada temperatura e umidade de algumas cidades, o uso do condicionamento artificial ainda seria necessário em alguns dias do ano. De qualquer forma, os autores mostram que o conforto térmico nas residências pode ser promovido se as medidas apresentadas forem previstas nos projetos de edificações.

Pereira (2011) estudou a influência das propriedades térmicas dos materiais construtivos da envoltória no desempenho térmico de habitações ocupadas e ventiladas naturalmente. A partir de medições feitas em um modelo real e simulações computacionais baseadas neste modelo, realizou simulações paramétricas variando as propriedades térmicas dos materiais do envelope, a ocupação e a ventilação natural. Os dados de temperatura interna e umidade do ar foram plotados sobre a Carta de Givoni com auxílio do programa *Analysis Bio*. Como resultado, obteve a porcentagem de horas anuais de desconforto para cada caso. Ao verificar a correlação entre as horas de desconforto e as propriedades térmicas dos materiais do envelope, concluiu que estas exercem grande

influência no desempenho térmico de edificações, mesmo quando ocupadas e ventiladas naturalmente. Verificou que essa influência se dá muito mais pela capacidade térmica dos materiais do que por sua transmitância.

Sorgato (2009) investigou a influência da área de superfície externa exposta ao exterior e o tamanho dos ambientes no desempenho térmico de edificações residenciais naturalmente ventiladas. Também foram variadas as propriedades térmicas da envoltória (parede e cobertura). Através de simulação computacional com o programa *Energyplus*, encontrou o valor de graus hora de desconforto para cada caso. Verificou que a envoltória é determinante no desempenho térmico destas edificações, em especial para a estação quente. Verificou também que existe uma relação entre o tamanho dos ambientes e graus hora de desconforto, sendo que quanto maior o ambiente, maior o valor de graus hora de aquecimento. Concluiu que a ocupação também exerce influência nos ganhos internos de calor, sendo mais significativa quanto menor for o tamanho do ambiente. Por fim, também coloca que, além do tamanho dos ambientes e das áreas de superfícies expostas ao exterior, o contato de superfícies com o solo e com a cobertura também explica o desempenho térmico dos ambientes estudados.

Bodach e Hamhaber (2010) investigaram a eficiência energética em habitações de interesse social no Rio de Janeiro, RJ. Medidas de eficiência energética e estratégias de desenho bioclimático foram propostas para melhorar o desempenho térmico destas habitações. Para isso, utilizaram o software ECOTECH para a realização das simulações térmicas. Obteve-se como resultados que o desconforto térmico destas habitações devia-se principalmente à falta de sombreamento, a área de janela insuficiente e desempenho ruim das coberturas. As estratégias que promoveram maior conforto foram a adoção de paredes com alta inércia térmica, baixa absorvância da pintura externa, isolamento térmico na cobertura, aumento da área de janelas e orientação destas para ventos predominantes e também o uso de sombreamento nas aberturas. As autoras também fizeram uma análise dos custos que estas intervenções gerariam e mostraram que os valores se justificariam com a redução do consumo energético. Ao final do estudo concluíram que há um grande potencial para aumentar a eficiência energética em habitações de interesse social no Brasil.

Lopes (2010) estudou o desempenho térmico de elementos e sistemas construtivos de seis habitações de interesse social de baixa renda, sendo três unifamiliares e três multifamiliares. Para isso, realizou

medições da temperatura de bulbo seco interno e externo às edificações por alguns meses. Calculou as propriedades térmicas dos elementos e sistemas construtivos, comparando-as com as normas NBR 15.220 (ABNT, 2005) e NBR 15.575 (ABNT, 2008). Através da análise por graus hora de desconforto, verificou que o pior desempenho para as habitações multifamiliares no verão foi o de alvenaria convencional, e para as habitações unifamiliares foi a placa de concreto. Já no inverno, o pior caso para habitações multifamiliares foi o bloco estrutural de concreto, enquanto para as unifamiliares foi a madeira. Estes resultados mostram que os diferentes materiais e sistemas construtivos influenciam diretamente o desempenho térmico das edificações.

Um estudo feito por Ruiz e Romero (2011) na Espanha investigou os benefícios da adoção combinada de diferentes estratégias passivas em edificações residenciais no conforto térmico destas. O estudo partiu de um modelo convencional de uma casa no norte da Espanha que, com o auxílio de simulação computacional, foi sofrendo modificações com adoção de práticas simples de aquecimento e resfriamento, aplicando todas as técnicas favoráveis para a melhora do conforto térmico. As simulações térmicas e energéticas foram realizadas com auxílio do programa *Energyplus*. As diferentes estratégias foram aplicadas individualmente na edificação. Após a simulação e comparação com a edificação original, todas as ações favoráveis foram adotadas no projeto. As estratégias de aquecimento aplicadas foram a variação da orientação solar, o aumento das aberturas na fachada sul e o aumento do isolamento térmico na envoltória. Para resfriamento, alteraram-se as cores na fachada, foram aplicadas películas nos vidros, aumentaram-se as aberturas voltadas para a fachada norte, além da adição de proteções solares para sombreamento. As medidas adotadas foram benéficas tanto para a economia de energia quanto para o aumento do conforto térmico na edificação, sem, entretanto, aumentar sobremaneira o custo total da edificação.

Sakka et al. (2012) investigaram medidas para melhorar a temperatura interna de 50 habitações de interesse social em Atenas, Grécia. O estudo consistiu em medições das temperaturas internas e externas durante o verão extremamente quente de 2007. As medições foram realizadas através de *data loggers* que foram instalados na edificação e também no interior desta, registrando a temperatura a cada 30 minutos. As medições mostraram que as temperaturas internas estiveram predominantemente acima dos 30°C, chegando muitas vezes a 40°C. Após uma análise do comportamento térmico da edificação em

função dos seus materiais e condições climáticas sob a qual estavam subjugadas, concluiu-se que as altas temperaturas internas eram provocadas pela inexistência de isolamento térmico na envoltória. A cobertura foi apontada como maior fator, visto que esta exerce grande influência na temperatura interior de casas térreas. A partir destes resultados, as autoras propuseram técnicas de mitigação e sistemas para melhorar o conforto térmico no interior das habitações, que inclui sombreamento da fachada, isolamento térmico no telhado, uso de materiais com alta capacidade térmica, uso do solo como dissipador de calor e ventilação noturna. Tais opções poderiam reduzir os ganhos de calor e melhorar a qualidade de vida dos moradores.

Nguyen e Reiter (2012) fizeram uma investigação sobre o potencial de melhora do conforto térmico em três diferentes regiões climáticas do Vietnã com utilização de estratégias passivas de aquecimento e resfriamento. Para isso, trabalharam em uma nova ferramenta de avaliação climática, baseada em uma carta bioclimática. Os resultados mostraram que na estação quente a ventilação natural é uma boa solução para diferentes regiões climáticas, aumentando em média 25% das horas de conforto, sendo ainda mais eficiente em climas quentes e úmidos. Durante o inverno, o aquecimento solar pode aumentar o conforto térmico em mais de 40%. Concluem que o potencial de melhora no conforto térmico a partir de alterações de projeto que considerem estratégias passivas é significativo.

Como visto nos estudos apresentados, todos estes mostram a influência que várias características arquitetônicas exercem sobre o desempenho térmico de edificações. Dentre outros, cita-se a geometria das edificações, sua orientação, os materiais que compõe as paredes e cobertura, a absorvância da envoltória, a existência ou não do contato com o solo, a área de abertura (janelas) e também o sombreamento destas. Todas essas características são variáveis definidas em projeto, podendo ser estudadas e escolhidas de forma a garantir maior período de conforto térmico nas edificações.

2.2. MODELOS DE REFERÊNCIA EM ESTUDOS TERMO-ENERGÉTICOS

No item anterior foram apresentados diversos estudos apontando características das edificações e sua relação com o consumo energético e desempenho térmico. Observa-se também que a maioria desses estudos centra-se em uma única edificação em contraposição a todo um estoque.

Entretanto, as estratégias de redução do consumo de energia devem ser pensadas a um nível global, e seu sucesso depende do conhecimento das características relacionadas ao consumo de energia de todo um estoque (DASCALAKI et al., 2010).

Como apontam diversos autores (CORGNATI et al., 2012, DASCALAKI et al., 2011 e FRACASTORO; SERRAINO, 2011), o estoque edificado pode ser estudado através de modelos representativos. Os “modelos de referência”, termo utilizado neste estudo para referenciar os modelos representativos de um estoque, “podem ser instrumentos muito úteis para facilitar a compreensão do desempenho termo-energético de um estoque edificado” (DASCALAKI et al., 2013).

Dessa forma, os modelos de referência têm se tornado tópico crucial para estudos envolvendo desempenho termo-energético de edificações (CORGNATI et al., 2012). Recentemente, muitos trabalhos utilizando o modelo de referência têm sido desenvolvidos, como os de Benejam et al. (2012), de Daskalaki (2013) e de Filogamo (2014), mostrando uma tendência de aumento da sua aplicação como ponto de partida.

Atualmente, não há uma norma para definir um modelo de referência. Para Dascalaki et al. (2011), o termo modelo de referência descreve uma classificação dos edifícios de acordo com algumas características específicas, que, no caso, estão relacionadas com seu desempenho termo-energético. Outros autores o definem como “modelo que represente a realidade do que será analisado” (SANCHES; DAVID, 2001). No Anexo II da diretiva EPBD *recast* 2010/31/EU, define-se o modelo de referência como característico e representativo da funcionalidade e localização geográfica da edificação, incluindo as condições ambientais internas e externas.

2.2.1. Aplicações









Os modelos de referência podem ser utilizados como primeira avaliação do balanço termo-energético de edificações (DASCALAKI et al., 2011). A partir da variação das características do modelo, podem-se obter informações quanto à melhora do desempenho térmico, condições de conforto, redução do consumo de energia, entre outros. A aplicação é vasta, podendo ser utilizada para pesquisas de custos, aplicação de novas tecnologias, desenvolvimento de normas e diretrizes construtivas, para acessar os efeitos de medidas de conservação de energia e fazer

projeções futuras para diferentes situações, a exemplo dos trabalhos realizados por Fracastoro e Serraino (2011) e Ravetz (2008).

O Departamento de Energia dos Estados Unidos possui em seu banco de dados vários modelos de referência de edificações comerciais. Os modelos são utilizados pelo DOE para acessar novas tecnologias, melhorar a forma dos edifícios, analisar controles avançados, desenvolver códigos e normas para o uso de energia e para conduzir estudos voltados ao uso da iluminação, ventilação e qualidade do ar interno. Além disso, são comumente utilizados como ponto de partida para medir o progresso das metas de eficiência energética para edifícios comerciais. O Programa do Código de Energia em Edificações (*Building Energy Code Program*) do DOE, juntamente com o PNNL (*Pacific Northwest Nacional Laboratory*), utilizam esses modelos como suporte para o desenvolvimento de novas versões da ASHRAE Standard 90.1 (TORCELLINI et al., 2008).

























Na Europa, esforços para a determinação de modelos de referência das edificações de cada nação também têm sido feitos. Em especial, cita-se o projeto TABULA como referência para a determinação de modelos de edificações residenciais e conta com a colaboração de treze países. Cada país membro desenvolveu modelos de referência variando de edificações residenciais unifamiliares a multifamiliares, que foram reunidas também em função do ano de construção e do tamanho da edificação. A partir dos modelos obtidos, foi disponibilizado um banco de dados na internet, na página <www.building-typology.eu>, onde podem ser acessadas informações sobre cada modelo, incluindo o consumo energético. O Quadro 1 apresenta os modelos determinados para a Itália, separados em quatro tamanhos e oito períodos de construção.

Quadro 1: Matriz de modelos de referência para a Itália.

Modelos de referência da zona climática central				
Classificação da edificação pela idade	Classificação das edificações pelo tamanho			
	Casas unifamiliares	Casas geminadas	Casas multifamiliares	Blocos de apartamento
1. Até 1900				
2. 1901-1920				

Fonte: Adaptado de Loga et al. (2008)

Quadro 1: Matriz de modelos de referência para a Itália (continuação).

Modelos de referência da zona climática central				
Classificação da edificação pela idade	Classificação das edificações pelo tamanho			
	Casas unifamiliares	Casas geminadas	Casas multifamiliares	Blocos de apartamento
3. 1921–1945				
4. 1946-1960				
5. 1961-1975				
6. 1976-1990				
7. 1991-2005				
8. Após 2005				

Fonte: Adaptado de Loga et al. (2008)

2.2.2. Métodos

Embora não exista uma norma que regule o processo para a determinação dos modelos de referência, o caminho para sua obtenção é similar na maioria dos estudos. Inicialmente, delimita-se o objeto de estudo, definindo a edificação conforme sua funcionalidade, região climática, etc. As variáveis relacionadas com seu desempenho (por exemplo, geometria, composição do envelope, consumo anual de energia) são obtidas a partir de levantamentos *in loco* ou em bases de dados existentes. Os dados são tratados a fim de se determinar as características mais recorrentes no estoque e, a partir delas, define-se um ou mais modelos de referência (MOFFATT, 2004, CORGNATI et al., 2012; FAMUYIBO; DUFFY; STRACHAN, 2012).

Torcellini et al. (2008) sugerem que os dados coletados sejam divididos em quatro categorias, conforme sua relação com a edificação: forma, materiais e sistemas construtivos, equipamentos e operação. A

Figura 1 (Corgnati et al., 2012) mostra a separação dos dados em categorias, conforme sugerido pelo DOE. Os dados de cada uma destas categorias formam um subconjunto das características da edificação. A categoria forma diz respeito a tipologia do edifício de acordo com sua função (residencial, comercial, institucional, etc.), dimensionamento e geometria. A segunda categoria, materiais e sistemas construtivos, descreve as propriedades termofísicas do envelope do edifício, por onde ocorrem as trocas de calor com o meio externo. Quanto aos equipamentos, faz-se referência aos sistemas consumidores de energia instalados na edificação, tais como sistema de aquecimento de água, sistema de condicionamento artificial, iluminação e demais equipamentos. Por fim, a categoria de operação trata da forma como a edificação é operada pelo usuário, seja pela operação de portas e janelas, ocupação dos ambientes, operação dos sistemas de aquecimento e uso de equipamentos, etc. (TORCELLINI et al., 2008)

Figura 1: Quatro categorias utilizadas para definir o modelo de referência.



Fonte: Adaptado de Corgnati et al. (2012).

Os dados podem ser coletados tanto da literatura quanto em estudos em campo. Em posse destes e organizados nas categorias apresentadas, devem ser manipulados de forma a se obter as características mais representativas em cada caso. As diretrizes do EPBD *recast* sugerem três metodologias para a determinação dos modelos a partir dos dados levantados: edifício exemplo, edifício real e edifício teórico.

O edifício exemplo (*Example Reference Building*) é utilizado quando o pesquisador não tem dados de levantamento disponíveis, então determina o modelo a partir de dados encontrados na literatura, como manuais, normas, etc., e de conhecimento de especialistas na área. É portanto um edifício fictício, que supõe-se ter as características mais prováveis de ocorrência do grupo de edifícios a ser estudado.

Os outros dois métodos baseiam-se em dados coletados em campo e tratamento estatístico para determinação dos modelos.

O edifício real é um edifício existente, não fictício, e determinado a partir da tipologia mais frequente encontrada no estoque. Os dados encontrados em campo são tratados estatisticamente, de onde se obtém as características “médias” do estoque. O edifício real será escolhido na amostra e deve ser aquele cujas características mais se aproximam dos resultados encontrados na análise estatística.

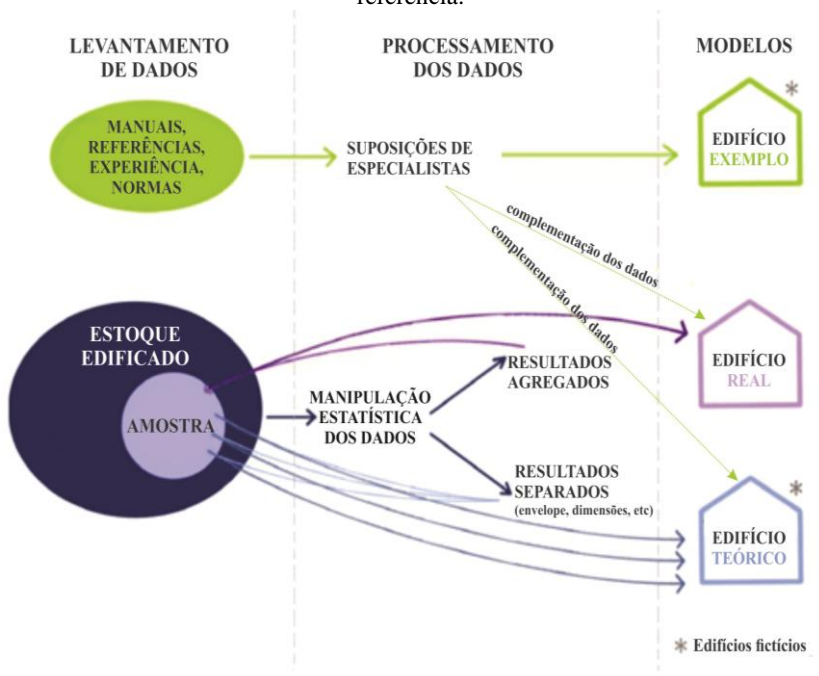
Por fim, o edifício teórico é fictício e também é baseado nos resultados obtidos a partir do tratamento estatístico dos dados encontrados em campo. Neste método, as características da edificação modelo são determinadas a partir da média de cada característica levantada ou daquelas de maior ocorrência, sendo então um edifício definido pelo conjunto de informações providas de vários edifícios reais, mas não será este um edifício real.

A definição do modelo de referência final não precisa, necessariamente, seguir a apenas um dos três métodos. Ele pode ser definido pelo uso de mais de um método. Por exemplo, pode-se definir a forma de um modelo de referência baseado-se no método de um edifício real, mas adotar dados de operação e materiais de edifícios exemplos, ou seja, dados encontrados na literatura. Os dados referente aos materiais podem ser determinados pela maior faixa de ocorrência na amostra (edifício teórico) e assim por diante.

A Figura 2 apresenta um esquema resumo desenvolvido por Corgnati et al. (2012) sobre os três métodos citados para obtenção dos modelos sugeridos no EPBD *recast*. Corgnati (2012) divide o processo em três etapas: levantamento ou aquisição dos dados, processamento

dos dados através de análise estatística e, por fim, definição dos modelos de referência.

Figura 2: Metodologia segundo a EPBD recast para obtenção dos modelos de referência.

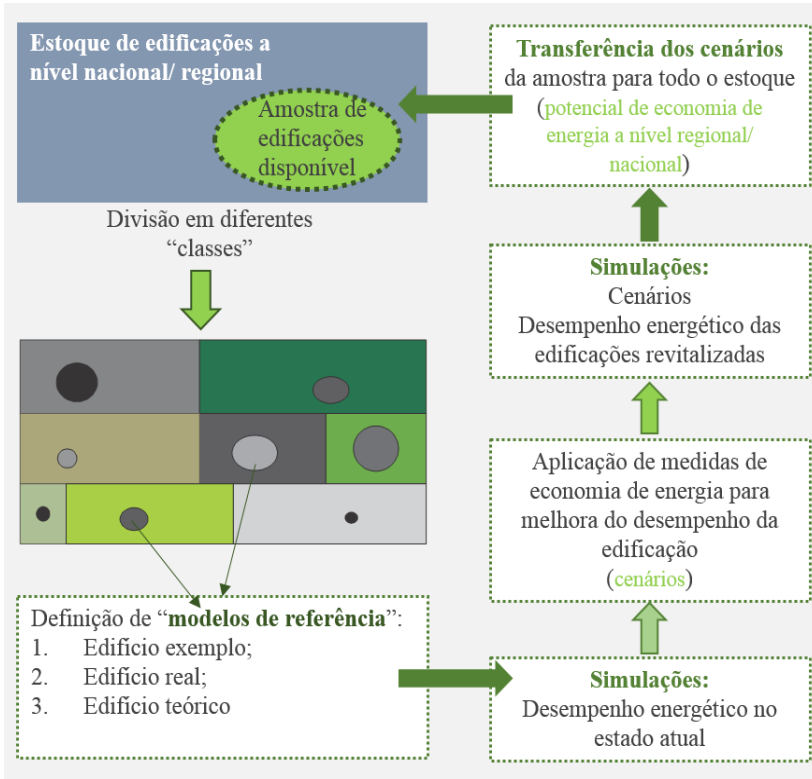


Fonte: Adaptado de Corgnati et al. (2012)

O principal objetivo do uso dos modelos de referência é acessar o desempenho termoenergético de edificações, que pode ser obtido através do balanço energético com o uso de simulações computacionais. A Figura 3 apresenta um método utilizado pelo governo italiano para avaliar o balanço energético do estoque edificado quando medidas de economia de energia são aplicadas. Após levantar dados de uma amostra do estoque edificado, as edificações levantadas são divididas em subgrupos conforme sua função, tipologia etc. Para cada subgrupo, define-se um modelo de referência. Estes são submetidos a simulações computacionais com as suas características reais e, posteriormente, são aplicadas medidas de eficiência baseadas em normas ou recomendações. Os resultados obtidos para as características reais e para os cenários

criados são comparados e avalia-se então a aplicação destas medidas no estoque.

Figura 3: Procedimento para realização do balanço térmico utilizando modelos de referência.



Fonte: Adaptado de Loga et al. (2008)

2.2.3. Estudos de desempenho termo-energético a partir de modelos de referência

Brandão (2003) realizou um estudo voltado à identificação do produto imobiliário no país. Para isso, apresenta uma tipificação habitacional para edificações residenciais multifamiliares no Brasil baseado no programa de necessidades, e não nos aspectos geométricos. O material foi coletado através de folders, jornais, propagandas imobiliárias ou fornecido pelas construtoras, entre 1998 e 2000, referente a imóveis lançados entre os anos de 1995 e 2000. Brandão

buscou analisar a morfologia das plantas quanto ao seu arranjo espacial assim como a identificação da combinação de quatro atributos: quantidade de dormitórios, quantidade de suítes, quantidade de banheiros e lavabos e existência ou não de dependência de empregada. Para comparar as diversas plantas, adotou uma convenção numérica baseada na existência destes quatro atributos. A base final de dados foi composta por 3011 plantas de apartamentos de 56 cidades brasileiras. Foram encontradas plantas de quitinetes até apartamentos com cinco dormitórios, com áreas variando de 15m² a mais de 400m². Baseando-se na convenção numérica adotada, foram encontradas mais de 80 tipologias distintas, sendo a tipologia básica predominante composta por uma suíte, dois dormitórios e um banheiro comum (40% da amostra). Apenas 0,8% das plantas eram de quitinetes. Com base na frequência de ocorrência, onze tipologias foram classificadas como muito comuns (quando havia mais de 60 plantas similares), 24 como comuns (de dez a 60 plantas similares), 30 tipologias como pouco comuns (de duas a dez plantas similares) e dezessete como raras (quando a planta não era similar a nenhuma outra). Não foi verificada diferença em termos de estrutura geral para as diferentes cidades. O autor coloca que a maior parte das plantas é centrada no funcionalismo, dividida em três setores: social, íntimo e de serviço. Concluiu-se que as plantas ofereciam possibilidade de fazer um retrato nacional, visto que não apresentaram de forma geral diferenças significativas.

O estudo de Fumo et al. (2009) propõe uma metodologia de estimação do consumo energético horário de uma edificação com intuito de simplificar o processo, evitando a necessidade de simulações dinâmicas da edificação. Para os autores, o perfil de demanda energética e o consumo energético são informações que permitem inferir sobre implementação de ações de melhoria da eficiência da edificação. Processos de otimização muitas vezes demandam como dados de entrada informações horárias sobre o consumo energético da edificação. A metodologia desenvolvida pelo estudo baseia-se em modelos de referência disponíveis pelo programa *Energyplus*. Os modelos de referência citados constituem o resultado de um projeto desenvolvido em conjunto por diferentes entidades norte americanas. Os modelos de referência foram vinculados ao *Energyplus* e apresentam informações sobre 16 modelos de edificações, identificadas por tipos distintos de funções e por zonas climáticas dos Estados Unidos. O desenvolvimento de modelos de referência utiliza ampla base de dados, permitindo inferências estatísticas satisfatórias. A metodologia apresenta por Fumo

et al. (2009) usufruiu da potencialidade dos modelos de referências desenvolvidos de representar boa parte do estoque construído. A metodologia prevê a simulação através do *Energyplus* de uma edificação de mesma função e clima daquela a ser investigada. Os dados de saída da simulação fornecidos em termos de consumo horário de energia elétrica e fóssil foram multiplicados por coeficientes de consumo de energia normalizados. O processo de cálculo dos coeficientes foi desenvolvido e apresentado no estudo. O resultado da multiplicação foi comparado com consumo real obtido por meio de faturas de energia da edificação de estudo. A aplicação da metodologia proposta resultou em erro de até 10% para a estimação dos consumos horários de energia, dispensando a condução de simulações dinâmicas para o exemplo de edificação estudada.

Theodoridou et al. (2011a) desenvolveram uma análise do estoque construído da Grécia a fim de permitir o planejamento de cenários futuros, principalmente em vista da nova regulamentação do desempenho energético de edificações para o país. A análise do estoque construído foi estruturada por meio de classificação de dados existentes em termos nacionais. A revisão de estudos anteriores mostrou concentração de técnicas para classificação mediante informações sobre a população, sobre a função da edificação e sobre a idade da edificação. Dentre essas, há predomínio da categorização em função da idade da edificação. Tal técnica já foi aplicada para outros países, como Alemanha, Inglaterra, Itália e Dinamarca. A categorização do estoque por idade das edificações permite sintetizar um conjunto de informações relacionadas com o período de construção, tais como tipologia da edificação, materiais utilizados, presença de elementos e de equipamentos relacionados ao comportamento energético.

A metodologia proposta pelo estudo baseia-se em uso de dados físicos e estatísticos do conjunto de edificações. Segundo os autores, para alcançar resultados satisfatórios quanto à categorização, é necessário identificar as classes contidas dentro dos parâmetros estudados. Inicialmente foi apresentada a categorização por período de construção com uma descrição da evolução arquitetônica e introdução de novos equipamentos e técnicas construtivas à medida que se avança nas classes dessa categorização. Os dados utilizados pelo estudo para inferir sobre o estoque construído remetem diferentes bases de dados. Os dados mais relevantes encontrados referem-se a: ano de construção por área e pelo total da Grécia, materiais de construção, existência de

cobertura plana, quantidade de pavimentos, função da edificação e existência de pilotis.

A partir da análise dos dados obtidos das bases de dados, foi selecionada uma amostra de edificações reais para aplicação de auditoria energética e monitoramento do conforto térmico e da qualidade do ar. Assim, concomitantemente ao processo de análise das bases de dados, foram conduzidas simulações dinâmicas com o auxílio do programa EnergyPlus. As simulações objetivaram a avaliação do comportamento energético por meio da inserção de dados referentes ao comportamento do usuário, como por exemplo, rotina de operação e consumo de água quente. Os dados do comportamento do usuário foram obtidos por base de dados de órgão nacional. O foco das simulações foi direcionado aos sistemas de condicionamento artificial. Os resultados das simulações foram comparados com dados reais de consumo médio anual de energia para aquecimento. Para os autores, o cenário traçado para o estoque construído da Grécia representa uma ferramenta para identificação dos potenciais pontos de melhoria do desempenho energético das edificações. A partir da análise de dados desenvolvida podem ser ponderadas as metas da nova regulamentação para o país.

O estudo de Attia et al. (2012) busca desenvolver modelos de referência para o consumo energético do setor residencial do Egito. Foi dado enfoque para os apartamentos com sistemas de condicionamento artificial, em vista da sua disseminação e influência no perfil de consumo. O cenário de aumento do conforto da população e consequente aumento do consumo de energia, descrito pelos autores, evidencia a relevância dos modelos de referência para prever o consumo energético de apartamentos. Soma-se a isso os raros estudos que investigam o estoque construído da região. Por meio de pesquisa bibliográfica e levantamentos de campo, é construída uma base de dados sobre os perfis e padrões de uso final de energia de uma amostra. A amostra compreende apartamentos com sistema de condicionamento artificial implantados nas três principais regiões metropolitanas do país. Mediante levantamento in loco foram descritos os equipamentos e a construção da edificação, bem como suas dimensões. Com a definição da amostra, selecionada a partir da análise da predominância de duas tipologias de apartamentos, foi dada continuidade a complementação da base de dados com informações sobre as faturas de energia. Para alguns apartamentos foram conduzidos também pesquisas de campo detalhadas com objetivo de identificar os principais equipamentos presentes e entrevistar os usuários a respeito das rotinas de uso dos equipamentos.

Com base nas análises das faturas foram computados os dados sobre padrão de uso e pico de demanda de energia para os apartamentos pesquisados.

A completa base de dados desenvolvida nesse estudo caracteriza o consumo de energia através de valores médios para as duas tipologias representativas dos apartamentos. O comportamento do usuário foi inserido na base de dados por meio de densidade de ocupação média e rotinas de ocupação. Os dados sobre intensidade de cargas internas foram divididos em três categorias: iluminação, equipamentos e eletrodomésticos, cocção e aquecimento doméstico de água. A intensidade de carga para resfriamento foi apresentada em item separado, com divisão referente a ventiladores e sistemas de condicionamento artificial.

Os modelos de referência foram desenvolvidos tomando-se por base os dados de intensidades de cargas internas levantadas e os padrões de uso final de energia. Resultados obtidos com a simulação dos modelos de referência foram comparados com as médias mensais estimadas. A comparação demonstrou boa concordância entre os dados da simulação e os dados do levantamento. A simulação dos modelos de referência mostrou diferença de cerca de 2% a mais para o consumo total anual. As curvas de comportamento do consumo também apresentaram resultados satisfatórios quanto a adequação aos dados reais.

Os estudos apresentados mostram como é possível avaliar o desempenho termo-energético de um estoque, a partir de um modelo de referência. Entretanto, é importante observar que, embora a composição do modelo seja baseada em um conjunto integrado de características que o descrevem, os métodos para obtenção destes modelos ainda se dão, em grande parte, a partir da aplicação de técnicas estatísticas univariadas. Neste contexto, faz-se necessária a busca por métodos baseados em estatística multivariada para a determinação dos modelos.

2.3. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

No item anterior foi visto que o uso de modelos de referência tem se mostrado uma forma eficiente para obtenção de indicadores de desempenho termo-energético em larga escala, no sentido de que simplificam os estudos nessa área. No entanto, foi visto também que se faz necessária a discussão sobre um método que auxilie no processo de obtenção de tais modelos, baseado em análise multivariada dos dados.

Uma resposta aplicável para este problema está na Análise de Agrupamentos, também chamada de Análise de Cluster, Análise Classificatória ou, menos comumente, Análise Tipológica. É uma técnica estatística exploratória, não teórica e não inferencial, que engloba uma variedade de algoritmos cujo objetivo é agrupar objetos similares (BUSSAB et al., 1990). Conforme definido por Hair et al. (2009):

“A análise de agrupamento é uma técnica analítica para desenvolver subgrupos significativos de indivíduos ou objetos. Especificamente, o objetivo é classificar uma amostra de entidades (indivíduos ou objetos) em um número menor de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre as entidades. A técnica é usada para identificar grupos. “

A classificação dos grupos em análise de agrupamento baseia-se na formação de agrupamentos com alta homogeneidade interna (entre os objetos do grupo) e alta heterogeneidade externa (entre os grupos), de forma que os objetos dentro do agrupamento fiquem próximos quando representados graficamente, enquanto grupos diferentes fiquem distantes. Se este critério for alcançado, diz-se que o agrupamento foi bem sucedido. Sua aplicação está voltada a descrição taxonômica, simplificação de dados e identificação de relações entre indivíduos (HAIR et al., 2009).

A análise de agrupamento realiza uma tarefa inata a todos os seres humanos e está mais presente em nossas vidas do que se imagina. O simples fato de organizar um armário separando as peças e as cores em pilhas diferentes já está se realizando um trabalho de análise de agrupamento. Entretanto, quando esta atividade exige a diferenciação em grupos a partir de uma quantidade grande de características, esse processo torna-se mais complexo, sendo necessária a aplicação de técnicas específicas para alcançar esse resultado.

2.3.1. Procedimentos adotados na análise de agrupamento

A análise de agrupamento envolve geralmente três passos. Primeiramente determina-se uma medida de similaridade ou associação entre os objetos (indivíduos) envolvidos no estudo, de acordo com o conjunto de características (variáveis) de cada um. O segundo passo é a

aplicação de alguma técnica de partição, que estabelece os critérios sob os quais os objetos vão se unir em um mesmo agrupamento ou ficarão em agrupamentos distintos. Por fim, verifica-se qual é o perfil de cada grupo a partir da descrição das características de cada grupo (JAIN, 1999).

A medida de similaridade é um critério matemático que mede as distâncias entre dois objetos, baseado nas diferenças ou proximidades entre as suas características. É uma medida muito importante em análise de agrupamento, pois é a partir dela que os objetos serão designados como pertencentes a um mesmo grupo ou a grupos separados. Essa medida pode ser de similaridade ou de dissimilaridade (mais utilizada), dependendo se a informação fornecida por ela é do quão parecidos os objetos são ou do quanto se diferem (MINGOTI, 2007).

A medida de dissimilaridade mais utilizada é a distância euclidiana, também conhecida por distância em linha reta. Esta medida é obtida a partir da raiz quadrada da soma dos quadrados da diferença entre cada variável de dois objetos (Equação 1). É, em outras palavras, o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo generalizado para mais de duas variáveis. A Figura 4 apresenta o conceito de distância euclidiana entre dois objetos com duas variáveis.

$$d_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_{i_A} - x_{i_B})^2} \quad (1)$$

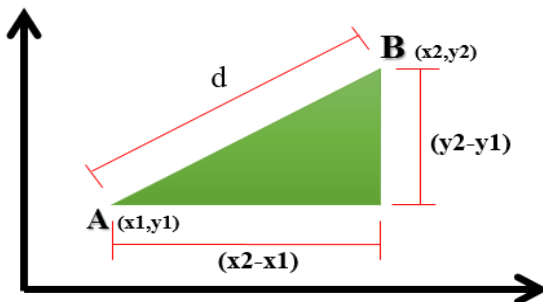
Onde:

d_{AB} é a distância euclidiana do objeto A ao objeto B;

x_{i_A} é o valor de A para cada variável;

x_{i_B} é o valor de B para cada variável.

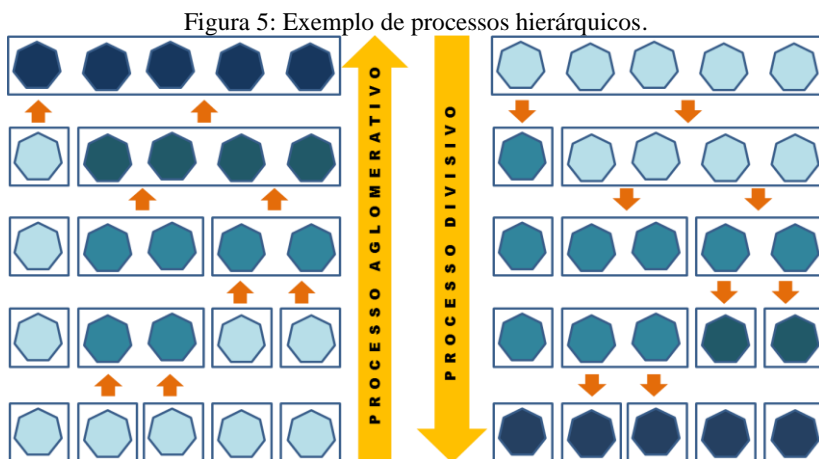
Figura 4: Distância euclidiana.



Como medida de similaridade, pode-se utilizar coeficientes de correlação, mas este conceito é muito mais dependente da existência de relação entre as variáveis do que da identidade entre os objetos (BUSSAB et al., 1990). Outras medidas de similaridade ou distância podem ser vistas em Bussab et al. (1990), Johnson e Wichern (1998) e Mingoti (2007).

As técnicas de partição são um conjunto de procedimentos utilizados como critério para separar os grupos a partir da distância entre os objetos (medida de similaridade). De forma geral, as técnicas de partição são classificadas em dois tipos: técnicas hierárquicas e técnicas não hierárquicas.

As técnicas hierárquicas podem ser aglomerativas ou divisivas e se caracterizam pela formação de árvore. Essa propriedade permite a construção de um gráfico chamado dendograma, que indica o nível de similaridade obtido a cada nova união de dois grupos. A Figura 5 apresenta um esquema dos processos aglomerativos e divisivos. No processo aglomerativo, cada objeto é considerado como um agrupamento que é unido a outro agrupamento a cada nova etapa. No processo divisivo acontece o oposto: todos os objetos são considerados como um único agrupamento, que vai sendo dividido a cada nova etapa.

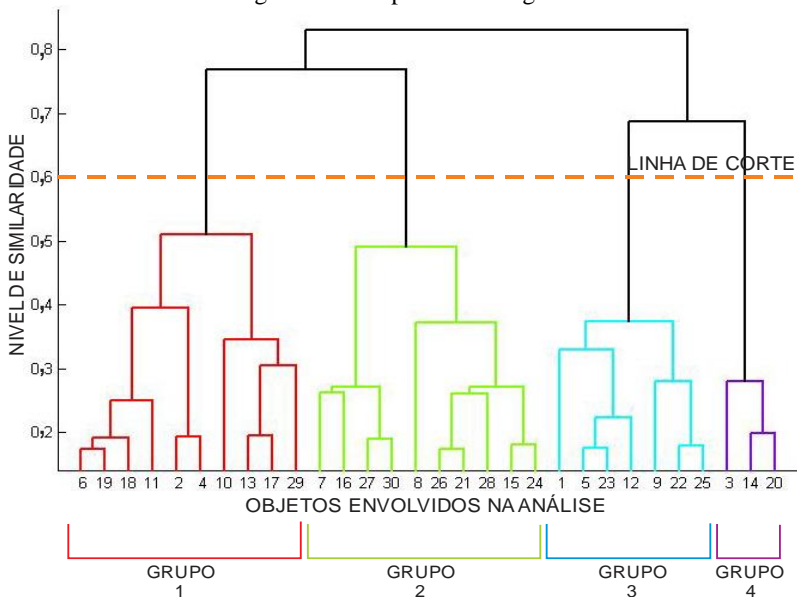


Fonte: Adaptado de Mingoti (2007)

A Figura 6 exemplifica a construção de um dendograma. O eixo horizontal apresenta os objetos envolvidos na análise, enquanto o eixo vertical, o nível de similaridade obtido a cada nova união. A linha de

corde, também chamada de regra de parada, indica em que momento o processo de partição será interrompido, determinando a quantidade de agrupamentos formados.

Figura 6: Exemplo de dendograma.

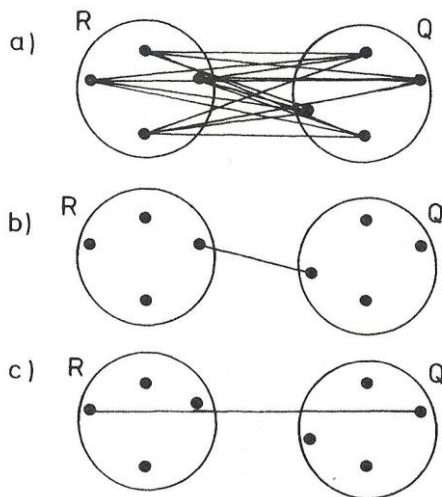


Fonte: Adaptado de Mathworks (2014)

Alguns algoritmos de partição mais utilizados nos processos hierárquicos são o Método de Ligação Simples, Método de Ligação Completa, Método da Média das Distâncias, Método Centróide e Método de Ward. Cada um destes métodos define uma forma diferente de usar a medida de similaridade para determinar as distâncias entre dois objetos. Por exemplo, enquanto no Método de Ligação Simples a similaridade entre dois agrupamentos é medida pelos dois elementos mais próximos (diagrama “b” da Figura 7), no Método da Ligação Completa é medida pelos objetos mais distantes (diagrama “c”) e no Método da Média das Distâncias esta medida é dada pela média das distâncias entre todos os pares de elementos possíveis de serem formados entre dois agrupamentos (diagrama “a”).

Detalhes sobre estes e outros algoritmos podem ser encontrados em Bussab et al. (1990), Kaufman e Rousseeuw (2005) e Mingoti (2007).

Figura 7: Representação de alguns algoritmos de partição: (a) Método da Média das Distâncias. (b) Método de Ligação Simples. (c) Método de Ligação Completa.



Fonte: Kaufman e Rousseeuw (2005).

As técnicas hierárquicas são interessantes por permitirem a visualização dos agrupamentos a cada etapa através do dendograma, oferecendo uma gama de soluções a partir de uma única simulação. Entretanto, neste método, uma vez que um agrupamento é definido, ele jamais é separado no processo. Ao contrário, nas técnicas não hierárquicas de partição, não há formação de árvore a cada agrupamento e este acontece de forma interativa. A partir de pontos sementes, os objetos são distribuídos nos agrupamentos concomitantemente e, ao final da partição, faz-se a relocação de alguns objetos para outros grupos, até que nenhum objeto se assemelhe mais a outro agrupamento que não aquele em que está alocado. (HAIR et al., 2009).

Os algoritmos de partição utilizados em métodos não hierárquicos são a referência sequencial, a referência paralela e o procedimento de otimização (k-médias), sendo este último o mais utilizado, pois permite a redesignação de observações (HAIR et al., 2009). Neste método, as distâncias são medidas sempre em relação ao centro do agrupamento (centroide), obtidas pela soma dos quadrados residual (similar a uma análise de variância), dada pela Equação 2. O centro “d” do grupo é dado então pela média das variáveis de todos os membros do grupo.

$$SQRes(j) = \sum d^2(x_i(j); \bar{x}(j)) \quad (2)$$

Onde:

$SQRes(j)$ é a soma dos quadrados residual dentro do grupo;

d^2 é o quadrado da distância euclidiana do objeto i , do grupo j , ao seu centro;

$x_i(j)$ é o objeto i ;

$\bar{x}(j)$ é o centro do grupo j .

Quanto menor for este valor, mais homogêneos são os elementos dentro do grupo. Como a análise de agrupamento se baseia na alta homogeneidade entre os objetos de um mesmo grupo, a melhor partição é a que produz a menor soma de variâncias dentro do grupo (BUSSAB et al., 1990).

Uma das desvantagens das técnicas não hierárquicas é a necessidade de informar previamente a quantidade “k” de grupos desejados. Esta quantidade pode ser definida a partir das expectativas do pesquisador ou através da utilização das técnicas hierárquicas. Muitos teóricos (BUSSAB et al., 1990; MINGOTI, 2007; HAIR et al., 2009) sugerem como melhor opção a utilização das duas técnicas juntas: definem-se a quantidade de grupos com as técnicas hierárquicas, e em seguida aplica-se as técnicas não hierárquicas para a formação dos grupos.

O último passo seria então a descrição das características de cada grupo. Segundo Bussab et al. (1990), “O resultado de uma análise de agrupamento deve ser um conjunto de grupos que podem ser consistentemente descritos através de suas características, atributos e outras propriedades”. As características de cada grupo são descritas pelas variáveis envolvidas. Por isso, um dos fatores que mais influencia a análise de agrupamento é a seleção das variáveis.

Hair et al. (2009) destacam ainda que “a seleção das variáveis a serem incluídas na variável estatística de agrupamento deve ser feita em relação a considerações teóricas e conceituais, bem como práticas. As variáveis selecionadas devem: (1) caracterizar os objetos sendo agregados e (2) se relacionar especificamente aos objetivos da análise de agrupamento. Assim, as variáveis selecionadas para compor modelos que serão utilizados em estudos de desempenho termo-energético de edificações devem estar fortemente relacionadas com o tema, possuindo o pesquisador base conceitual para concluir a respeito.

Outra influência que as variáveis podem exercer sobre resultados é em função da diferença de unidade de medida entre elas. Variáveis com maior dispersão (maior desvio padrão) tem maior impacto sobre o resultado final. Assim, para garantir os significados dos resultados e para que estes não sofram influência das diferentes unidades de medidas, é aconselhável padronizar as variáveis de forma a se obter variâncias mais homogêneas.

A forma mais comum de padronização é a padronização padrão, também conhecida como pontuação Z (*Z scores*), na qual, de cada variável, subtrai-se a média e divide-se pelo desvio padrão, resultando em um grupo de dados com média igual a zero e desvio padrão igual a um. A Equação 3 apresenta a expressão numérica utilizada para padronizar os dados em pontuação Z.

$$Zx_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \quad (3)$$

Onde:

Zx_i é o valor padronizado de x ;

\bar{x} é a média dos valores de determinada variável;

s é o desvio padrão dos valores de determinada variável.

Há outras formas de relativizar variáveis, mas não serão apresentadas aqui. Caso haja interesse, pode-se consultar Späth (1980), Bussab (1990) e Jain et al. (1999).

Mas, ao final de todo o processo, como obter um modelo de referência? Baseando-se nas propostas vistas no item 2.2 (de acordo com a diretiva 2010 da EPBD *recast*), a partir dos resultados pode-se determinar modelos teóricos ou reais. Os modelos teóricos são modelos hipotéticos e são construídos a partir das características médias de cada agrupamento (média de cada variável). Como modelo real, uma solução é identificar o caso mais próximo do centro do agrupamento (menor distância do objeto ao centro do agrupamento) e adotá-lo como modelo. Este último processo é mais prático, visto que não há necessidade de definir as características que vão além daquelas utilizadas na análise.

Como visto, a análise de agrupamento é complexa, com várias etapas e envolve processos subsequentes de tomada de decisão. Para auxiliar nesse processo, Hair et al. (2009) elaborou uma proposta de construção de modelo em seis estágios, conforme apresentado na Figura 8, detalhado nas Figuras 9 e 10.

Figura 8: Estágios da análise de agrupamentos segundo Hair et al. (2009).

ESTÁGIO 1

- **Definir os objetivos da análise de agrupamentos:** dividir um conjunto de objetos em dois ou mais grupos com base na similaridade dos objetos em relação a um conjunto de características especificadas (variável estatística de agrupamento), para alcançar um dos seguintes objetivos:
 - descrição taxonômica;
 - simplificação de dados;
 - identificação de relação.

ESTÁGIO 2

- **Projeto de pesquisa:** o pesquisador deve atentar para quatro pontos:
 - o tamanho da amostra é adequado?
 - observações atípicas podem ser detectadas e eliminadas?
 - critério de similaridade;
 - padronizar dados?

ESTÁGIO 3

- **Suposições em agrupamentos:** representatividade da amostra e seleção das variáveis.

ESTÁGIO 4

- **Determinação de agrupamentos e avaliação do ajuste geral**
 - Início do processo de partição;
 - escolha do procedimento de partição;
 - decisão quanto à quantidade de agrupamentos a serem formados.

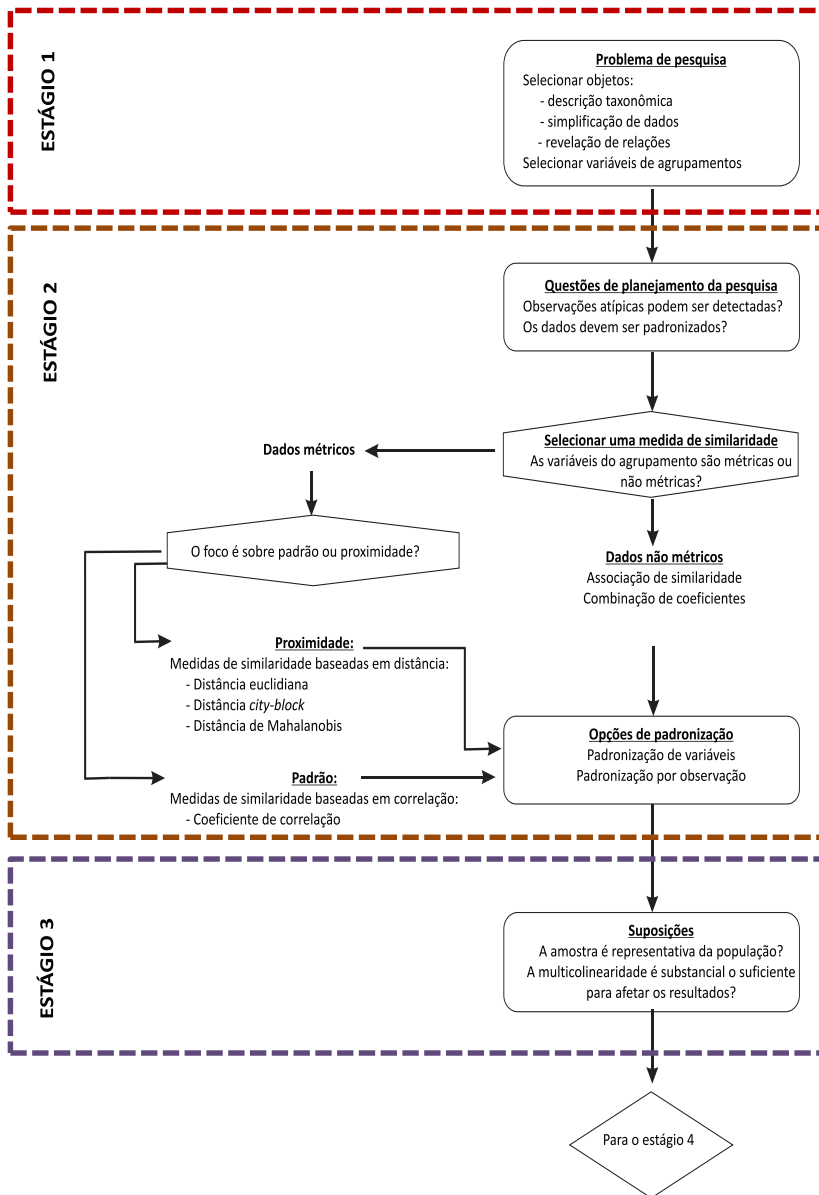
ESTÁGIO 5

- **Interpretação dos agrupamentos:** envolve o exame de cada agrupamento em termos da variável estatística de agrupamento para nomear ou designar um rótulo que descreva precisamente a natureza dos agregados.

ESTÁGIO 6

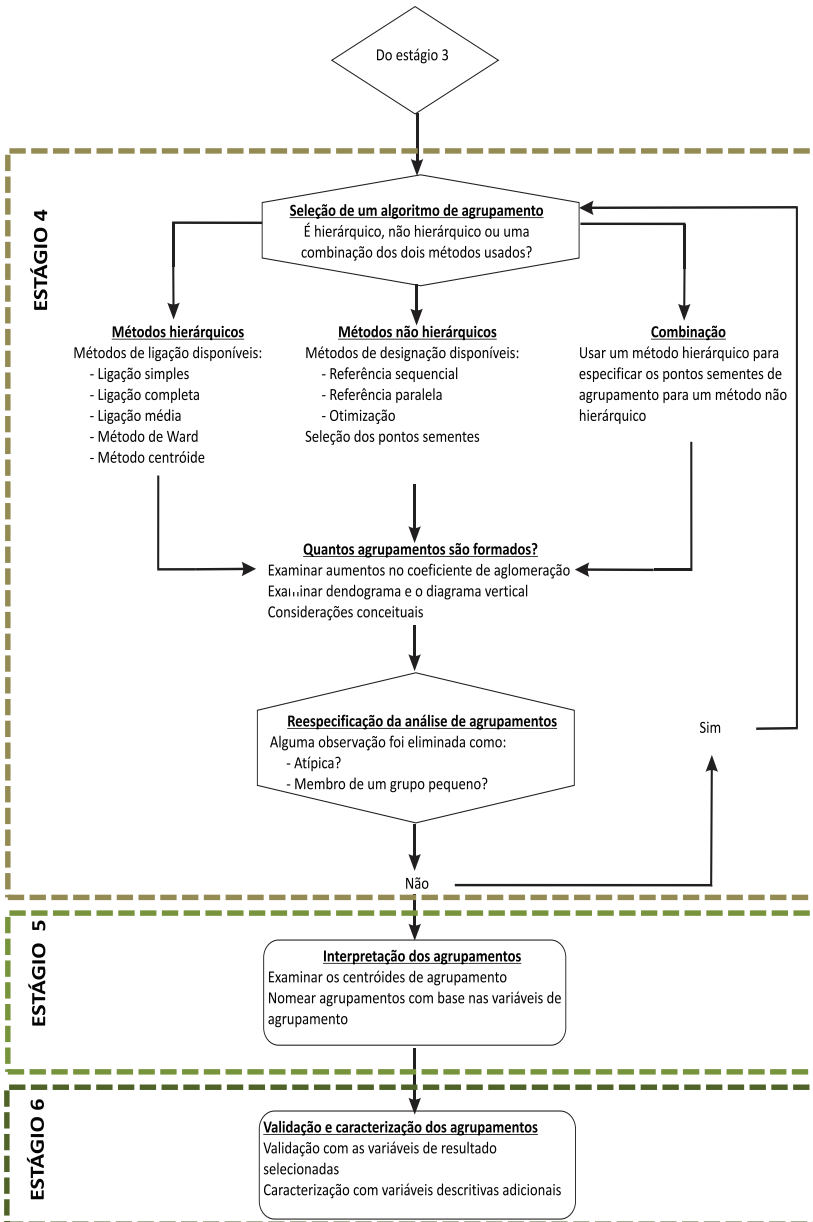
- **Validação e perfil dos agrupamentos:** descrição das características do agrupamento depois da sua identificação.

Figura 9: Estágios 1-3 do diagrama de decisão segundo Hair et al. (2009).



Fonte: Adaptado de Hair et al. (2009).

Figura 10: Estágios 4-6 do diagrama de decisão segundo Hair et al. (2009).



Fonte: Adaptado de Hair et al. (2009).

2.3.2. Estudos envolvendo análise de agrupamento

Na área de eficiência energética em edificações, a análise de agrupamento tem sido utilizada desde a investigação do potencial de economia de energia em edificações até a proposição de classificação de edificações quanto a sua eficiência energética. Os objetivos mais comuns de sua utilização nestes estudos são o de identificar diferentes grupos em uma população segundo algum critério especificado, ou então achar uma forma de representação de um grande grupo através da simplificação de dados.

Gaitani et al. (2010) apresentaram um método para determinação de edificações de referência e também uma ferramenta para classificação energética, utilizando a análise de agrupamento combinada com a análise de componentes principais. Este estudo envolveu um total de 1100 edificações escolares na Grécia, representando 33% do total de escolas existentes. Auditorias foram realizadas nestas edificações para criar uma base de dados sobre o consumo de energia com aquecimento e iluminação. O consumo obtido foi normalizado de acordo com a área de piso dos ambientes aquecidos e tratado como kWh/m², para que pudesse ser comparado entre edificações de tamanhos diferentes. A partir destes dados, a análise de agrupamentos foi utilizada para formar cinco grupos distintos quanto ao consumo de energia, considerando cada grupo uma classe energética. O algoritmo de partição utilizado foi o k-means e a análise foi realizada com o programa MATLAB. Após a divisão dos grupos, foi realizada uma análise de componentes principais a fim de simplificar a base de dados, reduzindo sua dimensão. Sete variáveis foram consideradas: superfície de aquecimento (m²), idade da edificação (anos), isolamento térmico (sim ou não), quantidade de salas, quantidade de alunos, quantidade de horas operadas por dia e idade do sistema de aquecimento (anos). Antes da análise de componentes principais, os dados foram padronizados pelo método *z scores*, onde para cada valor de uma mesma variável é subtraída a sua média e o resultado dividido pelo desvio padrão. Assim, obtém-se uma amostra com média igual a zero e desvio padrão igual a um. Este tipo de padronização é importante para que os resultados não sejam influenciados pela diferença de amplitude entre as variáveis. A partir da matriz gerada com a análise de componentes principais, a edificação de referência foi determinada pela edificação mais próxima ao centroide grupo, obtendo-se assim cinco edificações de referência distintas. A definição destas cinco edificações permite acessar o potencial de

economia de energia conforme as características de cada grupo. Os resultados obtidos com esses modelos podem ser utilizados para identificar as melhores estratégias e assim determinar metas de performance energética em edificações.

Yu et al. (2011) desenvolveram um método para avaliar a influência do usuário no consumo de energia em edifícios utilizando a análise de agrupamentos. Para comprovar a eficácia do método, aplicaram-no em um estudo de caso no Japão, onde foram realizadas coletas sobre o consumo de energia em cerca de 80 edifícios residenciais, em seis diferentes localidades. O método se baseia na divisão da amostra em grupos onde diversos fatores externos ao usuário que influenciam no consumo de energia sejam semelhantes entre todas as edificações de cada grupo. Assim, em cada um dos grupos, esses fatores teriam efeito similar sobre o consumo de energia, de forma que a diferença entre o consumo de energia dos edifícios de um mesmo grupo só poderia ser causada pelo usuário. A identificação dos grupos foi, portanto, o elemento mais importante deste método, para o qual utilizou-se a análise de agrupamento.

Antes de dar início à formação dos grupos, alguns passos foram necessários para lidar com as diferenças entre as variáveis. Primeiramente, devido às diferentes unidades de medida de cada variável, foi necessário padronizá-las para que nenhuma exercesse maior influência nos resultados devido a sua maior dispersão. Para isso, utilizou-se uma padronização conhecida por “min-max”,

Além das unidades de medida, cada variável também tem um impacto maior ou menor sobre o consumo de energia. Para corrigir este problema, foi utilizada a “*grey relational analysis*”, que é uma regressão e atribui a cada variável um coeficiente (peso) baseado no impacto que essa variável causa no consumo de energia. Assim, variáveis que influenciam mais tem um peso maior, enquanto variáveis que influenciam menos tem um peso menor.

Com os dados transformados, realizou-se a análise de agrupamentos com o programa WEKA, utilizando a técnica não hierárquica k-means. As diferenças entre os edifícios foram calculadas utilizando a distância euclidiana. Com a análise, quatro grupos foram formados e caracterizados a partir do seu centroide (valor médio do grupo).

Para avaliar o potencial de economia de energia em cada um dos grupos, foi primeiro definido qual seria o modelo de referência de cada grupo. Este foi definido a partir do edifício com menor distância

euclidiana ao centroide do seu grupo. Os efeitos do comportamento do usuário no consumo de energia na edificação foram examinados em nível de usos finais, divididos em oito categorias: ar condicionado, aquecimento de água, preparação de alimentos, iluminação, refrigerador, informação e entretenimento, limpeza da casa e higiene e outros usos. O consumo de energia do edifício de referência foi comparado com o consumo do edifício com menor e com o de maior consumo, em cada grupo. Percebeu-se que a diferença era expressiva em todos os casos, concluindo-se que o usuário exercia grande influência no consumo de energia, havendo portanto grande potencial para economizá-la.

A comparação do maior consumo com o modelo de cada grupo mostrou que poderia haver uma economia de 281MJ/m², 250MJ/m², 198MJ/m² e 220MJ/m², no primeiro, segundo, terceiro e quarto grupo, respectivamente. Também foi possível verificar em qual uso final está o maior potencial de economia de energia. Para todos os grupos, a comparação indicou que o ar condicionado apresentou o maior potencial de economia, enquanto o aquecimento de água, praticamente nenhum. Outros usos finais também apresentaram potencial de economia, embora em menor escala, como limpeza da casa e higiene e a iluminação, nos grupos 1 e 4, respectivamente.

Com as análises, os autores concluíram que os resultados encontrados podem priorizar os esforços na modificação do comportamento do usuário para reduzir o consumo de energia e ajudar na melhora da modelagem do comportamento do usuário nas simulações. Por fim, sugerem a aplicação de um programa educacional, com dicas de como reduzir o consumo de energia em cada grupo encontrado.

Petcharat et al. (2012) basearam-se na análise de agrupamentos para estimar o potencial de economia de energia em edifícios comerciais na Tailândia, utilizando a densidade de potência em iluminação como parâmetro para análise. Os valores de densidade de potência em iluminação de três categorias de edifícios comerciais (hotel e hospital, escola e escritórios e lojas de departamento), obtidos a partir de relatórios do Departamento de Desenvolvimento de Energias Alternativas e Eficiência, foram submetidos a três diferentes análises: atual, abordagem tradicional e análise de agrupamentos. A primeira análise compara os dados do valor da densidade de potência em iluminação de cada edifício com o valor estipulado como meta pelo código de energia em edificações da Tailândia, chamado Ato pela Promoção da Conservação de Energia (*Energy Conservation Promotion*

Act). A segunda análise, que é a abordagem mais usual, compara a média da densidade de potência em iluminação com o valor estipulado pela meta. Por fim, na última análise os valores da densidade de potência em iluminação foram submetidos à análise de agrupamento, utilizando o algoritmo Expectation-Maximization para os cálculos. Este algoritmo baseia-se na probabilidade de um objeto pertencer a cada distribuição, dada a média e a covariância da distribuição. Os centroides (médias de cada agrupamento) foram comparados com o valor da meta estipulada pelo código de energia em edificações. Os resultados obtidos com as duas últimas análises foram utilizados para estimar o potencial de economia de energia e foram comparados com os resultados obtidos com a abordagem tradicional. Verificou-se que a análise de agrupamentos obteve resultados mais precisos que a abordagem tradicional para todas as três categorias. Ainda, os autores sugerem que este método pode também ser aplicado para outros parâmetros, tais como o coeficiente de performance do ar condicionado, a densidade de potência instalada de equipamentos, transmitância térmica dos componentes construtivos, entre outros.

Giglio et al. (2014) desenvolveram um estudo em Londrina (PR) sobre o uso de sistemas de aquecimento solar de água em habitações de baixa renda, envolvendo 200 famílias. O objetivo foi verificar o potencial de economia de energia para o aquecimento de água com o uso de aquecimento solar, respondendo a duas perguntas: qual padrão familiar oferece maior potencial de economia e maior controle sobre o sistema e quais são as dificuldades encontradas com o seu uso. A análise de agrupamentos foi utilizada para identificar diferentes subgrupos de famílias na amostra, visto que a média do consumo não representava bem a amostra. Estes subgrupos foram identificados baseando-se em fatores que afetam o uso de sistemas de aquecimento solar de água quando fatores sociais e econômicos são considerados. Seis fatores (posteriormente desmembrados em 27 atributos) foram listados baseando-se no uso do sistema de aquecimento e no potencial de economia: composição da família e suas características, fatores socioeconômicos, histórico do consumo de energia, hábitos relacionados ao consumo de energia, nível de satisfação e consumo de água e energia. Foram levantados dados qualitativos e quantitativos. Os dados qualitativos foram transformados em variáveis binárias (0 ou 1) ou em ranking (mais de duas categorias: 0, 1, 2, 3...), para que todas as variáveis fossem tratadas como dados numéricos. Para neutralizar as variabilidades de cada atributo, por causa das diferentes unidades de

medida, foi aplicada a padronização estatística (*z scores*), subtraindo-se de cada valor a média da variável e dividindo o resultado pelo desvio padrão. O agrupamento foi realizado com o programa *SPSS Statistics* (IBM Company, v. 19), utilizando o algoritmo *k-means* para a partição e a distância euclidiana como medida de similaridade. O centroide inicial de cada agrupamento foi previamente definido e inserido no programa pelo pesquisador. Inicialmente, várias simulações foram realizadas para diferentes quantidades de grupos e a partir da análise da relação entre os atributos de cada grupo identificou-se a solução de cinco agrupamentos como ideal. Antes de caracterizar os grupos, foi utilizada a medida D^2 de Mahalanobis para determinação das observações atípicas, identificadas como aquelas cujo p-valor da probabilidade associada a esta medida foi menor que 0,001. Ao todo seis observações foram detectadas e excluídas da análise final. Uma nova simulação foi realizada para o novo banco de dados com 194 habitações e novamente cinco agrupamentos foram definidos a partir do potencial de economia de energia que apresentaram. Os resultados mostraram que apenas dois agrupamentos evidenciaram bom potencial de economia, representando 47% das famílias que participaram do estudo. Os autores concluíram que a identificação de grupos homogêneos, baseados nos fatores influentes no potencial de economia dos sistemas de aquecimento solar de água, contribuiu para investigar o potencial de economia de energia e elaborar estratégias para sua implementação.

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura sobre desempenho termo-energético de habitações serviu como base para a definição das variáveis arquitetônicas que interferem no desempenho termo-energético das edificações, tais como as suas dimensões, orientação, aberturas para ventilação, sombreamento e materiais e sistemas construtivos, dentre outros. Assim, foi possível determinar quais variáveis devem ser levantadas em campo para caracterizar adequadamente o comportamento termo-energético da edificação em estudo.

O item sobre os modelos de referência mostrou que sua aplicação em estudos sobre eficiência energética em edificações tem sido muito útil e cada vez mais utilizada para facilitar a compreensão do desempenho de edificações e avaliar normas e diretrizes construtivas, obtendo indicadores em larga escala.

Com a análise de agrupamento, técnica antiga e ainda assim em ascensão, verificou-se ser possível a obtenção de modelos de referência através de técnicas estatísticas de análise multivariada de dados. Hair et al. (2009) propõem a realização da análise em seis estágios, destacando considerações importantes como a medida de similaridade utilizada para medir as distâncias entre os objetos, a definição dos algoritmos de partição, a adoção de técnicas hierárquicas ou não hierárquicas, o tratamento dos dados antes da realização das análises e a identificação dos grupos. Nos estudos apresentados, vê-se que a distância euclidiana é a mais utilizada para medir as distâncias entre os objetos. Hair et al. (2009) sugerem a utilização de técnicas hierárquicas e não hierárquicas conjuntamente, assim, a primeira define a quantidade de agrupamentos a serem formados, enquanto a segunda fornece a formação final dos agrupamentos. É indispensável antes do início das análises que os dados sejam tratados de forma a não influenciar os resultados. Para isso, se faz necessário uso de técnicas para identificação de observações atípicas, como a distância de Mahalanobis, utilizado por Giglio et al. (2014), além da padronização das variáveis, como a padronização estatística, utilizada por Yu et al. (2011). É possível determinar um modelo de referência para cada agrupamento adotando a habitação com menor distância ao centroide, como realizado por Gaitani et al. (2010).

Os modelos obtidos poderão então ser utilizados para estudos de desempenho em larga escala, dando base a ações mitigadoras e elaboração de normas e diretrizes que orientam a construção de novas edificações deste tipo ou revitalização das já existentes.

3. MÉTODO

Esta pesquisa tem caráter exploratório e envolve o levantamento de características de habitações populares unifamiliares localizadas na Grande Florianópolis (SC) de modo a determinar modelos de referência. Estes modelos poderão ser utilizados em estudos futuros para avaliação do desempenho termo-energético de habitações populares unifamiliares com uso de simulação computacional, criando subsídios para formulação de diretrizes de projetos mais eficientes do ponto de vista da qualidade ambiental.

O método aplicado neste estudo foi dividido em três etapas:

- Levantamento dos dados em campo;
- Determinação de modelos de referência através da análise de agrupamento;
- Desempenho dos modelos através de simulação computacional.

Em cada etapa, os dados foram tratados em dois blocos de informação distintos:

- Forma das edificações;
- Materiais utilizados.

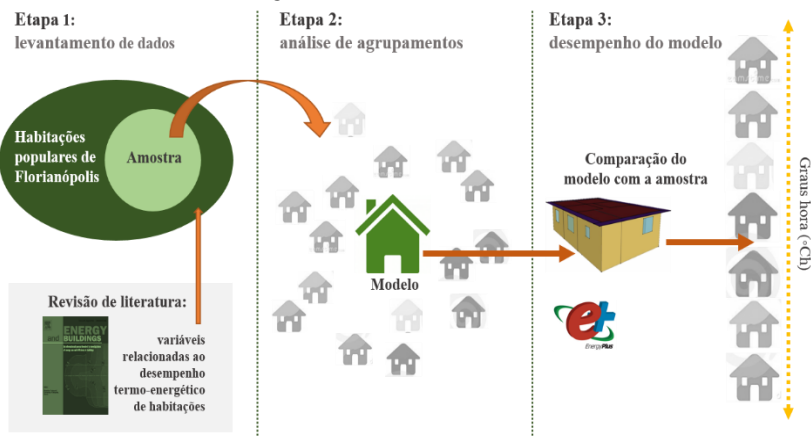
A etapa de levantamento compreendeu a aquisição dos dados em campo, com o uso de questionários semiestruturados. A determinação de quais variáveis seriam levantadas em campo foi baseada na revisão de literatura, onde, através da apresentação de estudos relacionados ao desempenho termo-energético de edificações, pode-se concluir sobre quais variáveis exercem efeito sobre o desempenho térmico de edificações. Também foram levantadas as características socioeconômicas de cada habitação.

Os dados levantados foram submetidos à análise estatística multivariada de dados. A análise de agrupamento (análise de *cluster*) foi a técnica selecionada neste estudo. Esta análise tem por objetivo encontrar grupos dentro de uma população. Determinados os grupos, pode-se então utilizar um único indivíduo de cada grupo para representá-lo, simplificando as análises subsequentes. A análise de agrupamento foi realizada separadamente para cada bloco de informação.

Por fim, os modelos de referência encontrados foram submetidos à simulação computacional. Modelos com as características reais de cada habitação da amostra também foram submetidos à simulação, sob as mesmas condições externas a cada bloco. Os resultados obtidos com as simulações destas habitações foram comparados com os resultados obtidos com os modelos provenientes da análise de agrupamento. Verificou-se então, para cada bloco, através de testes de hipótese, se as médias dos diferentes agrupamentos se diferiam e se o resultado obtido com o modelo de cada agrupamento representava a média do seu grupo.

A Figura 11 representa um resumo do processo adotado nesta pesquisa.

Figura 11: Resumo do método.



3.1. LEVANTAMENTO DOS DADOS EM CAMPO

Para definir o modelo de referência adequado foi necessário primeiramente conhecer as características reais do objeto de estudo. Assim, a primeira etapa deste método trata do levantamento de dados em campo. Foram visitadas habitações populares unifamiliares em zonas previamente selecionadas, onde foram realizadas medições e entrevistas através da aplicação de questionários semiestruturados:

- Questionário 1 - Inicial: trata das características socioeconômicas dos moradores;

- Questionário 2 - Forma e materiais: levantamento das características físicas da edificação, tais como geometria e sistemas construtivos;

A determinação de quais parâmetros deveriam ser levantados foi baseada nos resultados encontrados na literatura sobre as variáveis que mais interferem no desempenho termo-energético das edificações, conforme apresentado no Capítulo 2.

Todos os questionários aplicados nesta pesquisa, assim como as Instruções Técnicas para sua aplicação, estão disponibilizados no Apêndice 1. As informações coletadas com os questionários foram posteriormente compiladas em planilhas eletrônicas do Excel utilizadas para organizar os dados e facilitar seu tratamento.

3.1.1. Delimitação do objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho são as habitações populares unifamiliares localizadas na Grande Florianópolis. Foram, portanto, passíveis de participar desta pesquisa as habitações que atenderam a um dos seguintes critérios:

- Possuir renda familiar igual ou inferior a três salários mínimos (referência abril/ 2012: salário mínimo = R\$ 622,00);
- Possuir residência financiada pelo programa Minha Casa Minha Vida ou outro programa habitacional público para famílias de baixa renda;
- Estar inserida em uma área destinada a interesse social, localizada dentro dos limites da Grande Florianópolis (inclui os municípios de Biguaçu, São José e Palhoça), desde que não seja ultrapassado o valor de R\$ 5.000,00 para renda familiar (baseado no limite máximo aceito pelo Programa Minha Casa Minha Vida em abril/ 2012).

As habitações foram levantadas em cinco regiões: Norte da ilha, Centro, Jardim Aquários, Jardim El Dourado e Foz do Rio. O Norte da ilha compreende as habitações situadas nos bairros Vargem Grande e Canasvieiras, de Florianópolis. O Centro engloba as habitações situadas no Morro da Cruz, no centro de Florianópolis. O bairro Foz do Rio pertence ao município de Biguaçu, ao norte de Florianópolis. Os bairros Jardim Aquários e Jardim El Dourado localizam-se na cidade de

Palhoça, ao sul de Florianópolis. A Figura 12 mostra a localização da Grande Florianópolis no país e a Figura 13 as regiões onde foram realizados os levantamentos.

Figura 12: Localização de Florianópolis.

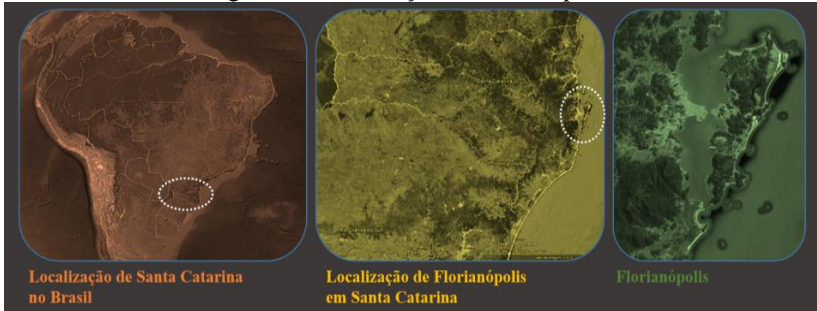
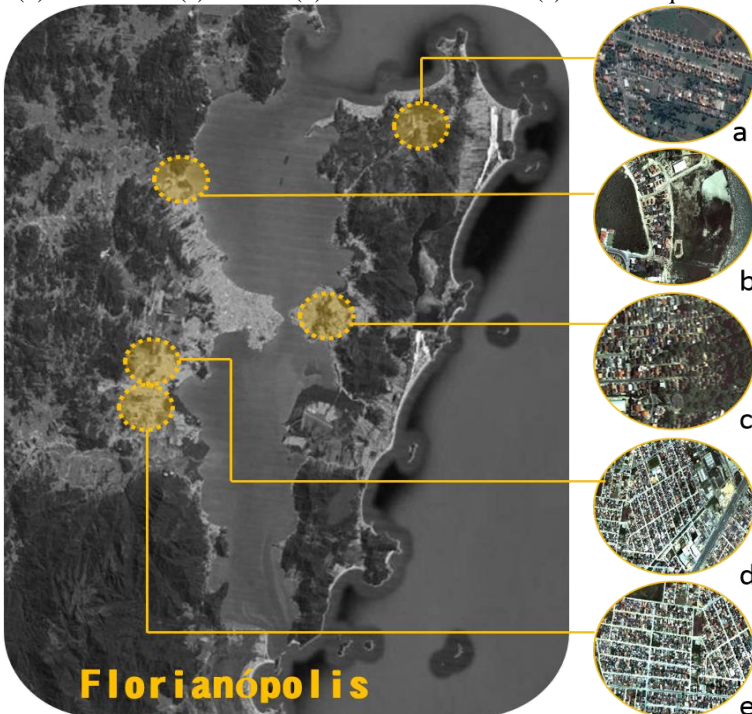


Figura 13: Regiões onde foram realizados os levantamentos: (a) Norte da ilha. (b) Foz do Rio. (c) Centro. (d) Jardim El Dourado. (e) Jardim Aquários.



3.1.2. Levantamento dos dados socioeconômicos

Os principais dados levantados foram: quantidade de moradores por habitação, estrutura familiar (casal ou adulto, com ou sem filhos), renda familiar e per capita e a forma de aquisição da residência (alugada ou própria, recursos privados ou do governo).

Para a realização dos levantamentos utilizou-se apenas o Questionário 1.

O questionário foi preenchido pelo pesquisador conforme as informações fornecidas pelo morador quanto à situação socioeconômica da família. Tais dados foram levantados para caracterizar o usuário do objeto de estudo desta pesquisa, ou seja, quais as características dos moradores das habitações populares unifamiliares em estudo.

3.1.3. Levantamento dos dados referentes à forma das edificações

Os dados referentes à forma dizem respeito à geometria das habitações. Em cada habitação foram levantadas suas dimensões internas e externas, distribuição espacial dos ambientes, referência da rua e orientação da fachada frontal. Também foram levantados os dados referentes às portas e janelas quanto a sua manobra de abertura, dimensões, áreas de iluminação e ventilação e existência de proteção solar (sombreamento).

Para a realização dos levantamentos utilizou-se o Questionário 2, trena de aço flexível de 10m, com precisão em cm e trava (várias marcas), bússola em plástico ABS com visada (várias marcas) e GPS (aplicativo de celular).

Os dados referentes à distribuição espacial da edificação foram registrados no questionário em forma de croqui, onde foram anotadas as dimensões externas, obtidas através de medição com a trena. As demais dimensões (dos ambientes e das aberturas) também foram levantadas com auxílio da trena e anotadas em tabelas específicas no mesmo questionário, assim como todos os demais dados.

A orientação solar da fachada frontal foi anotada no croqui e levantada com uso da bússola ou do GPS. A bússola indica a orientação do norte magnético, sendo necessária posteriormente sua correção para o norte verdadeiro. Este cálculo foi feito utilizando o programa “Cálculo do norte verdadeiro”, disponibilizado para *download* pela empresa A Mira Agrimensura e Cartografia (2013). O levantamento da orientação solar com o GPS não necessita correção pois sua determinação é obtida

por satélite. O GPS foi utilizado nas ocasiões em que os pesquisadores em campo não estavam em posse da bússola.

3.1.4. Levantamento dos dados dos materiais que compõem as edificações

Os dados referentes a este item dizem respeito aos materiais que compõem as paredes, cobertura e piso, aos materiais das esquadrias e também à cor e absorvância externa de cada edificação.

A grande maioria das habitações não possuía o projeto executivo da edificação, portanto não foi possível coletar os dados referentes aos materiais utilizados na edificação desta forma, embora fosse a mais conveniente e correta. Assim sendo, a coleta destas informações se deu por entrevista com o morador, que em muitos casos participou da construção e sabia indicar os materiais utilizados. Quando não era possível o fornecimento desta informação pelo morador, o pesquisador deduzia sua composição através de observação visual. Este procedimento foi adotado para coleta de dados das camadas de materiais das paredes, piso e cobertura em cada ambiente, sendo que a ordem adotada para anotação das camadas deveria ser do material mais externo ao mais interno de cada componente em cada ambiente (ver questionário modelo no Apêndice 1 para maior compreensão). Os dados coletados foram:

- Paredes: espessura e materiais que compõem a parede, como pintura (indicando a cor), reboco, argamassa, bloco cerâmico ou de concreto, madeira, etc.;
- Piso: acabamento, estrutura e contato ou não com o solo;
- Cobertura: tipo da telha, existência ou não de laje e material do forro, quando fosse o caso;
- Esquadrias: material do caixilho.

As composições foram anotadas no Questionário 2, em tabelas específicas para cada informação. É preciso salientar que os dados coletados, por causa da forma como foram coletados, apresentam baixo detalhamento e, portanto, grande imprecisão, devendo ser utilizados com muito cuidado e atenção no que se propõe com o seu uso.

Além das camadas de materiais, foi medida também a refletância das paredes externas com o espectrômetro ALTA II.

Para a obtenção da absorvância, utilizou-se o Questionário 2 e o espectrômetro ALTA II (Figura 14), do fabricante Vernier Software & Technology.

Figura 14: Espectrômetro ALTA II.



O procedimento de medição consistiu em obter as refletâncias para cada comprimento de onda (referente a onze faixas de cores), primeiramente para uma amostra de referência (no caso, papel branco comum *Ripax* 75g/m²) e, posteriormente, para a mostra a ser analisada. A sugestão do fabricante é de que sejam feitas três medições para cada caso (papel *Ripax* e amostra), e adote-se o valor de referência igual à média aritmética dos dados das três medições. A determinação da refletância adotada para cada faixa de cor é calculada por meio da Equação 4.

$$\rho_{cor} = \frac{\rho_{branco} \cdot V_{cor}}{(V_{branco})} \quad (4)$$

Onde:

ρ_{cor} é a refletância da amostra (%);

ρ_{branco} é a refletância do papel *Ripax* (%);

V_{cor} é o valor obtido na medição da amostra com o espectrômetro;

V_{branco} é o valor obtido na medição do papel *Ripax* com o espectrômetro.

O valor de ρ_{branco} é um valor padronizado para cada folha, obtido a partir de análises com um espectrômetro. Os valores de referência utilizados nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 1. Na primeira linha estão apresentados os nomes escritos em cada tecla do

ALTA II, referente a cada faixa de cor (comprimento de onda) e, na linha abaixo, o valor correspondente de refletância obtido para o papel *Ripax*.

Tabela 1: Valores de referência da refletância do papel *Ripax* para cada faixa de cor.

Cor para cada comprimento de onda	ρ referência
Blue - 470	87,8
Cyan - 525	84,2
Green - 560	80,7
Yellow - 585	79,8
Orange - 600	79,7
Red - 645	87,7
Deep Red - 700	95,1
IR 1 - 735	96,6
IR 2 - 810	96,8
IR 3 - 880	97,3
IR 4 - 940	95,8

Fonte: Dornelles (2008)

A refletância final da amostra é dada pela média aritmética das refletâncias de todas as onze cores. A partir dos dados de refletância medidos, obtém-se a absorptância, indicador para simulação. A Equação 5 mostra o cálculo para se obter a absorptância dada determinada refletância.

$$\alpha = 100 - \rho \quad (5)$$

Onde:

ρ é a refletância obtida (%);

α é a absorptância da amostra (%).

Não foi possível medir a refletância da cobertura. Adotou-se, portanto, este valor de acordo com dados encontrados na literatura.

3.2. DETERMINAÇÃO DOS MODELOS

Nesta etapa, buscou-se responder aos objetivos do estudo, envolvendo a análise de agrupamento. O objetivo deste tipo de análise é identificar, a partir de uma base de dados, grupos que possuam características diferentes entre si e similares dentro de cada grupo. Especificamente para esta pesquisa, os objetivos estão voltados à simplificação de dados, com a qual espera-se obter modelos de edificação com características representativas do grupo e que possam ser utilizados em estudos de desempenho termo-energético.

Para a realização de todas as análises estatísticas foi utilizado o programa SPSS (Statistical Package for the Social Science, v.20.0 para Windows, IBM). É um programa de análise estatística conhecido mundialmente e muito citado em trabalhos envolvendo a análise de agrupamento, motivo pelo qual foi selecionado para uso nesta pesquisa.

A seleção das variáveis para compor a matriz de dados baseou-se no que foi encontrado na literatura (seção 2.1) como indicador de desempenho termo-energético. A partir do resultado dos levantamentos, para cada bloco de informação, foram excluídas as habitações que apresentaram dados incompletos ou inconsistentes (por exemplo, área de ventilação maior que área de janela). Variáveis que possuíam mais de 10% de dados ausentes também foram descartadas. A partir dos dados restantes, foi feita ainda uma redução com o intuito de se obter uma matriz de dados mais concisa, mas sem perda significativa de informação. Desta forma, dados como as dimensões de cada janela, por exemplo, foram agrupados em uma única variável que os descrevia: porcentagem da área de janela por área de fachada. Essa redução foi importante para evitar a multicolinearidade dos dados e também facilitar as análises.

Antes de iniciar o processo de partição (processo de formação dos agrupamentos) é importante verificar a possível existência de objetos atípicos no conjunto de dados. São considerados objetos atípicos aqueles cujos dados diferem da maioria dos casos da amostra, considerando todo o conjunto de variáveis que os definem. Sua identificação é importante pois podem influenciar os resultados da análise.

Na análise de agrupamento todas as variáveis são utilizadas para calcular a similaridade entre os objetos, por isso a investigação de objetos atípicos não deve se limitar a técnicas univariadas. Dado o caráter multivariado da análise, foi necessária a aplicação de técnicas multivariadas, sendo o D^2 de Mahalanobis (Equação 6) a medida

selecionada neste estudo. Trata-se de uma regressão multivariada onde são medidas as distâncias de cada objeto a partir do seu centroide (média multivariada), dada a covariância (variância multivariada) de uma distribuição. Não há um valor D^2 de corte, entretanto utiliza-se a probabilidade associada ao D^2 como fator decisivo. Foram considerados atípicos os objetos cuja probabilidade associada ao D^2 foi menor que 0,001.

$$D^2_{nm} = \sqrt{(x_n - x_m)C^{-1}(x_n - x_m)'} \quad (6)$$

Onde:

D^2_{nm} é a medida de Mahalanobis;

C^{-1} é a matriz de covariâncias;

x_n é o valor de n para cada variável;

x_m é o valor de m para cada variável.

A decisão quanto à inclusão ou exclusão do objeto deve-se basear no motivo pelo qual o objeto foi considerado atípico, tendo em mente os objetivos do estudo. Desta forma, após a identificação dos objetos cuja probabilidade encontrada ficou abaixo do valor especificado, foram comparados os valores das variáveis qualitativas com a frequência de ocorrência e quantitativas com a média e desvio padrão encontrados para esta amostra, e assim julgada a pertinência de mantê-los no estudo ou eliminá-los.

Outro ponto a ser observado antes do início da análise são as diferentes unidades de medida de cada variável, que podem impactar os resultados de modo que uma variável exerça mais influência do que outra devido a maior dispersão dos seus dados. Por exemplo, a variável área total, com amplitude próxima a 130m², impactaria mais os resultados que a quantidade de dormitórios, que varia de 1 a 5. Para garantir que os resultados não fossem influenciados pelas diferentes unidades de medida, as variáveis foram padronizadas (normalizadas). Optou-se pela padronização estatística (*z scores*) por ser a forma mais comum de padronização (BUSSAB et al., 1990). Com esse tipo de padronização, cada variável é definida por um conjunto de dados com média igual a zero e desvio padrão igual a um. Essa consideração é importante por garantir que o grau de dispersão dos dados dentro de cada variável não influencie os resultados. A Equação 7 foi utilizada para padronizar os dados em pontuações Z.

$$Z_{x_i} = \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \quad (7)$$

Onde:

Z_{x_i} é o valor padronizado de x ;

\bar{x} é a média dos valores de determinada variável;

s é o desvio padrão dos valores de determinada variável.

Quanto ao método para formação dos agrupamentos, a abordagem escolhida nessa pesquisa foi a de utilizar os procedimentos hierárquico e não hierárquico conjuntamente. O procedimento hierárquico permitiu a obtenção de um conjunto preliminar de soluções, indicando a quantidade mais apropriada de agrupamentos, enquanto o procedimento não hierárquico forneceu a formação final dos agrupamentos.

O primeiro passo a ser tomado para dar início ao procedimento hierárquico é a definição de uma medida de similaridade. Adotou-se a distância euclidiana quadrada, definida pela soma dos quadrados das diferenças entre cada variável, de todos os pares de objetos. Com essa medida é possível acumular evidências empíricas sobre os níveis de similaridade, diferenciando-se da distância euclidiana por ressaltar as diferenças entre objetos que estão mais distantes (BUSSAB et al., 1990). Esta medida é calculada para cada par de objetos, obtendo a partir destes uma outra matriz de dados, chamada de matriz de similaridade. A Equação 8 foi utilizada para se obter as distâncias entre os objetos utilizando a distância euclidiana quadrada.

$$d_{AB} = \sum_{i=1}^p (x_{i_A} - x_{i_B})^2 \quad (8)$$

Onde:

d_{AB} é a distância euclidiana quadrada do objeto A ao objeto B;

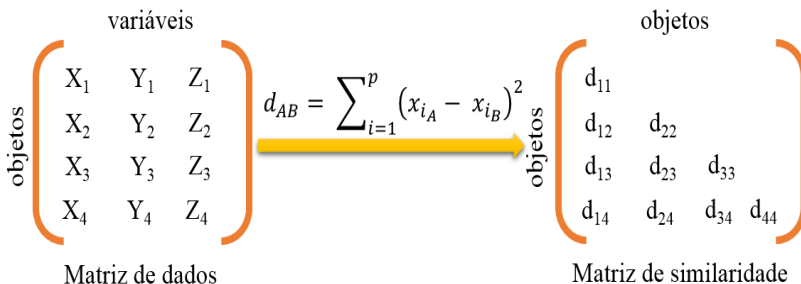
x_{i_A} é o valor de A para cada variável;

x_{i_B} é o valor de B para cada variável.

A Figura 15 ilustra a construção de uma matriz de similaridade a partir de uma matriz de dados, aplicando a distância euclidiana quadrada. À esquerda, é apresentada uma matriz de dados formada por quatro objetos descritos por três variáveis. Aplicando-se a distância euclidiana quadrada a cada par de objetos, obtém-se a matriz de

similaridade. Assim, a distância entre os objetos 1 e 2 é dada pela distância d_{12} .

Figura 15: Construção da matriz de similaridade com a distância euclidiana quadrada.



O Método de Ward foi selecionado como algoritmo de partição, que é um conjunto de regras que define quais pares de agrupamentos são combinados em cada etapa. Esse método considera como melhor solução a combinação que minimiza o aumento residual dos quadrados ao longo de todas as variáveis, em todos os agrupamentos (MINGOTI, 2007).

Definidos o algoritmo de partição e a matriz de similaridade, realizou-se então o procedimento hierárquico. Neste procedimento, os pares de objetos foram combinados de acordo com o valor de distância obtido com a medida de similaridade especificada e as regras de partição do algoritmo selecionado. Em cada etapa, dois agrupamentos distintos foram combinados para formar um novo agrupamento. O valor da distância em que cada agrupamento foi formado indica o nível de similaridade entre eles. A Figura 16 exemplifica este processo.

A formação dos agrupamentos a partir do método hierárquico permitiu a construção de um dendograma, que é um gráfico escalonado em forma de árvore onde são observados os níveis de similaridade obtidos a cada união. Também foram obtidos os coeficientes de aglomeração para cada combinação, que é uma medida de heterogeneidade referente ao novo agrupamento. Esta medida foi calculada pelo programa SPSS durante o processo de partição e se baseia na Teoria de Grafos de redes complexas, assunto que não será abordado aqui. Nos estágios iniciais, esta medida é pequena, e vai crescendo à medida que diferentes agrupamentos são combinados. A Figura 17 exemplifica a construção de um dendograma.

Figura 16: Formação dos agrupamentos pelo processo hierárquico.

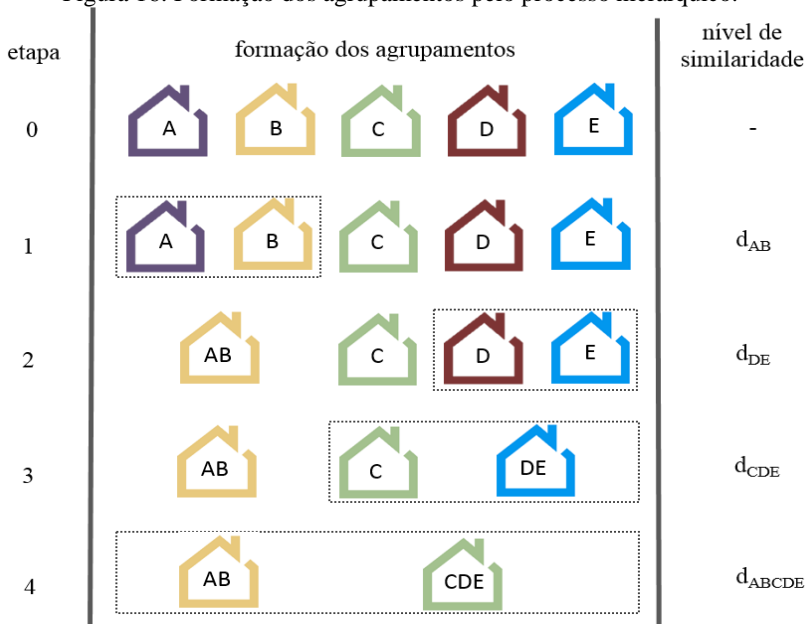
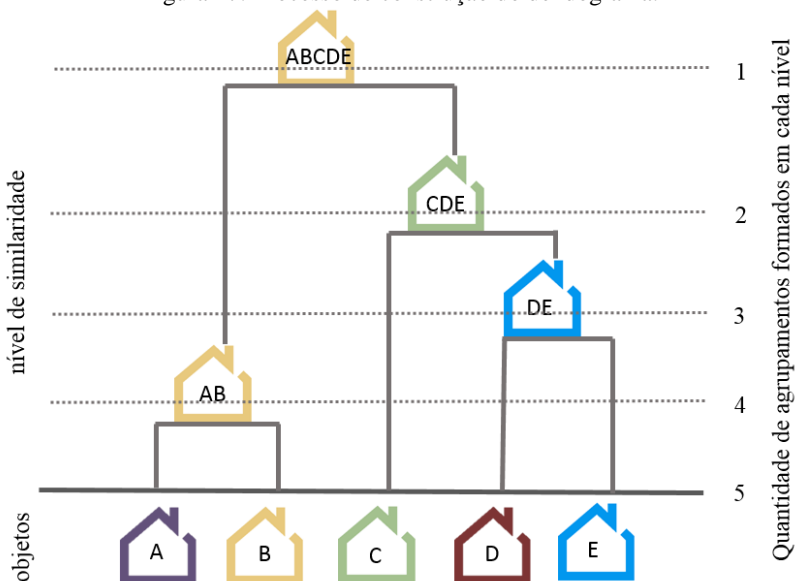


Figura 17: Processo de construção do dendograma.



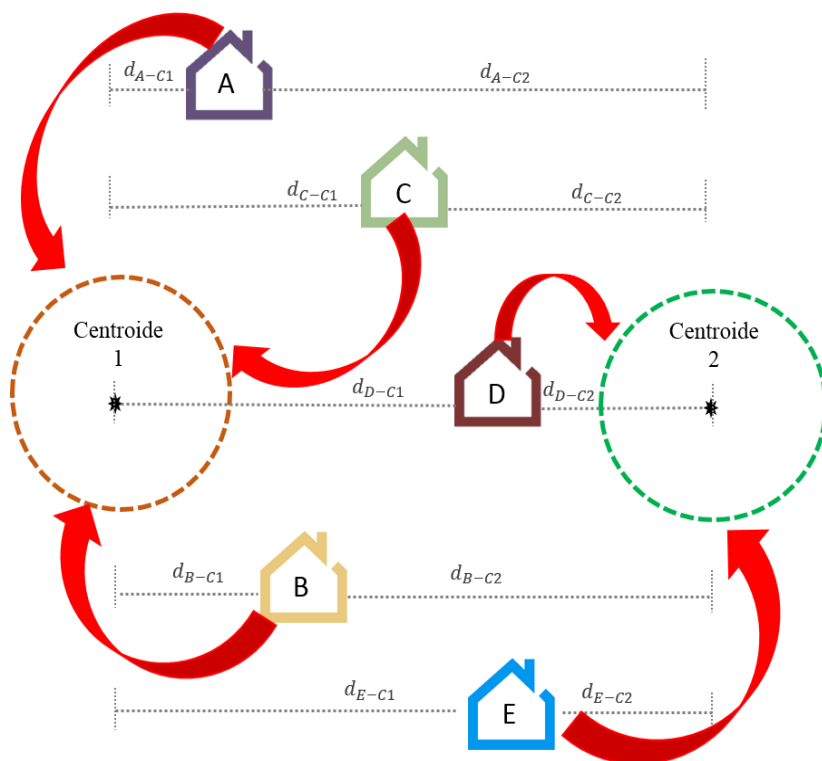
Com o exame do dendograma e dos coeficientes de aglomeração, foi possível determinar as soluções preliminares de agrupamento a partir da avaliação das variações percentuais da heterogeneidade obtidas a cada união. Um grande aumento de heterogeneidade significa que dois agrupamentos muito distintos foram unidos. A quantidade de agrupamentos a serem formados foi determinada então pela solução anterior a uma etapa onde a combinação dos agrupamentos gerou um aumento percentual do coeficiente de aglomeração muito maior que as etapas anteriores.

Antes de prosseguir, foi importante verificar nesta etapa se algum dos agrupamentos formados era constituído por uma quantidade muito pequena de objetos. Como o objetivo deste estudo é a determinação de um modelo de referência de um estoque edificado, sendo os grupos muito pequenos irrelevantes para o produto final, considerou-se que os agrupamentos formados por menos de 10% de objetos da amostra eram pouco representativos e foram excluídos. Esta etapa aconteceu após a formação dos agrupamentos no processo hierárquico e, nos casos em que algum objeto foi excluído, o processo de agrupamento foi refeito para o novo banco de dados.

Determinada a quantidade de agrupamentos ideal, foi aplicado o procedimento não hierárquico para a obtenção da solução final. Neste procedimento, os objetos são distribuídos simultaneamente nos agrupamentos conforme sua proximidade aos pontos sementes (pontos de referência por onde inicia-se o processo de agrupamento). Estes pontos representam o centro do grupo (centroide), que vai sendo alterado à medida que novos objetos são agrupados. Com a alteração dos centroides, alguns objetos inicialmente designados a um agrupamento podem tornar-se mais próximos do centroide de outro agrupamento, sendo portanto redesignados. Este mesmo procedimento é refeito a quantidade de vezes necessárias até que se alcance a convergência (quando mais nenhum objeto é designado a um novo agrupamento em função da alteração do seu centro). A Figura 18 apresenta esse processo.

A definição dos pontos sementes foi realizada por meio do método de amostragem (seleção aleatória), realizado pelo programa SPSS. O algoritmo de partição utilizado foi o de otimização, que realiza consecutivas interações entre os objetos de cada agrupamento até que seja alcançado o menor grau de heterogeneidade possível (mais próximo de zero).

Figura 18: Formação dos agrupamentos pelo processo não hierárquico.



Com este processo, os agrupamentos foram formados. Neste tipo de análise, não há um “ p_{valor} ” de comparação do resultado final para verificar se o agrupamento foi bom ou ruim, visto que a variável estatística é definida pelos próprios dados envolvidos na análise. Por isso, foram utilizados outros procedimentos estatísticos para averiguar a adequação quanto à separação dos agrupamentos. Foram realizados testes de hipótese com todas as variáveis a fim de verificar se estas apresentaram diferenças significativas entre os grupos. O Quadro 2 apresenta os testes utilizados para cada situação, dependendo do tipo da variável envolvida e da quantidade de agrupamentos formados. Para todos os testes, foi adotado nível de significância igual a 0,05, assumindo que as variáveis são estatisticamente independentes quando o p_{valor} obtido com o teste for menor que 0,05. Detalhamentos sobre cada

um dos testes podem ser encontrados na página do Programa de Ensino-aprendizagem em Estatística na Web da UFSC – SestatNet (NASSAR et al., 2014).


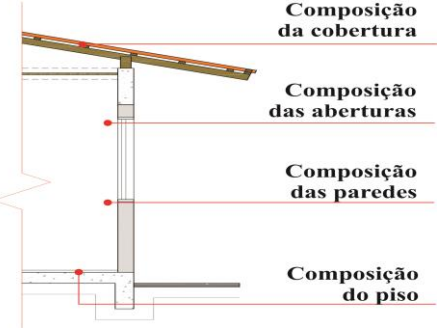
Quadro 2: Testes de hipótese utilizados para verificação quanto à adequação dos agrupamentos formados.

Tipo da variável	Quantidade de agrupamentos formados	Verificação quanto à normalidade	Teste de hipótese aplicado
Quantitativa	2 agrupamentos	Paramétrico	t de Student
		Não paramétrico	U de Whitney
	k agrupamentos	Paramétrico	t de Student
		Não paramétrico	ANOVA Kruska Wallis
Qualitativas	2 agrupamentos	Não se aplica	Qui-quadrado
	K agrupamentos	Não se aplica	Qui-quadrado

Por fim, foram apresentados os agrupamentos formados e suas características. O perfil de cada agrupamento foi determinado baseando-se nas variáveis envolvidas na análise. Os modelos de referência foram determinados a partir dos objetos com menor distância ao centroide de cada agrupamento, caracterizando-se como modelos reais (definidos a partir de características de habitações reais) e não de habitações teóricas (resultante da combinação das médias obtidas para cada variável).

Este método foi aplicado a cada bloco de informações separadamente. Como resultado final, foi apresentada, para o bloco de informações referentes à forma, uma planta baixa contendo a configuração espacial da habitação, suas dimensões e orientação solar, além de um modelo computacional para simulação no programa *Energyplus*. Para o bloco de informações referentes aos materiais, foram listados aqueles que compõem as paredes, piso e cobertura de cada modelo, além dos materiais de cada esquadria. O Quadro 3 ilustra os dados citados.

Quadro 3: Apresentação dos resultados da análise de agrupamento para cada bloco.

Bloco de informação	Dados do modelos	
<p>Forma</p>	<p>Informações</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões • Zonas térmicas (ambientes) • Configuração espacial • Orientação solar
	<p>Produto</p>	
<p>Materiais</p>	<p>Informações</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Composição das paredes • Composição do piso • Composição da cobertura • Material das esquadrias
	<p>Produto</p>	

3.3. SIMULAÇÃO DOS MODELOS

A última etapa deste trabalho visa verificar a aplicabilidade dos modelos encontrados nas simulações computacionais. Dessa forma, tanto os modelos encontrados como as demais habitações levantadas foram submetidos à simulação computacional, com auxílio do programa *Energyplus*. Os resultados obtidos com os modelos foram comparados com os resultados das demais habitações, permitindo concluir se o modelo representa bem a amostra ou não.

3.3.1. Configuração dos arquivos para simulação

Os arquivos referentes a cada modelo foram configurados de forma que todos os parâmetros permanecessem iguais, com exceção daqueles relativos aos blocos em questão. Por exemplo, nas simulações do bloco de materiais, adotou-se a mesma forma, a potência instalada e as rotinas de operação para todas as habitações. Os demais parâmetros, como arquivo climático, algoritmos de transferência de calor, etc., também foram padronizados. Assim, ao simular os modelos de referência do bloco “materiais”, as demais características permaneceram iguais, prevalecendo as diferenças apenas em relação aos diferentes materiais das habitações. Este mesmo processo foi estendido aos demais blocos.

O clima de Florianópolis foi representado nas simulações com o arquivo climático do Ano de referência (TRY), com extensão *epw*, disponibilizado no site do LabEEE (<www.labeee.ufsc.br>).

As trocas de calor entre o piso e o solo foram calculadas pelo programa *Slab*, vinculado ao *Energyplus*. Após a primeira simulação da edificação, os dados de temperatura média mensal do solo foram obtidos e novamente inseridos.

As trocas de ar entre a edificação e o meio foram realizadas com a configuração do objeto *AirflowNetwork*. Neste objeto são definidas as superfícies por onde acontecem as trocas de ar e as propriedades relativas a esta troca. O controle da ventilação foi dado pela temperatura, juntamente com as rotinas de abertura de portas e janelas. Adotou-se como temperatura de *setpoint* 20°C. Quanto às rotinas de operação, estas foram determinadas conforme encontrado em campo na habitação selecionada como modelo de referência, e está disponibilizada no Apêndice 2. Ainda neste objeto, foram detalhados os componentes das aberturas, para os quais os coeficientes e expoentes de fluxo de ar

foram adotados conforme Liddament (1986), para as manobras de abertura e materiais das esquadrias. O modelo *AirflowNetwork* foi configurado conforme orientações encontradas no Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados”, disponível no site do LabEEE, no *INPUT/OUTPUT Reference (Energyplus, versão 8.1)* e dos exemplos (*example files*) disponibilizados junto com a instalação do programa.

Para as atividades realizadas em cada zona foram adotados valores de taxa metabólica (W/m^2) obtidos na ASHRAE (2010), considerando uma área de pele média de $1,80 m^2$. A Tabela 2 apresenta estes dados.

Tabela 2: Valores de taxa metabólica por ambiente

Ambiente (zona)	Atividade realizada	Taxa metabólica [W/m^2]	Taxa metabólica para área de pele = $1,80 m^2$ [W]
Sala	Sentado, lendo, quieto	60	108
Cozinha/ A. Serviço	Cozinhando, limpando	110	198
Quartos	Dormindo, relaxando	45	81

Fonte: ASHRAE (2010).

A forma dos modelos foi configurada com auxílio do *plugin Open Studio*, dentro do programa *SketchUp*, que facilita a inserção das coordenadas da edificação. Foram modeladas as zonas térmicas (representando cada ambiente), as aberturas, o sombreamento e a orientação solar da fachada frontal. No *Energyplus*, foram também utilizadas algumas informações da forma no objeto *AirflowNetwork*, a respeito das zonas e superfícies onde há troca de ar com o meio externo e também em função da manobra de abertura realizada.

Para determinação das propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos (*constructions*), foi utilizado o programa *Thermal Properties*, desenvolvido por alunos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC (ainda não foi disponibilizado para uso público). Ao inserir as camadas de materiais obtidas nos modelos de referência, o programa fornece os *materials* (materiais) e as *constructions* (sistemas construtivos) em arquivo com extensão *.txt* com as propriedades equivalentes como devem ser inseridas no *Energyplus*. O programa usa dados da NBR 15220 para os cálculos. No *Energyplus*,

as *constructions* que definem cada superfície são inseridas nos objetos *BuildingSurface: Detailed* e *Fenestration Surface: Detailed*.

A potência total instalada em cada ambiente foi configurada nos objetos *Lights* (referente às lâmpadas) e *ElectricEquipment* (referente aos equipamentos). O método de cálculo escolhido foi o *design level*.

Os dados de operação foram inseridos no objeto *Schedule:compact*, e depois utilizados nos objetos *People* (referente à ocupação), *Lights* (referente ao padrão de uso das lâmpadas), *ElectricEquipment* (referente ao padrão de uso dos equipamentos) e no objeto *AirflowNetwork* (referente ao padrão de operação de portas e janelas).

O resumo dos parâmetros e objetos configurados nos modelos de simulação é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Configuração dos parâmetros no programa de simulação.

Bloco	Parâmetros	Objetos envolvidos
Forma	Dimensões Proporções Ambientes (zonas) Configuração espacial Dimensão das aberturas Manobra de abertura Sombreamento Orientação da fachada frontal	<i>Zone</i> <i>BuildingSurface: Detailed</i> <i>Fenestration Surface: Detailed</i> <i>Shading:Building:Detailed</i> <i>AirflowNetwork</i>
Materiais	Composição paredes Composição cobertura Composição pisos Contato com solo Absortância externa Esquadrias	<i>Material</i> <i>WindowMaterial: Glazing</i> <i>Construction</i> <i>BuildingSurface: Detailed</i> <i>Fenestration Surface: Detailed</i> <i>AirflowNetwork</i> <i>Slab</i>
Potência instalada	Potência instalada em iluminação para cada ambiente Potência instalada em equipamentos para cada ambiente	<i>Lights</i> <i>ElectricEquipment</i>
Operação	Quantidade de moradores Padrão de ocupação dos ambientes Utilização dos equipamentos e iluminação Operação de portas e janelas	<i>Schedule compact</i> <i>People</i> <i>Lights</i> <i>ElectricEquipment</i> <i>AirflowNetwork</i>

3.3.2. Análise dos resultados

A partir dos casos simulados, foram comparados os resultados da amostra e dos modelos para verificar se havia correspondência entre eles. A variável de saída solicitada foi a temperatura operativa interna ($^{\circ}\text{C}$), para cada ambiente.

Os dados de temperatura operativa dos ambientes de longa permanência (sala ou sala e cozinha conjugadas e dormitórios), obtidos para os blocos de forma e materiais, foram tratados com as Equações 9 e 10 a fim de se obter o valor de graus hora de resfriamento e aquecimento, respectivamente.

$$GH_R = \sum (T_o - 26^{\circ}\text{C}) \quad (9)$$

$$GH_A = \sum (18^{\circ}\text{C} - T_o) \quad (10)$$

Onde:

GH_R é o indicador de graus hora para resfriamento;

GH_A é o indicador de graus hora para aquecimento;

T_o é a temperatura operativa interna de cada ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

Com a soma dos valores de graus hora de resfriamento e de aquecimento de cada ambiente obteve-se o valor de graus hora total do ambiente. Como cada habitação possui quantidades diferentes de salas e dormitórios, com diferentes dimensões, foi realizada uma ponderação pela área de cada ambiente (conforme sugerido por SILVA, 2013) para obtenção de apenas um indicador de graus hora para os dormitórios e outro para as salas. O mesmo procedimento foi adotado para todos os ambientes de longa permanência, resultando em um único valor de graus hora para toda a habitação. Ao final, obteve-se ao todo nove variáveis para cada habitação (graus hora de resfriamento, aquecimento e total para sala, dormitório e toda a habitação). A Equação 11 apresenta a expressão numérica utilizada para a ponderação do graus hora pela área e o Quadro 5, um resumo das variáveis obtidas para cada habitação.

$$GH_{ponderado} = \sum \frac{(GH_{ambiente} \times AU_{ambiente})}{AU_{total}} \quad (11)$$

Onde:

$GH_{ponderado}$ é a média ponderada dos graus hora de cada ambiente pela área útil;

$GH_{ambiente}$ é o indicador de graus hora do ambiente;

$AU_{ambiente}$ é a área útil do ambiente;

AU_{total} é a soma das áreas úteis dos ambientes.

Quadro 5: Variáveis utilizadas para a comparação dos resultados dos modelos e das demais habitações da amostra.

Ambiente	Variável
Sala	Graus hora de resfriamento da sala; Graus hora de aquecimento da sala; Graus hora total da sala
Dormitório	Graus hora de resfriamento do dormitório; Graus hora de aquecimento do dormitório; Graus hora total do dormitório.
Habitação	Graus hora de resfriamento da habitação; Graus hora de aquecimento da habitação; Graus hora total da habitação.

Em posse dos resultados de graus hora, algumas análises foram realizadas para verificar se os agrupamentos formados e os modelos determinados para cada agrupamento eram adequados.

Primeiramente, foi realizada uma comparação entre as amostras de graus hora de cada agrupamento, para todas as variáveis mencionadas no Quadro 5, através de testes de hipóteses. Foi possível assim verificar se as médias amostrais eram iguais ou se diferiam. Adotou-se valor de significância de 0,05. Assim, para as variáveis que obtiveram p_{valor} abaixo de 0,05, considerou-se que não eram iguais.

A seguir, foram comparados, para cada variável, os valores de graus hora do modelo de cada agrupamento com a média amostral do mesmo agrupamento através de teste de hipótese para uma amostra, adotando também significância de 0,05. Confirmou-se a hipótese de igualdade de médias para as variáveis que obtiveram p_{valor} acima de 0,05.

Por fim, foi analisada a distribuição amostral para cada variável de cada agrupamento. Foi verificado se o valor do modelo se encontrava entre o primeiro e o terceiro quartis, significando assim que não representa um valor extremo e, portanto, representa bem a amostra.

O Quadro 6 apresenta os testes de hipóteses utilizados nas análises, para cada situação. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o programa SPSS.

Quadro 6: Testes de hipóteses utilizados nas análises.

Análise	Quantidade de agrupamentos formados	Verificação quanto à normalidade	Teste de hipótese aplicado
Comparação entre agrupamentos	2 agrupamentos	Paramétrico	t de Student
		Não paramétrico	U de Whitney
	k agrupamentos	Paramétrico	t de Student
		Não paramétrico	ANOVA Kruska Wallis
Comparação do modelo de referência com o seu agrupamento	Não se aplica	Paramétrico	t de Student
	Não se aplica	Não paramétrico	T de Wilcoxon

4. RESULTADOS

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

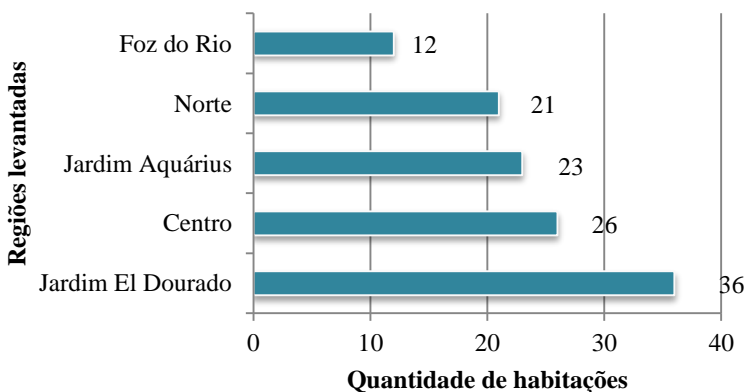
Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir dos levantamentos em campo. Conforme proposto no método, os dados referentes a cada bloco de informação são apresentados separadamente.

4.1.1. Delimitação do objeto de estudo

Foram realizados levantamentos em 120 unidades habitacionais ao longo de aproximadamente um ano. Nem todos os questionários foram completamente preenchidos para todas as casas, sendo algumas desprezadas dependendo da quantidade e relevância da informação não obtida.

A Figura 19 mostra a quantidade de habitações levantadas por região.

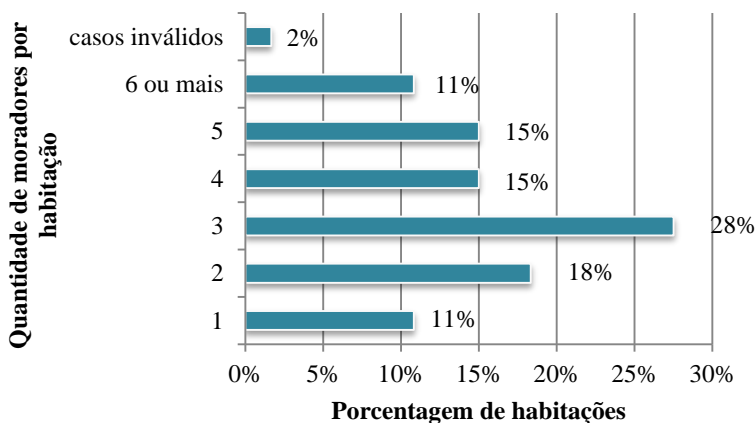
Figura 19 Quantidade de habitações levantadas por região.



4.1.2. Levantamento dos dados socioeconômicos

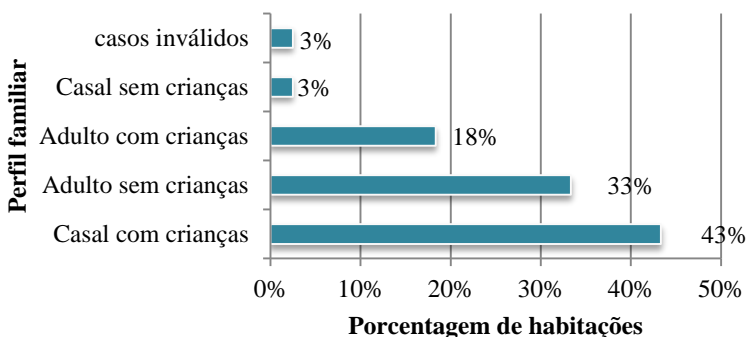
A Figura 20 apresenta a porcentagem de habitações conforme a quantidade de moradores por habitação. Observa-se que habitações com três moradores é o caso mais frequente, embora a porcentagem de habitações com dois moradores seja também relevante (quase 20% dos casos).

Figura 20: Frequência da quantidade de habitações conforme a quantidade de habitantes.



A Figura 21 mostra a porcentagem de habitações para cada perfil familiar. O perfil predominante é o de casal com crianças, representando quase metade da amostra. O perfil de casal sem crianças, no entanto, é inexpressivo, com apenas 3% dos casos.

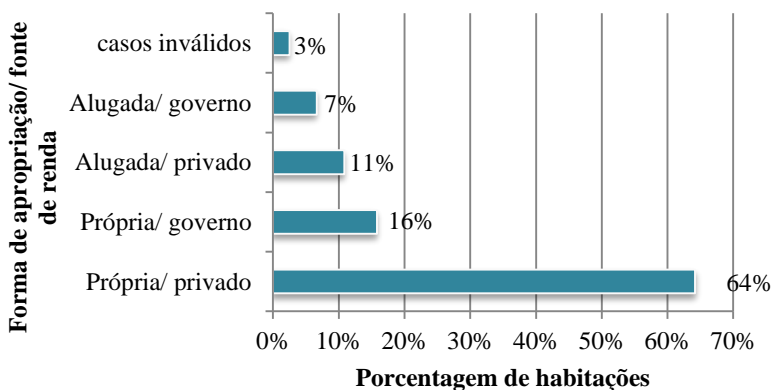
Figura 21: Quantidade de habitações para cada perfil familiar.



Quanto à fonte de renda usada para a construção da habitação, predomina aquela provinda da renda da própria família. A grande maioria das habitações são ocupadas pelos seus proprietários e não construídas para acréscimo de renda com aluguel. A Figura 22 apresenta

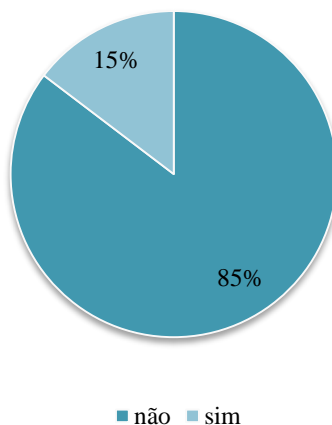
os dados referentes à fonte de renda da construção e forma de apropriação do imóvel.

Figura 22: Fonte de renda para construção e apropriação do imóvel.



Quanto à quantidade de moradores que realizam trabalho remunerado em casa, verificou-se que 85% dos moradores não o fazem. A Figura 23 apresenta a porcentagem de habitações cujo morador realiza trabalho para produção de renda em casa.

Figura 23: Porcentagem de casos em que o morador realiza trabalho remunerado em casa.



Por fim, são apresentadas as porcentagens de casos por faixa de renda, conforme a quantidade de salários mínimos (considerando um salário mínimo igual a R\$622,00). A Figura 24 apresenta a porcentagem de casos por renda familiar e a Figura 25, renda per capita. Observa-se que em 50% das habitações levantadas a renda familiar é inferior a três salários mínimos (caracterizando-se como habitações de interesse social), com menos de um quinto das habitações com renda familiar acima de cinco salários mínimos. Quanto à distribuição de habitações por renda per capita, em 93% dos casos a renda não ultrapassa dois salários mínimos. Este fato sugere que o aumento da renda familiar está provavelmente relacionado com o aumento de pessoas que contribuem com a renda da casa, e não necessariamente com o morador recebendo salário maior.

Figura 24: Porcentagem de habitações por faixa de renda familiar.

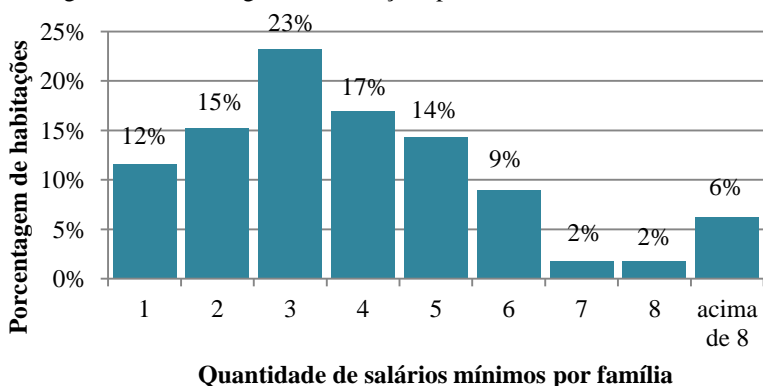
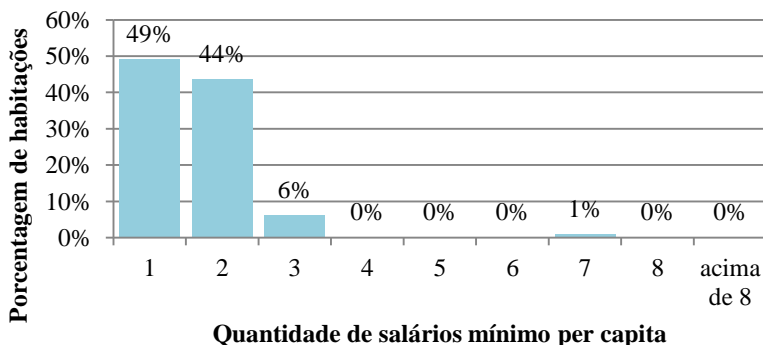


Figura 25: Porcentagem de habitações por faixa de renda per capita.

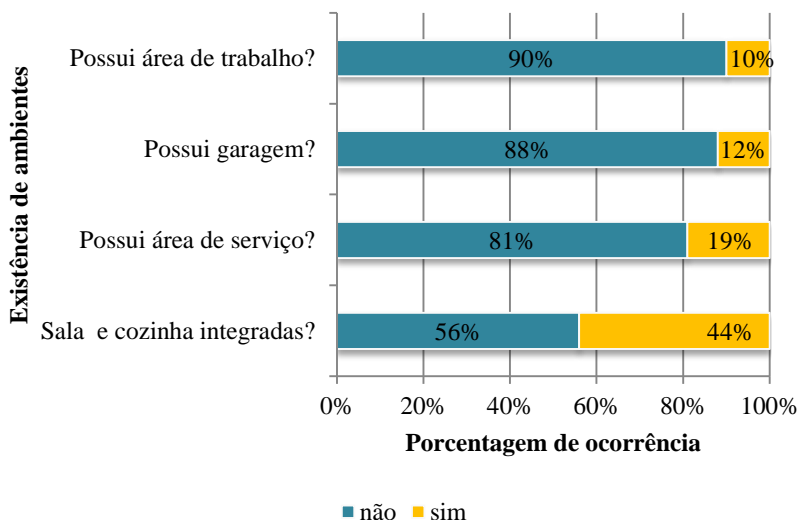


4.1.3. Levantamento dos dados referentes à forma das edificações

Como mencionado na descrição do método, este bloco de informações trata das disposições formais da edificação, relativas à sua geometria, dimensões e configuração espacial. Ao todo, das 120 habitações levantadas, apenas 103 foram consideradas válidas para este bloco.

A Figura 26 apresenta algumas informações quanto à configuração dos espaços internos. Percebe-se que a grande maioria das habitações não possui ambientes internos específicos para trabalho, área de serviço, nem garagem. Quanto à disposição dos ambientes sala e cozinha integrados ou não, observa-se que há um equilíbrio entre os dois casos, prevalecendo ainda assim a situação em que estes dois ambientes configuram-se como espaços independentes.

Figura 26: Porcentagem da existência de ambientes.



Referente à quantidade de dormitórios existentes, apresentado na Figura 27, observa-se uma predominância de habitações com dois dormitórios, seguida de habitações com três dormitórios. As habitações onde há ocorrência acima de três dormitórios correspondem a menos de 10% do total da amostra. Quanto à quantidade de banheiros, apresentado na Figura 28, 89% das habitações da amostra possuíam apenas uma

unidade, sendo que em um dos casos não foi encontrada nenhuma unidade.

Figura 27: Porcentagem de habitações conforme a quantidade de dormitórios existentes.

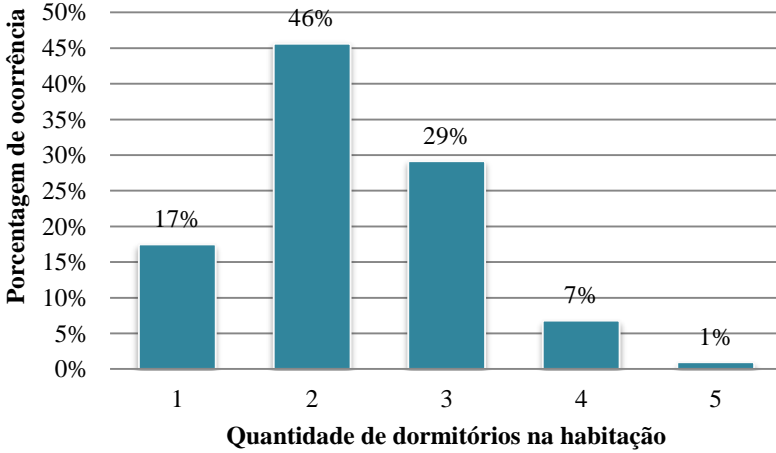
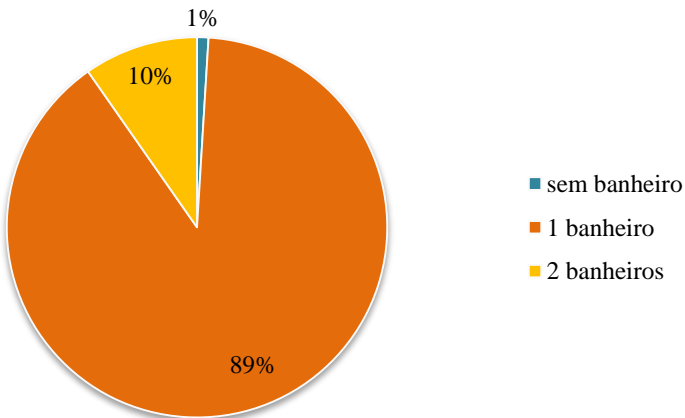


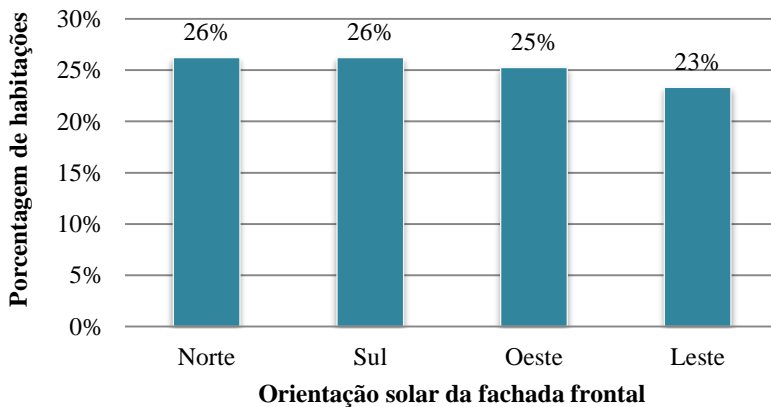
Figura 28: Porcentagem de habitações conforme a quantidade de banheiros existentes.



Quanto à orientação solar da fachada frontal, verificou-se uma distribuição de ocorrências similar para todos os casos, com sutil menor

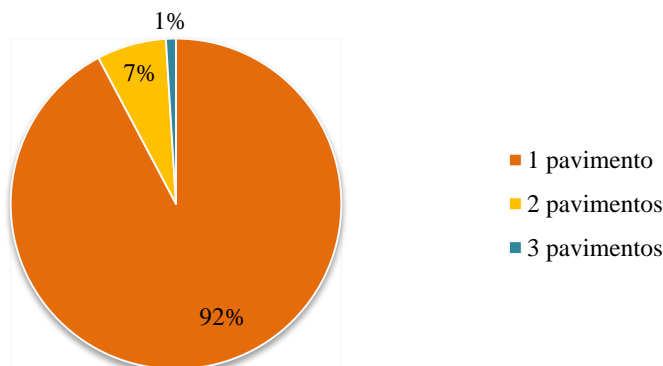
incidência para a orientação leste. Esta coincidência provavelmente está relacionada ao fato dos levantamentos terem sido realizados prioritariamente em locais onde o planejamento urbanístico se deu em malha xadrez (ortogonal), configurando os lotes voltados para as mesmas orientações. A Figura 29 apresenta esses resultados.

Figura 29: Porcentagem de ocorrência referente à orientação da fachada frontal.



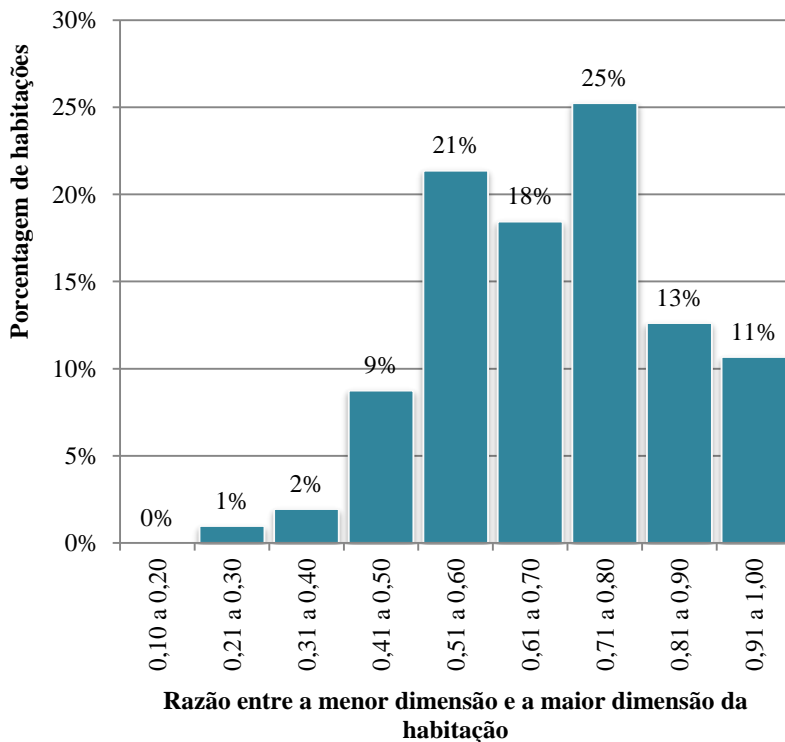
A maioria das habitações da amostra possuía apenas pavimento térreo (92%), contando com pavimento superior apenas 7% dos casos, e apenas uma ocorrência com três pavimentos. A Figura 30 apresenta os resultados referentes à quantidade de pavimentos das habitações.

Figura 30: Porcentagem de habitações por quantidade de pavimentos.



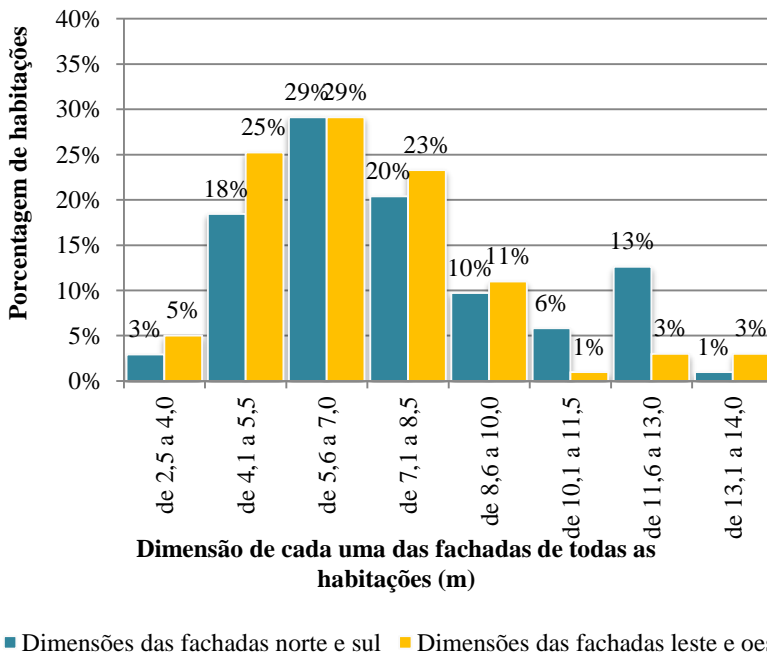
Outra característica levantada foi a relação de proporção entre as dimensões das fachadas das habitações. A Figura 31 apresenta um histograma da razão entre a dimensão da menor fachada (m) pela dimensão da maior fachada (m). Observa-se que predominam as faixas entre 0,5 e 0,8, representando edificações retangulares de proporções 1x1,5 até 1x2.

Figura 31: Proporção entre as dimensões das fachadas.



A Figura 32 apresenta a frequência de ocorrência das dimensões das fachadas voltadas para o norte ou sul e leste ou oeste. Observa-se que a frequência de ocorrência para cada faixa de medida para os dois casos é bem similar. Isto indica que não há preocupação quanto à orientação solar no processo de implantação da edificação, provavelmente havendo maior relação entre a implantação e a via pública ou dimensões do terreno. A faixa com as medidas mais frequentes varia de 5,6m a 7,0m.

Figura 32: Porcentagem de ocorrência das dimensões de cada fachada de todas as habitações por orientação.



As Figuras de 33 a 37 e a Tabela 3 tratam das áreas das edificações. A Figura 33 mostra a frequência de ocorrência das áreas totais das habitações. As áreas totais concentram-se nas faixas entre 26m² e 85m² (94% dos casos), apresentando grande variação, mas mais da metade dos casos concentram-se nas faixas entre 41m² e 70m². Analisando as Figuras 34 e 35 observa-se que há uma concentração maior na faixa entre 18m² e 23m² em ambos os casos, embora para as áreas íntimas (soma das áreas dos dormitórios) perceba-se uma distribuição mais homogênea nas demais faixas. Nas áreas de convívio social (soma das áreas referentes à sala e cozinha) há uma tendência que mostra um aumento da concentração de casos até alcançar a faixa mencionada, e após ela, um declínio. Em um primeiro momento poderia se ter a impressão de que isto se deve a uma maior quantidade de dormitórios nos casos compreendidos entre 17m² e 21m². Entretanto, ao se analisar a Figura 36, observa-se de fato a predominância de

dormitórios com áreas de $8,6\text{m}^2$ a 10m^2 (35% dos casos), assim como já foi visto também na Figura 27 a predominância de habitações com dois dormitórios apenas (46% dos casos). A segunda faixa de área com maior quantidade de casos quanto à área média dos dormitórios varia de $7,1\text{m}^2$ a $8,5\text{m}^2$. Isto sugere uma tendência a haver um dormitório principal com maiores dimensões em relação aos demais dormitórios, o que é confirmado na Figura 37.

Figura 33: Frequência de ocorrência da área total da edificação.

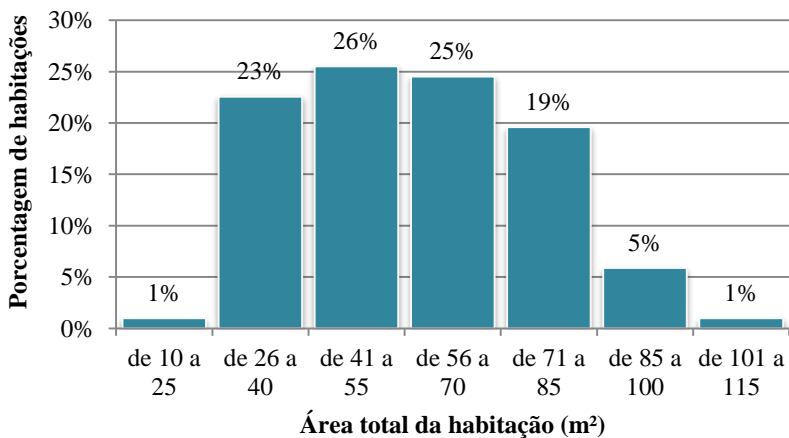


Figura 34: Frequência de ocorrência das áreas da sala e cozinha da habitação.

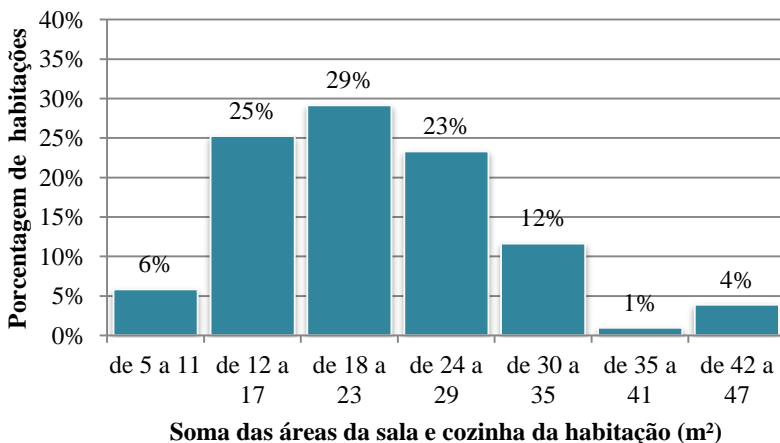


Figura 35: Frequência de ocorrência da soma das áreas dos dormitórios da habitação.

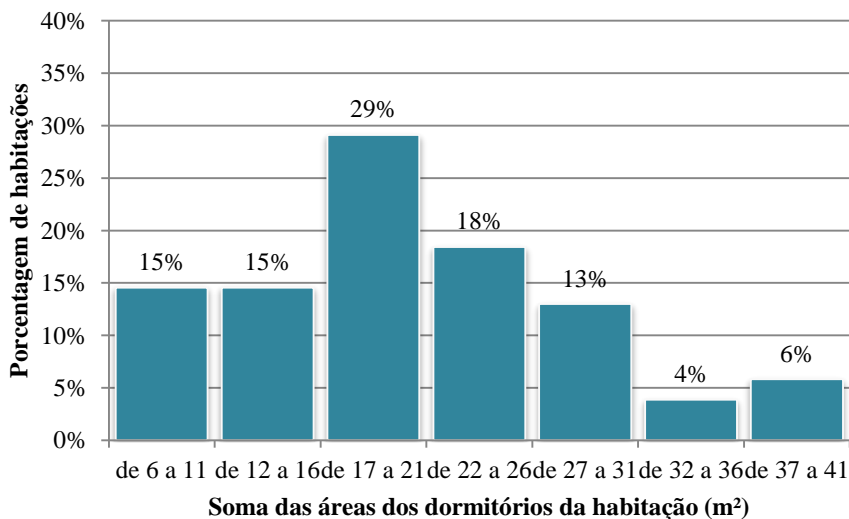


Figura 36: Frequência de ocorrência das médias das áreas dos dormitórios da habitação.

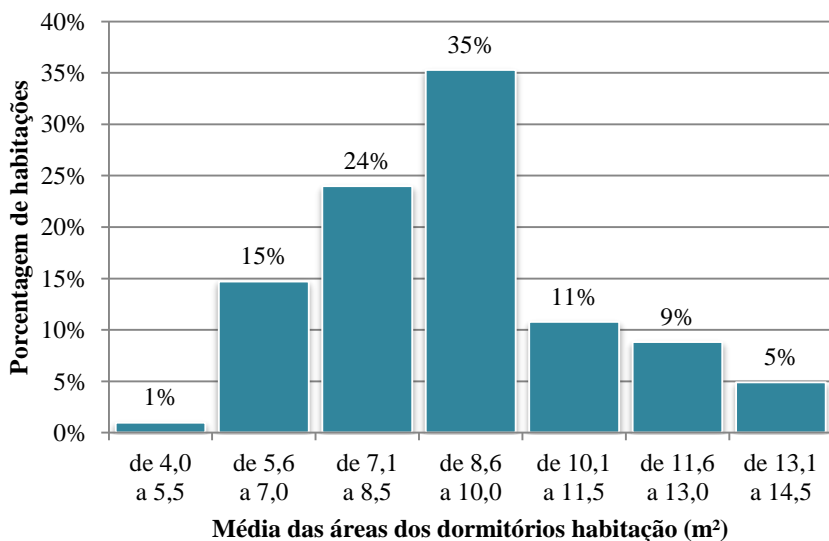
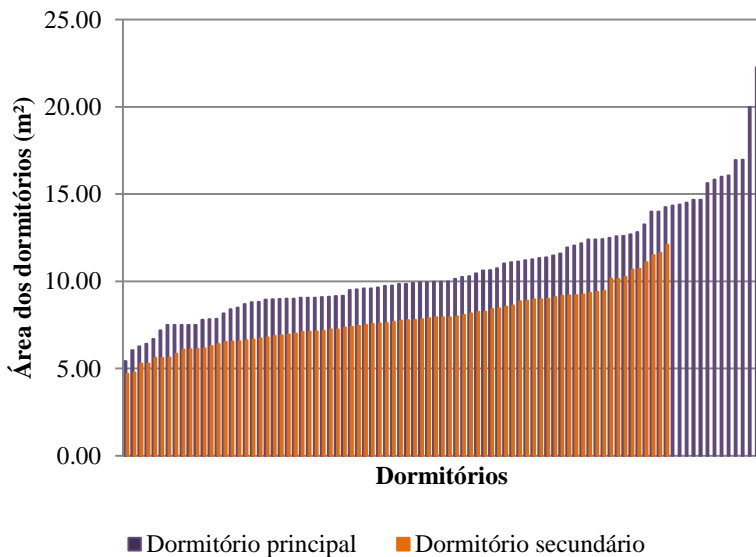


Figura 37: Áreas dos dormitórios principal e secundário em cada habitação.



A Tabela 3 mostra um resumo das medidas estatísticas das áreas mencionadas. A média da área total é de 57m^2 , com limites inferior e superior bem próximos, de $53,14\text{m}^2$ e $61,00\text{m}^2$, respectivamente. O mesmo pode ser observado para as demais áreas, com média de $21,82\text{m}^2$, $20,28\text{m}^2$ e $9,12\text{m}^2$ (área social, área íntima e dormitórios, respectivamente), e intervalos com menos de 3m^2 aproximadamente. Verifica-se também que a mediana encontrada para as áreas total e de cada ambiente é bem próxima à média, o que significa que a distribuição das áreas das habitações é homogênea para cima e abaixo da média, mesmo tendo o desvio padrão um valor alto para a área total. Também se observa nesta tabela que a variância da área total é elevada, enquanto a da área média dos dormitórios é baixa. Este fato é importante de ser observado, pois trata-se de um indicativo do que esperar nas futuras análises para encontrar grupos na amostra; provavelmente a distribuição das habitações em diferentes grupos será muito mais influenciada pelo valor da área total, enquanto a área dos dormitórios terá baixa influência ou até nenhuma. As áreas social e íntima, embora possuam variância muito abaixo da encontrada para área total, também possuem variância alta, podendo ser influentes na formação dos grupos.

Tabela 3: Medidas estatísticas das áreas.

Medidas estatísticas		Área total (m ²)	Área social (m ²)	Área íntima (m ²)	Área média dos dormitórios (m ²)
Média		57,07	21,82	20,28	9,12
Intervalo de confiança (95%)	Limite inferior	53,14	20,26	18,68	8,67
	Limite Superior	61,00	23,37	21,88	9,57
Mediana		56,00	21,06	18,79	8,89
Variância		403,94	63,20	67,27	5,19
Desvio padrão		20,09	7,94	8,20	2,27
Valor mínimo		13,00	5,91	6,05	5,36
Valor máximo		140,52	46,23	41,24	19,99
Amplitude		127,52	40,32	35,19	14,63

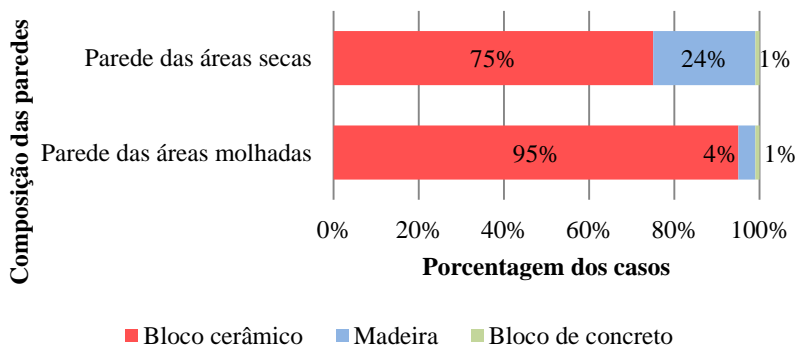
4.1.4. Levantamento dos dados dos materiais que compõem as edificações

Neste bloco, 106 das 120 habitações iniciais foram consideradas válidas.

A composição dos sistemas construtivos encontrados em campo foi bastante heterogênea, inclusive em uma mesma habitação, dificultando a formalização dos resultados. Em função disso, optou-se por simplificar as informações e adotar para cada caso uma generalização das composições existentes. Por exemplo, em uma edificação onde houvesse sistemas construtivos diferentes para as paredes de diferentes ambientes (por exemplo, apenas um dos dormitórios com parede de madeira e os demais ambientes em alvenaria), adotou-se como composição o sistema construtivo predominante, desprezando-se aquele que se apresenta em menor quantidade. O mesmo critério foi aplicado às variações existentes em cada sistema construtivo, como, por exemplo, a quantidade de furos dos tijolos de alvenaria. Em algumas casas foram utilizados tijolos de seis

furos, enquanto em outras, de oito furos, e ainda houve casos em que não foi possível identificar qual dos dois seria. Dessa forma, a composição das paredes foi classificada exclusivamente por seu elemento estrutural, separada então em divisórias de bloco cerâmico, de bloco de concreto ou madeira. A única distinção feita foi quanto à composição das paredes das áreas secas (ambientes sem instalação hidráulica) e das áreas molhadas (ambientes com instalação hidráulica). Este critério foi adotado porque muitas habitações que eram de madeira possuíam as divisórias das áreas molhadas em alvenaria ou bloco de concreto. A Figura 38 apresenta a composição das paredes encontradas no levantamento, para as áreas secas e áreas molhadas. Observa-se predominância de paredes com blocos cerâmicos (75% para áreas secas e 95% em áreas molhadas), com apenas 4% habitações com paredes de madeira nas áreas molhadas.

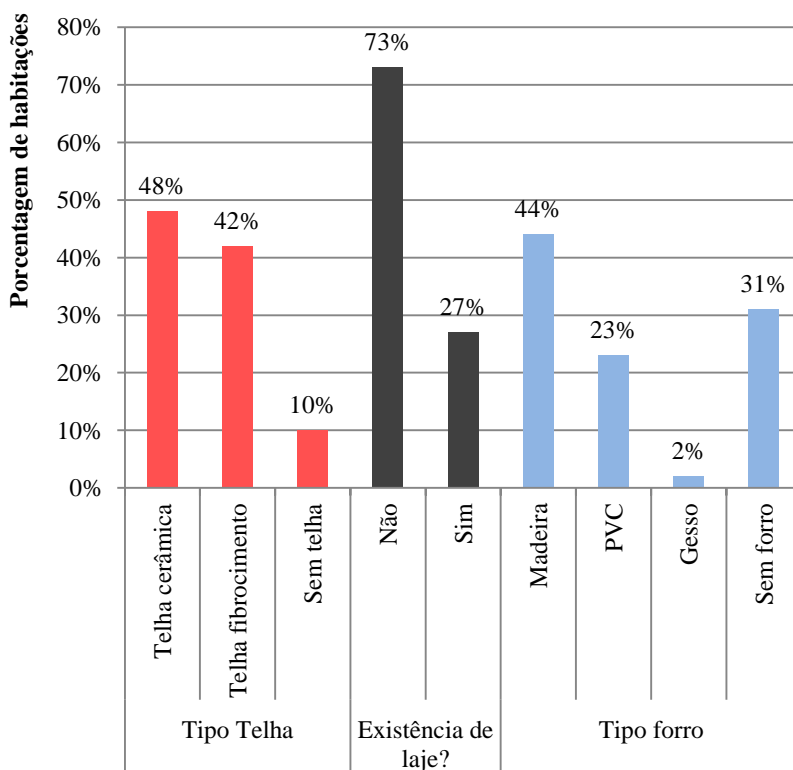
Figura 38: Composição das paredes



Quanto à composição da cobertura, esta também se apresentou bem heterogênea, sendo que por consequência a mesma solução utilizada para as paredes foi adotada aqui, generalizando-se os dados. Assim, a cobertura foi classificada como sendo composta por três partes: tipo de telha, existência de laje de concreto e forro. As telhas foram separadas por telha cerâmica, telha de fibrocimento e inexistência de telha (laje impermeabilizada). Não foi encontrado nenhum caso com telha metálica. Os tipos de forro foram separados em madeira, PVC, gesso ou inexistência de forro. Ao todo, foram encontradas nove combinações diferentes de composição das coberturas, cujas porcentagens individuais da presença de cada elemento estão

apresentadas na Figura 39. As telhas de cerâmica e fibrocimento foram as mais utilizadas, tendo uma distribuição de casos bem similar. Na maioria das edificações verificou-se a inexistência de laje de concreto (73% dos casos), ficando a cobertura composta apenas por telha, madeiramento e forro. Este, por fim, foi encontrado predominantemente de madeira (44% dos casos), sendo a quantidade de casos encontrados sem forro menor, mas também expressivo (31% dos casos).

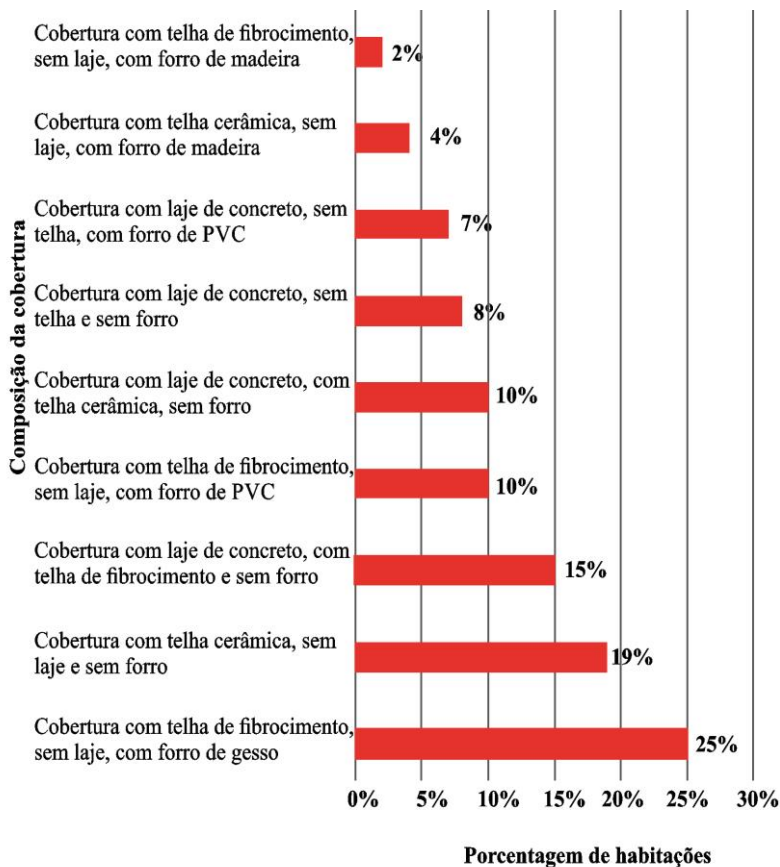
Figura 39: Composição da cobertura



Composição da cobertura

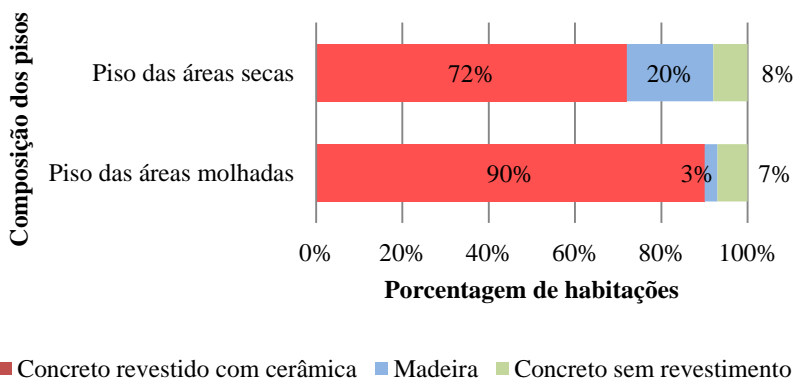
A Figura 40 mostra as porcentagens de ocorrência encontradas para cada composição. A composição mais frequente foi a com telha de fibrocimento, sem laje e com forro de madeira (25%), seguida pela cobertura com telha cerâmica, sem laje e com forro de madeira (19%).

Figura 40: Porcentagem de ocorrência das composições das coberturas da amostra.



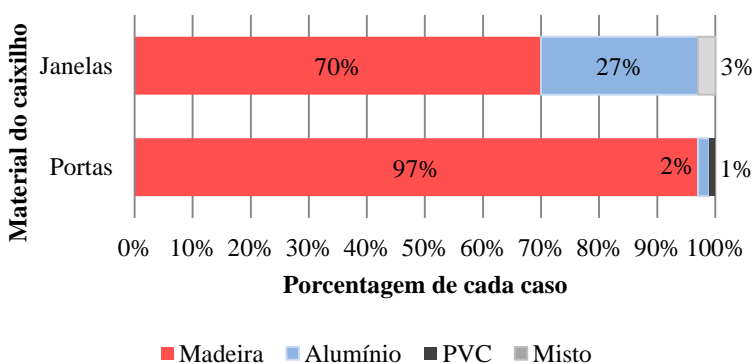
Os pisos também foram separados para áreas secas e áreas molhadas. Foram consideradas três composições: piso em concreto com revestimento cerâmico, piso em concreto sem revestimento cerâmico e piso de madeira. Em alguns casos foi encontrado piso de concreto com revestimento de madeira, mas este representava uma parte inexpressiva da habitação, sendo, portanto, desconsiderado nesta análise. A Figura 41 mostra a porcentagem de ocorrência de cada piso nas habitações. A composição predominante foi a de concreto revestido com cerâmica, representando 72% dos casos nas áreas secas e 90% dos casos nas áreas molhadas.

Figura 41: Composição dos pisos



O material dos caixilhos das esquadrias de cada habitação também foi levantado. Igualmente aos casos mencionados anteriormente, adotou-se como material dos caixilhos de cada edificação aqueles que apareceram com maior frequência, desprezando quando um material aparecia em apenas uma ou duas janelas. A Figura 42 mostra os materiais encontrados para as portas e janelas. Em ambos os casos, a madeira foi o material predominante (70% dos casos para janelas e 97% dos casos para as portas), sendo que para a janela o alumínio foi um material também muito comum, chegando a 27% dos casos.

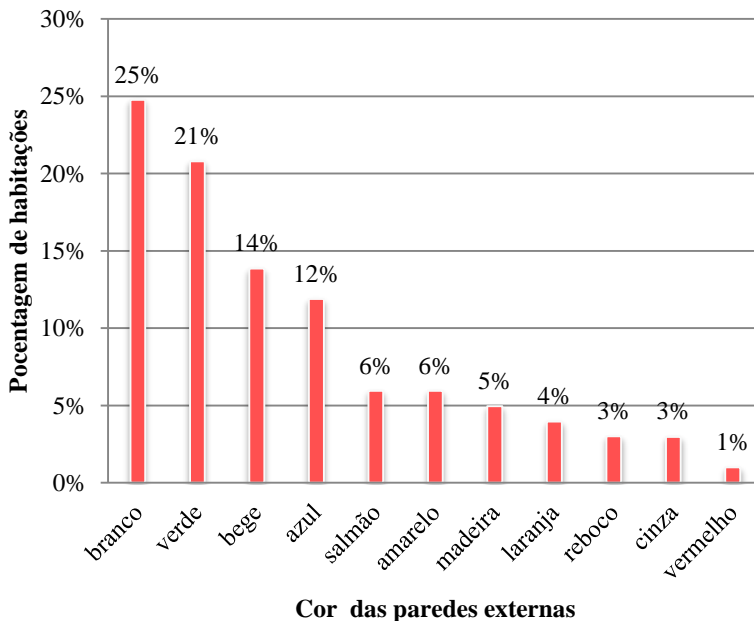
Figura 42: Materiais das esquadrias



A partir dos levantamentos, foram encontradas onze cores diferentes, com as absorvâncias variando de 7% (cor branca) até 87%

(reboco sem pintura). Os resultados mostraram uma predominância na utilização de cores mais claras na fachada, com absorvância entre 10% e 20% (21% dos casos), sendo que em 40% dos casos as absorvâncias ficaram abaixo de 30%. A Figura 43 apresenta a porcentagem de habitações para cada cor de parede externa.

Figura 43: Cores encontradas na pintura externa das paredes.



A Figura 44 apresenta os diferentes valores de absorvância para cada cor. Os tons de cinza, madeira natural e salmão foram os que apresentaram os menores desvios (menos de 25%). A cor cinza obteve absorvância média de 47%, variando 0%. As absorvâncias obtidas para madeira natural variaram de 51% a 71%, e para o salmão de 13% a 38%. Os tons azul e verde apresentaram os maiores desvios, chegando até 57% de diferença entre a menor medida e a maior para a cor verde e 60% para a cor azul. De fato, estas duas cores apresentam uma vasta diferença de tonalidades, influenciando os resultados de absorvância, como pode ser visto na Figura 45. Os tons de branco, embora inferior aos tons de verde e azul, também apresentaram grande variação: de 8% a 48%.

Figura 44: Valores de absorvância encontrados para cada cor.

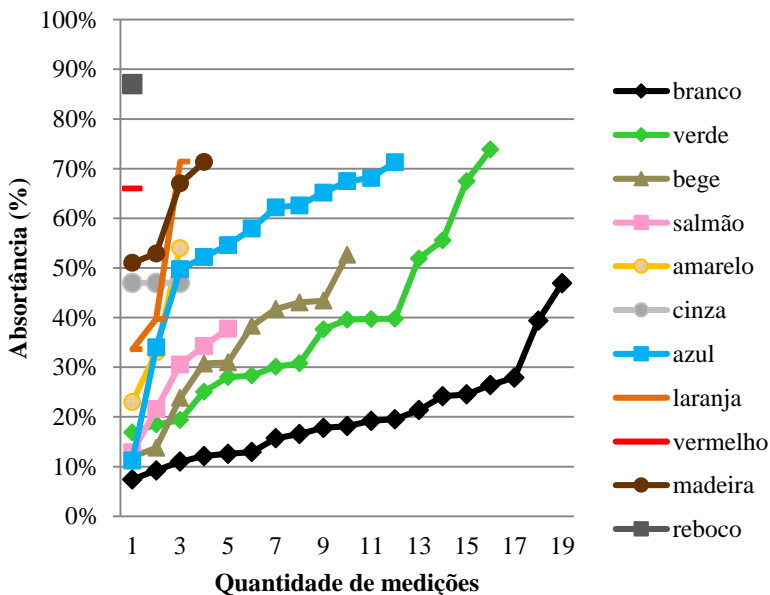
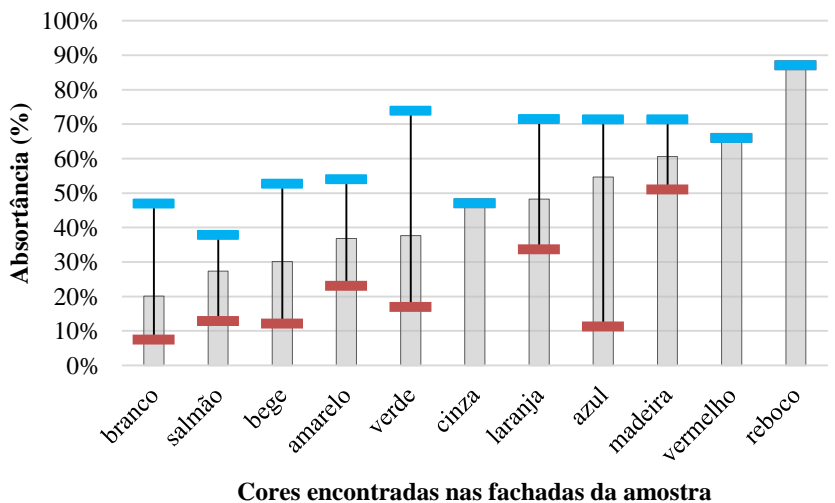


Figura 45: Variação nas tonalidades de azul encontrada na amostra.



A Figura 46 apresenta a absorvância média por cor, determinada pela média aritmética de todas as medidas de absorvância para cada cor, além do maior e do menor valor encontrado para cada cor. O branco, como esperado, teve a menor absorvância média (20%), enquanto as cores mais escuras, como o vermelho, a madeira natural e o reboco, as maiores (61%, 66% e 87%, respectivamente). Novamente é possível observar que as cores verde e azul apresentaram os maiores desvios em relação a média.

Figura 46: Absortância média de cada cor.



□ absorvância média — menor valor de absorvância — maior valor de absorvância

4.2. DETERMINAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA

A análise de agrupamento foi desenvolvida separadamente para os dois blocos de informação (forma e materiais). Os resultados são discutidos separadamente, nos itens a seguir.

4.2.1. Modelos de referência quanto à forma

A partir do banco de dados original com 120 casos, 17 foram excluídos por apresentar dados incompletos ou inconsistentes, resultando em uma nova base de dados composta por 103 habitações.

As características das habitações foram resumidas em 16 variáveis. Quanto à configuração dos espaços internos, foi considerada a existência ou não de sala e cozinha conjugadas e da existência ou não de ambientes de uso secundário como área de serviço, garagem e cômodo específico para realização de trabalho remunerado. Também foi considerada a quantidade de dormitórios e de banheiros. Em relação às dimensões, considerou-se a área total da edificação, a soma das áreas de convívio social (salas e cozinhas) e soma das áreas íntimas

(dormitórios). Estas reduções foram feitas de forma a criar um único valor de comparação para as habitações com sala e cozinha conjugadas ou não (no caso da área social) e, da mesma forma, um valor de comparação para as habitações com diferente quantidade de dormitórios. Entretanto, foi considerada também a área média dos dormitórios, para criar uma diferenciação entre uma habitação com dois dormitórios grandes e uma com três dormitórios pequenos, por exemplo. Ainda em relação às dimensões, foram consideradas as dimensões no plano horizontal da maior e da menor fachada e a proporção resultante da razão entre a menor fachada pela maior. As dimensões das aberturas foram resumidas em uma única variável, resultante da razão entre o somatório das áreas de janela pelo somatório das áreas de fachada. Por fim, considerou-se a orientação solar da edificação, identificada como a orientação da fachada frontal. As variáveis consideradas nesta análise estão apresentadas no Quadro 7 e serão chamadas de variáveis estatísticas. As habitações serão chamadas de objetos.

Quadro 7: Variáveis consideradas na análise de agrupamento referentes à forma da edificação.

Grupo de informações	Variável estatística	Tipo da variável
Configuração dos espaços internos	Sala e cozinha conjugadas	Qualitativa
	Há área de serviço?	Qualitativa
	Há garagem?	Qualitativa
	Há cômodo para trabalho remunerado?	Qualitativa
	Quantidade de dormitórios	Quantitativa
	Quantidade de banheiros	Quantitativa
	Quantidade de pavimentos	Quantitativa
Dimensões da edificação	Área total	Quantitativa
	Área social	Quantitativa
	Área íntima	Quantitativa
	Área média dos dormitórios	Quantitativa
	Dimensão maior fachada	Quantitativa
	Dimensão menor fachada	Quantitativa
	Proporção (razão entre a menor e a maior fachada)	Quantitativa
Aberturas	Área de janela/ área de fachada	Quantitativa
Relação com o entorno	Orientação da fachada frontal	Qualitativa

Na Tabela 4 são identificados os objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis. Os objetos envolvidos na análise estão listados na primeira coluna. O valor de D^2 , na segunda coluna, representa a distância teórica de cada objeto à média do grupo. Quanto mais distante da média, maior a chance de um objeto ser designado como atípico. Não há um valor de corte, mas um indicativo de que um objeto é atípico é quando o valor de D^2 aumenta substancialmente de um objeto para outro. Pode-se observar que o aumento dos valores de D^2 foi baixo entre os primeiros objetos, mas há um aumento substancial da Habitação 87 para a Habitação 45 (quase quatro unidades). Como não há um valor de corte, utilizou-se a probabilidade associada à medida D^2 de Mahalanobis (apresentada na quarta coluna) como critério. Foram considerados como atípicos todos os objetos cuja probabilidade associada ao D^2 foi menor que 0,001, somando ao todo seis habitações (destacadas em negrito).

Tabela 4: Identificação de potenciais objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis para a forma.

Identificação dos objetos	D^2 de Mahalanobis	Diferença do valor de D^2 em relação ao objeto anterior	Probabilidade de D^2
7	2,8	0,0	1,000
52	3,6	0,8	0,999
119	4,0	0,4	0,999
6	4,3	0,3	0,998
19	4,4	0,1	0,998
9	4,4	0,0	0,998
5	4,6	0,2	0,997
73	4,6	0,0	0,997
37	4,6	0,0	0,997
54	4,9	0,3	0,996
(valores intermediários omitidos)			
63	29,8	0,0	0,019
29	30,3	0,5	0,016

Tabela 4: Identificação de potenciais objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis para a forma (continuação).

Identificação dos objetos	D^2 de Mahalanobis	Diferença do valor de D^2 em relação ao objeto anterior	Probabilidade de D^2
72	32,0	1,7	0,010
87	33,5	1,5	0,006
45	37,3	3,8	<0,000
16	38,3	1,0	<0,000
82	47,9	9,6	<0,000
27	51,8	3,9	<0,000
92	57,1	5,3	<0,000
110	58,6	1,5	<0,000

Identificados os objetos atípicos, é preciso verificar qual é a combinação de valores que difere do padrão ao longo das variáveis analisadas, o que resulta na designação do objeto como atípico.

A Tabela 5 mostra os seis objetos designados como atípicos e as suas respectivas características. Ao comparar estes valores com os resultados encontrados na etapa de levantamento (item 4.1), vê-se que as Habitações 110, 16 e 45 diferem dos demais objetos da amostra por possuir maior quantidade de dormitórios (cinco, quatro e quatro, respectivamente), sendo que a porcentagem de ocorrência de habitações com quatro ou cinco dormitórios representa apenas 8% da amostra (um valor muito baixo). Quanto a quantidade de pavimentos, a Habitação 82 é a única da amostra que possui três pavimentos (ocorre em menos de 1% dos casos da amostra). A Habitação 92 apresenta 17% de área de janela por área de fachada, enquanto a média da amostra é de 6% e o desvio padrão de 1,93%. Alguns valores de área total, área social e área íntima estão muito acima da média (ver resultados apresentados na Tabela 3). As características dos objetos identificados como atípicos (acima ou abaixo de um desvio padrão em relação à média, ou com baixa porcentagem de ocorrência na amostra) estão destacados na Tabela 5. Estes objetos foram eliminados da amostra em análise.

A análise prosseguiu então com 97 objetos compondo a matriz de dados, que foi submetida inicialmente a técnicas hierárquicas.

Tabela 5: Características dos objetos identificados como atípicos para todas as variáveis envolvidas na análise.

Variáveis envolvidas na análise	Características dos objetos identificados como atípicos					
	Identificação dos objetos					
	110	92	27	82	16	45
Sala e cozinha conjugadas?	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Quantidade de dormitórios	5	2	1	3	4	4
Quantidade de banheiros	1	2	2	1	2	2
Área de serviço?	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Garagem?	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Cômodo de trabalho?	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Quantidade de pavimentos	2	1	1	3	2	1
Orientação da fachada frontal	Sul	Leste	Sul	Norte	Oeste	Norte
Dimensão da maior fachada (m)	7,00	11,20	9,84	6,65	12,03	13,33
Dimensão da menor fachada (m)	4,96	9,95	6,09	3,35	8,13	9,19
Proporção entre as dimensões da menor e maior fachada	0,68	0,89	0,62	0,50	0,68	0,69
Área de janela/ área de fachada	5,00	17,00	6,80	4,30	3,50	2,10
Área total (m ²)	56,00	111,87	70,36	76,74	140,52	94,28
Área social (m ²)	28,25	45,75	20,78	18,85	43,06	9,71
Área íntima (m ²)	22,41	25,26	20,00	38,15	37,81	41,24
Área média dos dormitórios (m ²)	5,60	12,63	19,99	12,72	9,45	10,31

O processo hierárquico começa considerando cada objeto como um agrupamento unitário. A cada nova etapa, dois agrupamentos distintos se unem para dar origem a um novo agrupamento. Este

processo se repete até que todos os objetos estejam dentro de um mesmo agrupamento. A Figura 47 e a Tabela 6 apresentam os resultados deste processo. A Figura 47 apresenta o dendograma, que é uma representação gráfica dos resultados em formação de árvore, gerada pelo programa SPSS. Os agrupamentos estão listados no eixo vertical, enquanto os níveis de similaridade encontrados a cada união, no eixo horizontal. Nas etapas iniciais (da esquerda para a direita) são unidos os agrupamentos unitários, ao passo que nas etapas finais os agrupamentos são formados por objetos já agrupados anteriormente. No dendograma é possível visualizar como cada um dos agrupamentos é formado ao longo das etapas (que agrupamentos se unem e quando). Uma inspeção visual permite propor a quantidade de agrupamentos ideal, correspondendo a etapa anterior em que o nível de similaridade referente à união de dois agrupamentos foi relativamente maior que nas etapas anteriores. No caso da Figura 47, verificou-se, com a união dos dois últimos agrupamentos, um grande aumento na medida de similaridade (aproximadamente 25), quase o dobro do valor da etapa anterior (aproximadamente 12).

A Tabela 6, chamada de programa de aglomeração, descreve cada etapa do processo. A primeira coluna indica a etapa em que dois agrupamentos distintos (apresentados nas colunas 2 e 3) se unem, formando um novo agrupamento. O coeficiente de aglomeração obtido a partir dessa união é apresentado na quarta coluna, representando o grau de heterogeneidade do novo agrupamento. As duas colunas seguintes mostram a primeira vez (primeira etapa) em que os agrupamentos apresentados nas colunas 2 e 3 surgiram no processo. A última coluna mostra em que etapa o novo agrupamento aparece novamente.

Desta forma, na etapa 1 os agrupamentos 71 e 72 se uniram para formar um único agrupamento para o qual, por convenção neste trabalho, adotou-se o mesmo nome do agrupamento 1 da etapa em questão. O coeficiente de aglomeração obtido a partir desta união foi 0,004 (na Tabela 6, arredondado para 0,0). É um valor relativamente baixo, o que significa que a heterogeneidade produzida foi pequena, ou seja, os dois agrupamentos possuíam características muito semelhantes. Nas colunas seguintes vê-se que nenhum dos dois agrupamentos iniciais (71 e 72) apareceu antes, concluindo-se então que são agrupamentos unitários (formados por apenas um objeto). Por fim, a última coluna mostra que o novo agrupamento 71 (formado pela união dos agrupamentos 71 e 72) só surge novamente no processo na etapa 7, onde se uniu ao agrupamento 73.

Figura 47: Dendograma do processo hierárquico da forma.

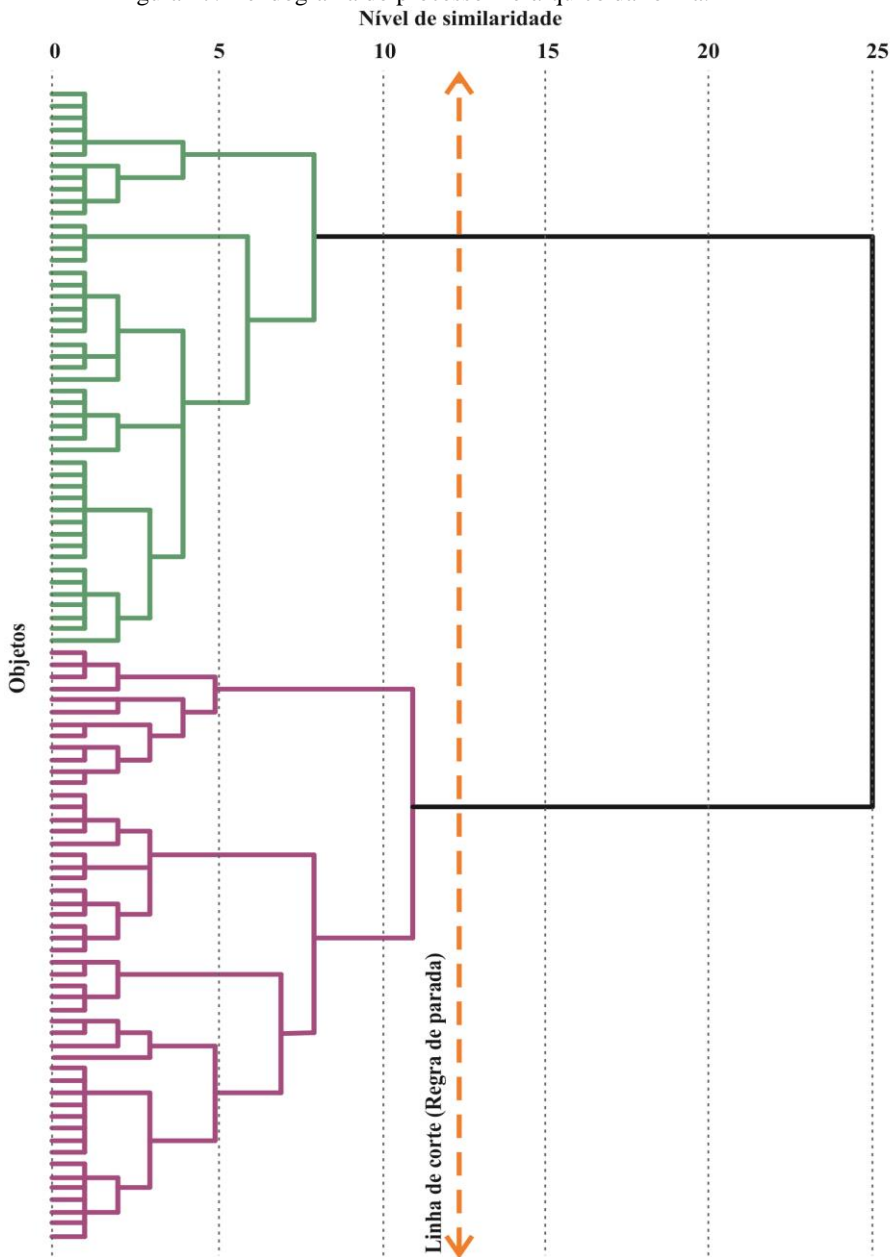


Tabela 6: Programa de aglomeração do processo hierárquico da forma.

Etapa	Agrupamentos combinados		Coeficiente de Aglomeração	Etapa em que o agrupamento apareceu pela primeira vez		Próximo estágio em que o novo agrupamento aparece
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		Agrupamento 1	Agrupamento 2	
1	71	72	0,0	0	0	7
2	6	9	0,0	0	0	3
3	5	6	0,1	0	2	18
4	21	50	0,5	0	0	15
5	70	82	0,9	0	0	64
6	4	62	1,4	0	0	37
7	71	73	1,9	1	0	38
8	32	96	2,5	0	0	17
(etapas intermediárias omitidas)						
89	10	14	695,0	73	85	95
90	1	38	739,8	83	82	92
91	2	70	787,6	88	64	93
92	1	12	844,6	90	69	94
93	2	41	910,5	91	86	96
94	1	13	982,5	92	84	95
95	1	10	1077,9	94	89	96
96	1	2	1306,6	95	93	0

Observa-se também, nesta mesma Tabela 6, que quase todos os agrupamentos que se uniram nas oito primeiras etapas eram agrupamentos unitários (verificar valor zero na quinta e sexta coluna), enquanto nos oito últimos todos os agrupamentos já apareceram em outras etapas. Não ter nenhum agrupamento unitário nas últimas etapas é um bom indicativo de que de fato não há mais objetos atípicos na amostra, pois, caso existissem, se uniriam a outros agrupamentos apenas nas etapas finais.

Outro ponto a ser observado é o grau de heterogeneidade obtido a cada nova união, representado pelo coeficiente de aglomeração. Como já esperado, o valor do coeficiente aumenta gradativamente a cada etapa, mostrando que as características dos objetos unidos em um mesmo agrupamento são cada vez mais divergente. Nas últimas duas etapas, o coeficiente de aglomeração apresentou um aumento substancial de uma etapa para outra; portanto, se concluiu que aquela união provocou um aumento maior na heterogeneidade do agrupamento do que nas demais etapas. Este é um indicativo de que esses dois agrupamentos não deveriam ser unidos

Embora o exame do coeficiente de aglomeração e do dendograma possam oferecer uma indicação da melhor etapa para aplicar a regra de parada (etapa onde é feito o corte para determinação da quantidade de agrupamentos), o aumento da heterogeneidade é melhor quantificado pelo cálculo das variações percentuais de heterogeneidade. Este valor é obtido a partir da razão entre a diferença dos coeficientes de aglomeração da etapa atual e da anterior pelo coeficiente de aglomeração da etapa anterior. Um aumento substancial no percentual de heterogeneidade indica o melhor ponto para fazer o corte. A quantidade ideal de agrupamentos é aquela da etapa anterior ao maior aumento percentual obtido. A Tabela 7 apresenta o aumento percentual de heterogeneidade obtido em cada uma das últimas oito etapas do processo hierárquico. Na primeira coluna, são apresentadas as últimas etapas do processo hierárquico e, na coluna ao lado, a quantidade de agrupamentos existentes em cada etapa. Na terceira coluna, estão novamente disponibilizados os coeficientes de aglomeração (obtidos a partir da Tabela 6). Por fim, na última coluna, estão os percentuais do aumento desse coeficiente em relação à etapa anterior. Assim, na etapa 90, observa-se um aumento de 6,4% do coeficiente de aglomeração em relação à etapa 89. Conforme esperado (baseando-se no que foi visto no dendograma e no programa de aglomeração), o maior aumento percentual de heterogeneidade acontece no último estágio (21,2%), ao

juntar os dois agrupamentos finais. Desta forma, considera-se que a solução de dois agrupamentos (quantidade de agrupamentos da etapa anterior ao aumento de 21,2%) é a melhor para a amostra em análise.

Tabela 7: Variação dos percentuais de heterogeneidade a cada etapa do processo hierárquico referente à forma.

Etapa	Regra de Parada		
	Quantidade de agrupamentos formados em cada etapa	Coefficiente de aglomeração	Aumento percentual do coeficiente de aglomeração em relação a etapa anterior (%)
(etapas anteriores omitidas)			
89	8	695,0	5,9
90	7	739,8	6,4
91	6	787,6	6,4
92	5	844,6	7,2
93	4	910,5	7,7
94	3	982,5	7,9
95	2	1077,9	9,7
96	1	1306,6	21,2

A Tabela 8 apresenta um intervalo de soluções preliminares considerando de dois a oito agrupamentos (quantidade final de agrupamentos formados). A primeira coluna identifica os oito agrupamentos e a primeira linha, as últimas oito etapas do processo hierárquico. Os valores nas células correspondentes a intersecção das etapas e agrupamentos representam a quantidade de objetos que cada agrupamento possuía naquela etapa. Os valores destacados em cinza referem-se aos agrupamentos que são unidos naquela etapa, enquanto os valores em negrito representam o novo agrupamento formado. Por exemplo, na etapa 89, há ao todo oito agrupamentos. O agrupamento 8 possui quatro objetos e o agrupamento 1, quize objetos. Estes dois agrupamentos foram unidos na etapa 90 para formar um agrupamento de 19 objetos, e assim por diante. Verifica-se que na etapa 91 ainda há um agrupamento com apenas cinco objetos, ou seja, pouco representativo da população (menos de 10% da amostra). Caso as etapas anteriores tivessem indicado uma solução de seis agrupamentos ou mais, estes

objetos deveriam ser eliminados e o processo de agrupamento deveria ser reespecificado. A partir da etapa 92 até a etapa 96, entretanto, os agrupamentos já são compostos por maior quantidade de objetos, descartando a opção de serem eliminados do estudo.

Tabela 8: Intervalo de soluções dos agrupamentos do processo hierárquico referente à forma.

8 agrupamentos finais	Soluções para cada etapa (quantidade de objetos em cada agrupamento)								
	Identificação	89	90	91	92	93	94	95	96
1	15	19	19	24	24	38	50	97	
2	32	32	36	36	47	47	47		
3	12	12	12	12	12	12	12		
4	14	14	14	14	14	14			
5	11	11	11	11					
6	5	5	5						
7	4	4							
8	4								

Como para a solução de dois agrupamentos, definida como melhor solução através da análise do percentual de variação da heterogeneidade (Tabela 7), não há agrupamentos formados por uma quantidade muito pequena de objetos, não houve necessidade de reespecificação da análise, partindo para a aplicação das técnicas não hierárquicas de agrupamento. No procedimento não hierárquico (k-médias), a convergência foi alcançada após a quinta interação (quando os objetos não mudam mais de agrupamento). Foram formados dois agrupamentos, um com 48 objetos (agrupamento 1) e outro com 49 objetos (agrupamento 2).

Para complementar a análise, são apresentados nas Tabelas 9 e 10 os resultados dos testes de hipótese para as variáveis envolvidas na análise. Como não foi possível confirmar a normalidade para a maioria das variáveis, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney para as variáveis quantitativas e o teste Qui-quadrado para as variáveis qualitativas. Das dezesseis variáveis consideradas, nove confirmaram a independência estatística entre os agrupamentos formados, a um nível de significância

de 0,05. Para as variáveis quantitativas, apenas a razão entre a área de janela pela área de fachada não rejeitou a hipótese de igualdade. Para as variáveis qualitativas, apenas as variáveis sala e cozinha conjugadas e quantidade de dormitórios rejeitaram a hipótese de igualdade, para um nível de significância de 0,05

Tabela 9: Comparação das médias das variáveis quantitativas dos agrupamentos referentes à forma, através do teste U de Mann-Whitney (nível de significância $p < 0,05$).

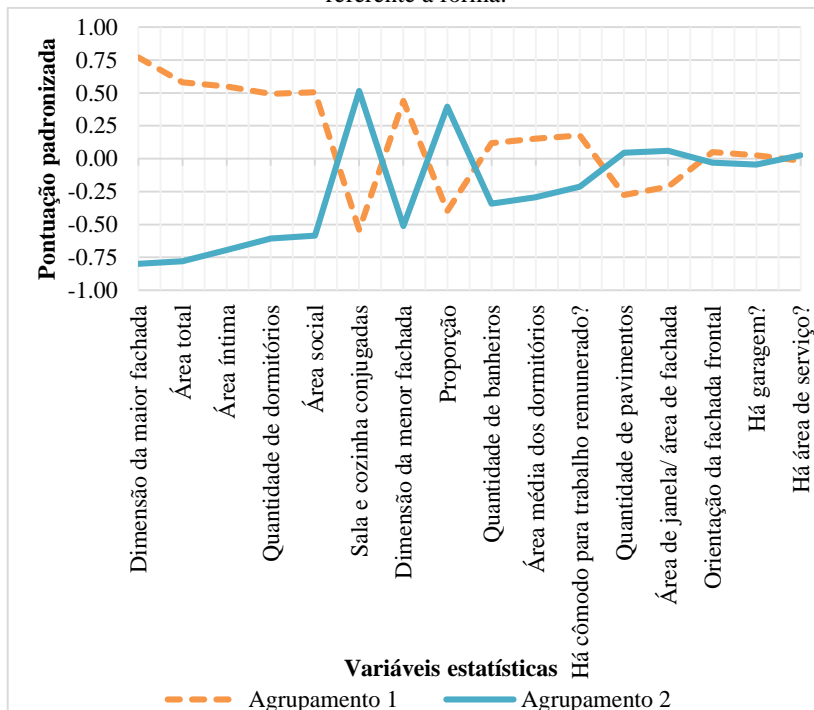
Variáveis (Z-score)	Pvalor
Área total	<0,00
Área social	<0,00
Área íntima	<0,00
Área média dos dormitórios	0,02
Dimensão da maior fachada	<0,00
Dimensão da menor fachada	<0,00
Proporção	<0,00
Área de janela/ área de fachada	0,07

Tabela 10: Comparação das médias das variáveis qualitativas dos agrupamentos referentes à forma, através do teste Qui-quadrado (nível de significância $p < 0,05$).

Variáveis (Z-score)	Pvalor
Sala e cozinha conjugadas	<0,00
Há área de serviço?	0,08
Há garagem?	0,72
Há cômodo para trabalho remunerado?	0,06
Quantidade de dormitórios	<0,00
Quantidade de banheiros	0,25
Quantidade de pavimentos	0,23
Orientação da fachada frontal	0,69

A Figura 48 apresenta o perfil de cada agrupamento, através do centroide de cada variável. Os valores são apresentados em pontuações padronizadas, e não absolutas, por terem assim sido utilizados durante toda a análise. Observa-se que para cada variável os centroides dos diferentes agrupamentos apresentam magnitudes aproximadas, mas sinal oposto. Gráficamente, observa-se que as linhas que representam cada agrupamento assumem um comportamento espelhado, com mesmo padrão, mas sentido oposto. Pode-se concluir, a partir desse comportamento, que os agrupamentos de fato se diferem, confirmando o que já foi visto com os resultados dos testes de hipótese. Fica evidente também que as variáveis com menor p_{valor} , como, por exemplo, a existência de sala e cozinha conjugadas e área total, estão mais distantes entre si (ou seja, se diferem), enquanto as variáveis que não rejeitaram a hipótese de igualdade, como, por exemplo, a existência de área de serviço, os centroides estão bem próximos.

Figura 48: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis envolvidas na análise referente à forma.



A definição do modelo de referência baseou-se no conceito de edifício real (*Real Reference Building*), proposto nas diretrizes do EPBD *recast* (2010), que o descreve como sendo a edificação cujas características mais se aproximam da média do grupo, em todas as variáveis. Neste estudo, os modelos de referência de cada agrupamento foram designados como sendo o objeto mais próximo ao centroide (média multivariada do agrupamento). A habitação 119 foi designada como modelo de referência do agrupamento 1, enquanto a habitação 52 foi designada como modelo de referência do agrupamento 2, a uma distância de 1,435 e 1,125 do centroide de cada agrupamento, respectivamente. Observando a Tabela 4 novamente, pode-se notar que estes dois objetos apresentaram de fato um bom índice de D^2 . É importante ressaltar que o modelo de referência baseado no edifício real não possui os valores de cada variável iguais às médias do grupo, podendo inclusive possuir alguma característica bem diferente da média do agrupamento. Neste caso, é preciso ponderar se mantém-se no modelo a característica da habitação real ou se deve ser adotada a média do agrupamento.

As Tabelas 11 e 12 apresentam as características descritivas de cada agrupamento, juntamente com as características do modelo de referência, para todas as variáveis utilizadas na análise (qualitativas e quantitativas, respectivamente). Observou-se que os valores encontrados para cada variável do modelo de referência encontram-se perto da média do seu agrupamento, a partir do que se conclui que os modelos se ajustaram bem aos agrupamentos. Para as variáveis qualitativas (Tabela 11), verificou-se que os modelos de referência possuem as características iguais a maior frequência de ocorrência de cada variável. Por exemplo, para a variável sala e cozinha conjugadas, 83% dos objetos do agrupamento 1 não possuem sala e cozinha conjugadas, assim como o seu modelo. O mesmo acontece para o agrupamento 2: 69% dos objetos possuem a sala e a cozinha conjugadas, assim como o seu modelo. No caso das variáveis quantitativas, para todas as variáveis os valores dos modelos estão dentro do intervalo de um desvio padrão a partir da média. Por exemplo, a média referente a área total do agrupamento 1 é $68,73\text{m}^2$ e seu desvio $10,86\text{m}^2$, determinando um intervalo de $57,87\text{m}^2$ a $79,59\text{m}^2$. A área total do modelo de referência deste agrupamento (que é a habitação 119, já mencionado) é de $76,00\text{m}^2$ e se enquadra dentro deste intervalo. Verificou-se também que os dois modelos se diferem entre si nas características referentes às variáveis

que rejeitaram a hipótese de igualdade de médias, sendo praticamente iguais nas demais.

Tabela 11: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise da forma.

A sala e a cozinha são conjugadas? (%)	Agrupamento	
	1	2
Não	83	31
Sim	17	69
Modelo de referência	Não	Sim

Há área de serviço? (%)	Agrupamento	
	1	2
Não	81	80
Sim	19	20
Modelo de referência	Não	Não

Há garagem? (%)	Agrupamento	
	1	2
Não	88	90
Sim	12	10
Modelo de referência	Não	Não

Há ambiente próprio para trabalho? (%)	Agrupamento	
	1	2
Não	88	98
Sim	12	2
Modelo de referência	Não	Não

Quantidade de dormitórios (%)	Agrupamento	
	1	2
1	4	31
2	32	63
3	54	6
4	10	0
Modelo de referência	3	2

Tabela 11: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise da forma (continuação).

Quantidade de banheiros (%)	Agrupamento	
	1	2
0	0	2
1	88	98
2	12	0
Modelo de referência	1	1

Quantidade de pavimentos (%)	Agrupamento	
	1	2
1	100	90
2	0	10
Modelo de referência	1	1

Orientação da fachada frontal (%)	Agrupamento	
	1	2
Norte	27	24
Sul	19	27
Leste	24	27
Oeste	30	22
Modelo de referência	Leste	Leste

Tabela 12: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis quantitativas envolvidas na análise da forma.

Dimensão da maior fachada (m)	Agrupamento	
	1	2
Média	10,96	7,31
Desvio padrão	1,46	1,35
Modelo de referência	11,00	7,35

Tabela 12: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis quantitativas envolvidas na análise da forma (continuação).

Dimensão da menor fachada (m)	Agrupamento	
	1	2
Média	6,64	5,37
Desvio padrão	1,14	0,96
Modelo de referência	7,03	5,50

Proporção entre menor e maior fachada	Agrupamento	
	1	2
Média	0,62	0,75
Desvio padrão	0,15	0,15
Modelo de referência	0,65	0,75

Área de janela/ área de fachada (%)	Agrupamento	
	1	2
Média	3,67	4,20
Desvio padrão	1,61	1,22
Modelo de referência	3,00	4,40

Área total (m ²)	Agrupamento	
	1	2
Média	68,73	41,43
Desvio padrão	10,86	10,44
Modelo de referência	76,00	37,09

Área social (m ²)	Agrupamento	
	1	2
Média	25,78	17,22
Desvio padrão	6,83	5,09
Modelo de referência	30,72	16,50

Tabela 12 Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis quantitativas envolvidas na análise da forma (continuação).

Área íntima (m ²)	Agrupamento	
	1	2
Média	24,79	14,59
Desvio padrão	6,51	5,02
Modelo de referência	26,90	17,05

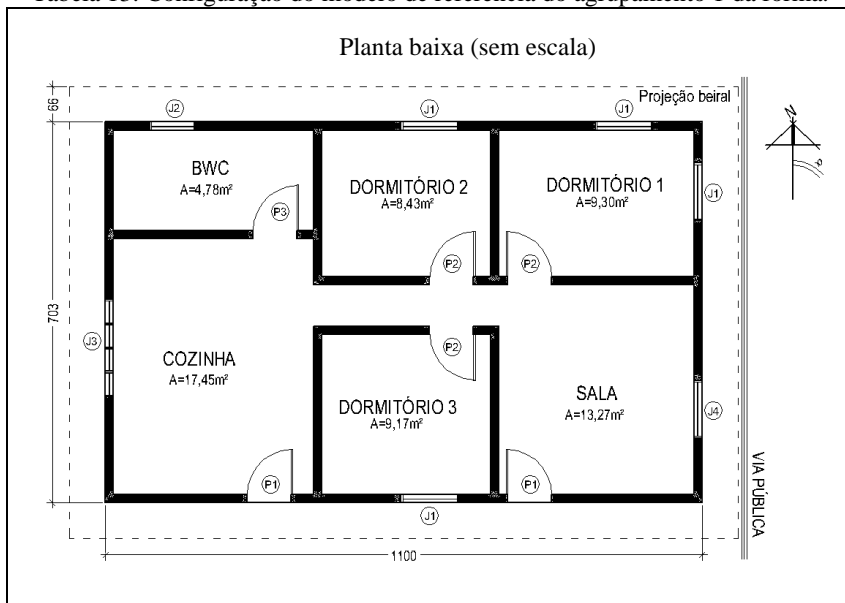
Área média dos dormitórios (m ²)	Agrupamento	
	1	2
Média	9,47	8,46
Desvio padrão	2,00	1,81
Modelo de referência	8,97	8,53

As Tabelas 13 e 14 apresentam a configuração gráfica dos modelos de referência dos agrupamentos 1 e 2, respectivamente. O modelo de referência do agrupamento 1 é uma habitação maior (área e dimensões), com sala e cozinhas independentes e três dormitórios, enquanto o modelo de referência do agrupamento 2 é uma habitação menor, com sala e cozinha integrada e dois dormitórios. Os dois modelos possuem apenas um banheiro, e não possuem nem área de serviço, nem garagem, tão pouco ambiente próprio para trabalho.

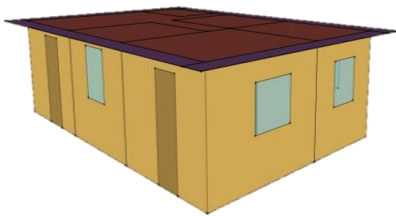
Observa-se que o modelo do agrupamento 1 possui duas janelas no banheiro, o que é bem incomum. Como mencionado anteriormente, por se tratar de um modelo real, é possível que alguma característica do modelo difira da média do grupo, podendo ser esta descartada e adotada então a média do grupo. Assim, neste caso, adotou-se para o modelo de referência do agrupamento 1 apenas uma janela, mas com mesma área de janela que a do modelo.

De forma geral, os dois modelos mostraram-se bastante satisfatórios, diferindo em critérios importantes para a simulação, como as dimensões da envoltória e os ambientes de longa permanência. Por outro lado, para características igualmente importantes, como a dimensão das janelas, foi similar. Isso aconteceu porque não há de fato grande diferenciação na amostra quanto a esta variável. Conclui-se, baseando-se nos conceitos de análise de agrupamentos, que a formação dos agrupamentos foi adequada.

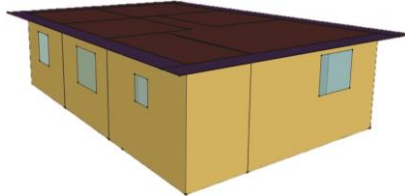
Tabela 13: Configuração do modelo de referência do agrupamento 1 da forma.



Modelo configurado para simulação (fachadas sul e leste)



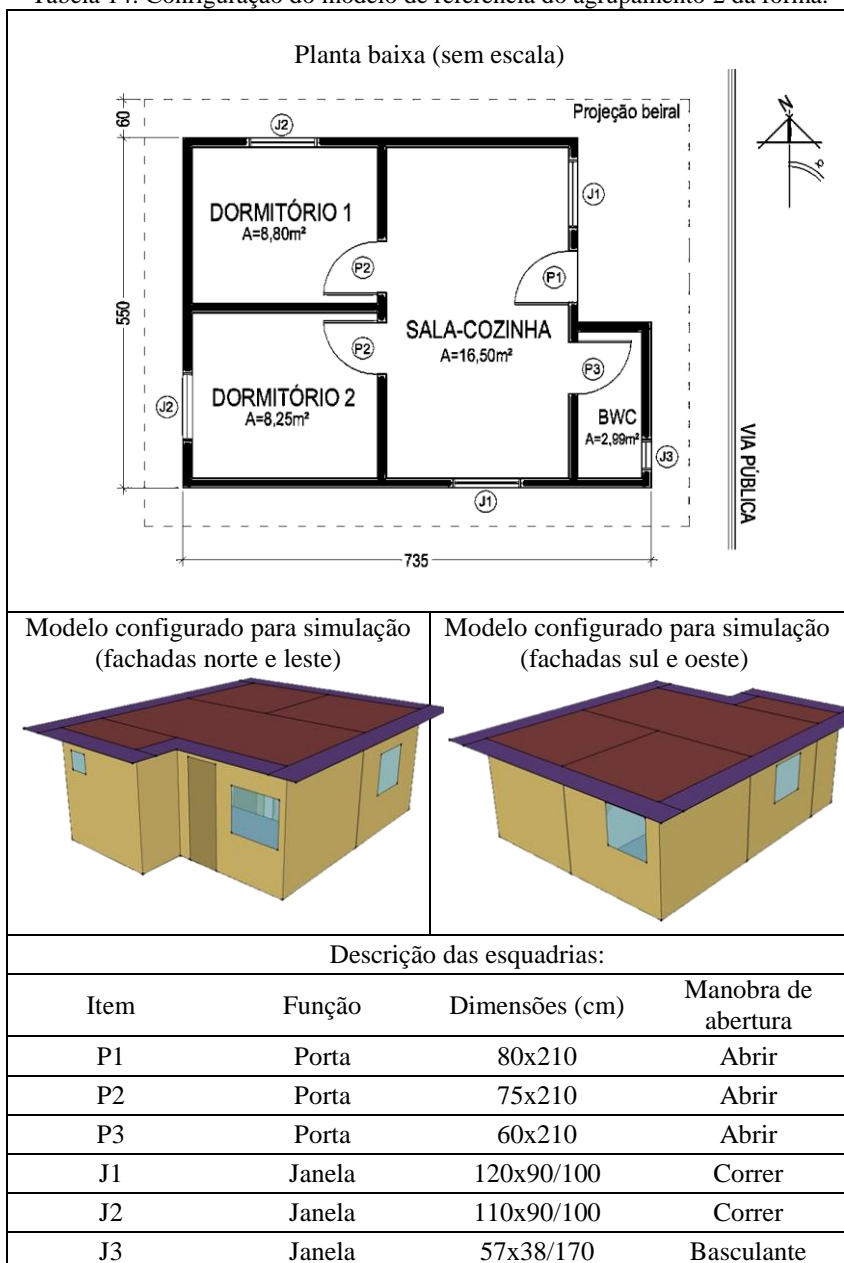
Modelo configurado para simulação (fachadas norte e oeste)



Descrição das esquadrias:

Item	Função	Dimensões (cm)	Manobra de abertura
P1	Porta	79x207	Abrir
P2	Porta	80x207	Abrir
P3	Porta	56x207	Abrir
J1	Janela	92x98/105	Correr
J2	Janela	44x56/159	Basculante
J3	Janela	120x74/130	Basculante
J4	Janela	122x99/105	Correr

Tabela 14: Configuração do modelo de referência do agrupamento 2 da forma.



4.2.2. Modelos de referência quanto aos materiais

No bloco dos materiais, quatorze habitações foram excluídas do banco de dados original por apresentarem dados incompletos ou inconsistentes, dando origem a um novo banco de dados com apenas 106 habitações.

Como explicado no item de levantamentos (4.1.4), as composições dos sistemas construtivos encontradas em campo mostraram-se muito heterogêneas, havendo a necessidade de simplificá-las. Desta forma, resumiu-se as características das habitações para análise em dez variáveis, representando a composição das paredes, da cobertura, do piso e das esquadrias. A composição das paredes foi separada em duas variáveis, que descreviam a composição das paredes nas áreas secas (onde não há equipamentos hidráulicos, como sala e dormitórios) e composição das paredes nas áreas molhadas (onde há equipamentos hidráulicos instalados, tais como cozinha e banheiro). Foram considerados três tipos diferentes de parede, baseados no elemento estrutural das divisórias: paredes de madeira, paredes de bloco cerâmico e paredes de bloco de concreto. A composição dos pisos também foi separada em duas variáveis, considerando também as áreas secas e áreas molhadas. As composições consideradas foram: piso em madeira, piso em concreto sem revestimento cerâmico ou piso em concreto com revestimento cerâmico. Foi considerado ainda, em relação ao piso, o contato ou não desta superfície com o solo. A composição das coberturas foi separada em três variáveis: tipo de telha (ausente, fibrocimento ou cerâmica), existência ou não de laje de concreto e forro (ausente, madeira, PVC ou gesso). Por fim, o material das esquadrias foi separado em duas variáveis: caixilho das portas (madeira, alumínio ou PVC) e caixilho das janelas (madeira, alumínio, PVC ou misto).

Algumas variáveis, embora importantes para análise de desempenho térmico, não foram consideradas aqui. Um exemplo é a espessura das paredes, que não foi considerada pois, além de muitos questionários não possuírem esta informação, mesmo os que a possuíam eram imprecisos devido a forma como foram levantados. Os acabamentos (reboco e revestimento cerâmico, por exemplo) das paredes também não foram considerados por não possuírem padrão nenhum nas casas, sendo muito complicada a sua inclusão na análise. A absorvância não foi considerada por ser uma característica facilmente alterada. O valor adotado destas variáveis nos modelos será a média dos valores das habitações.

O Quadro 8 apresenta as variáveis envolvidas na análise de agrupamentos para o bloco de materiais.

Quadro 8: Variáveis consideradas na análise de agrupamento referente aos materiais.

Grupo de informações	Variável estatística	Tipo da variável
Composição das paredes	Composição das paredes das áreas secas	Qualitativa
	Composição das paredes das áreas molhadas	Qualitativa
Composição do piso	Composição do piso das áreas secas	Qualitativa
	Composição do piso das áreas molhadas	Qualitativa
	Contato com o solo	Qualitativa
Composição da cobertura	Tipo da telha	Qualitativa
	Existência de laje de concreto	Qualitativa
	Material do forro	Qualitativa
Material das esquadrias	Material do caixilho das portas	Qualitativa
	Material do caixilho das janelas	Qualitativa

Os valores encontrados para a medida D^2 de Mahalanobis, juntamente com a probabilidade associada a esta medida, estão apresentados na Tabela 15. Foram designados como objetos atípicos aqueles cuja probabilidade associada ao D^2 foi menor que 0,001. No bloco dos materiais, nenhum objeto obteve este valor, não existindo portanto nenhum objeto considerado atípico. Todos os 106 objetos foram considerados na análise de agrupamento. É interessante observar que os primeiros objetos listados na Tabela 15 possuem a medida D^2 igual ou muito similar, indicando que as composições dos sistemas construtivos destas habitações são iguais ou muito similares.

Como nenhum objeto foi excluído, a análise hierárquica foi realizada com uma matriz de dados composta por 106 objetos e dez variáveis. Os resultados são apresentados na Figura 49 e na Tabela 16.

Tabela 15: Identificação de potenciais objetos atípicos com a medida D^2 de Mahalanobis do bloco dos materiais .

Identificação do objeto	D^2 de Mahalanobis	Diferença do valor de D^2 em relação ao objeto anterior	Probabilidade de D^2
16	3,6	0,0	0,960
28	3,6	0,0	0,960
19	3,6	0,0	0,960
40	3,6	0,0	0,960
82	3,6	0,0	0,960
85	3,6	0,0	0,960
90	3,6	0,0	0,960
92	3,6	0,0	0,960
39	3,9	0,3	0,950
30	3,9	0,0	0,950
(valores intermediários omitidos)			
10	22,1	1,1	0,010
81	24,9	2,8	0,010
61	26,6	1,7	0,010
6	28,3	1,9	0,006
84	31,0	2,7	0,006
109	32,1	1,1	0,003
76	32,2	0,1	0,003
8	34,8	2,6	0,003
3	36,7	1,9	0,002
31	37,9	1,2	0,002

Com o exame do dendograma (Figura 49), foi possível propor a quantidade de soluções ideal (quantidade de agrupamentos a serem formados) para esta amostra. Um dos critérios utilizados para definir a quantidade de agrupamentos é verificar em que ponto o nível de similaridade, após a união de dois agrupamentos, sofre um aumento maior que nas etapas anteriores. Na Figura 49, foi possível verificar esse aumento substancial em dois momentos: na união dos dois agrupamentos finais (nível de similaridade de aproximadamente 25), indicando uma solução de dois agrupamentos, e na união anterior (nível de similaridade de aproximadamente 15), indicando uma solução com três agrupamentos.

A Tabela 16 apresenta o programa de aglomeração referente ao processo hierárquico do bloco de materiais, obtido a partir das simulações com o programa SPSS. Da mesma forma como foi visto no bloco da forma, os agrupamentos que se unem nas primeiras etapas são agrupamentos unitários (etapa em que o agrupamento aparece a primeira vez é zero), enquanto os últimos são agrupamentos que já apareceram em outras etapas, confirmando a inexistência de objetos atípicos na matriz de dados.

Quanto ao grau de heterogeneidade obtido, foi observado que as duas últimas uniões (etapas 104 e 105) resultaram em um aumento substancial do coeficiente de aglomeração em relação às etapas anteriores. Assim, para o bloco de materiais também há duas possíveis soluções: uma com formação de dois agrupamentos e outra com formação de três agrupamentos.

Para confirmar a proposta de solução indicada pelo dendograma e pelo programa de aglomeração, apresenta-se na Tabela 17 a variação dos percentuais de heterogeneidade obtidos a cada nova união. Como já foi mencionado, um aumento substancial no percentual de heterogeneidade indica o melhor ponto para fazer o corte (interromper o processo de agrupamento). No caso do bloco dos materiais, verifica-se que existem duas soluções adequadas. A primeira seria fazer o corte na etapa 103, propondo uma solução com três agrupamentos, devido ao aumento percentual de 20,2% do coeficiente de aglomeração em relação à união anterior. A segunda solução seria fazer o corte na etapa 104, propondo uma solução com apenas dois agrupamentos, com aumento percentual do coeficiente de aglomeração de 24,2%. Esse resultado confirma as indicações previstas no dendograma e no programa de aglomeração, concluindo então que são adequadas.

Figura 49: Dendograma do processo hierárquico dos materiais.

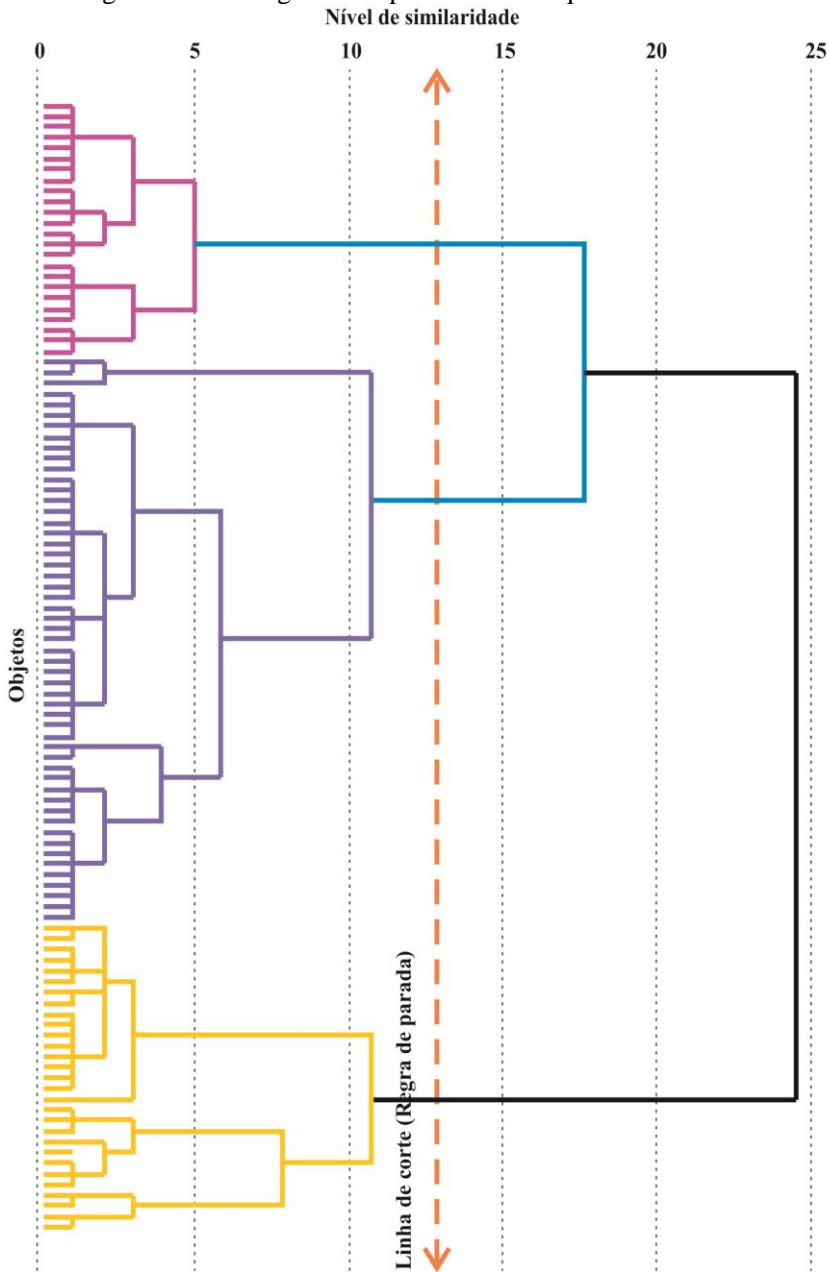


Tabela 16: Programa de aglomeração do processo hierárquico dos materiais.

Etapa	Agrupamentos combinados		Coeficiente de Aglomeração	Etapa em que o agrupamento apareceu pela primeira vez		Próximo estágio em que o novo agrupamento aparece
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		Agrupamento 1	Agrupamento 2	
1	91	100	0,0	0	0	6
2	98	99	0,0	0	0	3
3	76	98	0,0	0	2	61
4	69	93	0,0	0	0	44
5	67	92	0,0	0	0	81
6	45	91	0,0	0	1	78
7	11	90	0,0	0	0	49
8	87	89	0,0	0	0	9
(etapas intermediárias omitidas)						
98	2	10	424,6	86	79	100
99	1	14	466,9	92	93	104
100	2	5	517,0	98	97	103
101	3	6	587,9	94	96	102
102	3	7	679,3	101	95	105
103	2	32	772,9	100	89	104
104	1	2	929,2	99	103	105
105	1	3	1155,0	104	102	0

Tabela 17: Variação dos percentuais de heterogeneidade a cada etapa do processo hierárquico referente aos materiais.

Etapa	Regra de Parada		
	Quantidade de agrupamentos formados em cada etapa	Coefficiente de aglomeração	Aumento percentual do coeficiente de aglomeração em relação a etapa anterior (%)
(etapas anteriores omitidas)			
98	8	424,6	8,6
99	7	466,9	9,9
100	6	517,0	10,7
101	5	587,9	13,7
102	4	679,3	15,5
103	3	772,9	13,7
104	2	929,2	20,2
105	1	1155,0	24,2

A Tabela 18 apresenta um intervalo de oito soluções de agrupamentos, referente às últimas etapas, informando para cada solução a quantidade de objetos em cada agrupamento.

Tabela 18: Intervalo de soluções dos agrupamentos do processo hierárquico referente aos materiais.

8 agrupamentos finais	Soluções para cada etapa							
	(quantidade de objetos em cada agrupamento)							
Identificação	98	99	100	101	102	103	104	105
1	8	8	8	12	29	29	29	106
2	15	24	24	24	24	24	77	
3	17	17	50	50	50	53		
4	3	3	3	3	3			
5	17	17	17	17				
6	4	4	4					
7	33	33						
8	9							

A Tabela 18 é utilizada para verificar se não há agrupamentos muito pequenos que se unem a outros agrupamentos apenas nas últimas etapas, podendo representar um grupo de habitações pouco representativas. Entretanto, o menor agrupamento é visto na etapa 102, com três objetos. Como as soluções propostas neste estudo são de dois e três agrupamentos, formados nas etapas 103 e 104, não há necessidade de excluir nenhum objeto, prosseguindo para a análise não hierárquica com o mesmo banco de dados utilizado na análise hierárquica.

Como no procedimento hierárquico obteve-se duas soluções quanto à quantidade dos agrupamentos, o procedimento não hierárquico (k-médias) foi realizado para as duas alternativas. A opção por uma ou outra baseou-se em dois critérios: significância estatística e significância prática. Quanto à significância estatística, foi feita uma comparação entre os valores de significância obtidos com a análise ANOVA Kruskal Wallis para cada variável envolvida. A melhor solução para esta comparação foi identificada como aquela que possuía os melhores valores de significância, ou seja, mais próximos de zero. Quanto à significância prática, foi feita uma comparação entre os perfis de agrupamento e, baseando-se no conhecimento a respeito da aplicação prática dos modelos, optou-se por um caso ou outro.

Na solução de dois agrupamentos a convergência foi alcançada na terceira interação, formando um agrupamento com 76 objetos (agrupamento 1) e outro com 30 objetos (agrupamento 2). Na solução de três agrupamentos, a convergência foi alcançada na sexta interação, formando agrupamentos de 26, 50 e 30 objetos (agrupamentos 1, 2 e 3, respectivamente).

A Tabela 19 mostra os valores de significância obtidos com a análise ANOVA Kruskal Wallis para as duas soluções. Verificou-se que para os dois casos as variáveis composição das paredes das áreas secas, composição do piso das áreas secas e molhadas, contato da edificação com o solo e existência de laje de concreto foram significativas para a determinação dos agrupamentos. O tipo da telha e o material do forro foram significativos apenas para a solução de três agrupamentos, enquanto que o material do caixilho das janelas foi significativo apenas para a solução de dois agrupamentos. As variáveis composição das paredes das áreas molhadas e material do caixilho das portas não foram significativas para nenhum dos casos.

Quanto a comparação dos valores de significância para cada solução, fica evidente que a solução de três agrupamentos possui maior significância estatística que a solução de dois agrupamentos. Além de

ter mais variáveis significativamente impactantes na formação dos agrupamentos, as variáveis em que a solução de dois agrupamentos é mais significativa não são tão importantes quanto às da solução de três agrupamentos. Também, algumas variáveis, mesmo sendo significativas para os dois casos, o valor de significância é maior para a solução de três agrupamentos (existência de laje de concreto). Assim, conclui-se pela significância estatística desta comparação que a solução de três agrupamentos é mais adequada.

Tabela 19: Comparação entre as duas soluções baseada na significância estatística da formação dos agrupamentos (ANOVA Kruskal Wallis).

Variáveis estatísticas	Solução de 2	Solução de 3
	agrupamentos	agrupamentos
	($p_{\text{valor}} < 0,05$)	($p_{\text{valor}} < 0,05$)
Composição das paredes das áreas secas	<0,00	<0,00
Composição das paredes das áreas molhadas	0,25	0,48
Composição do piso das áreas secas	<0,00	<0,00
Composição do piso das áreas molhadas	<0,00	<0,00
Contato com o solo	<0,00	<0,00
Tipo da telha	0,25	0,00
Existência de laje de concreto	0,04	<0,00
Material do forro	0,48	<0,00
Material do caixilho das portas	0,30	0,22
Material do caixilho das janelas	0,02	0,07

Quanto à significância prática, foram analisados os perfis dos agrupamentos formados pelas duas soluções, cujos resultados estão apresentados nos Quadros 9 e 10. Para solução de dois agrupamentos, estes diferiram-se quanto a composição da parede seca, composição do piso das áreas molhadas, contato com o solo e tipo de telha. Assim, o agrupamento 1 seria descrito como sendo uma edificação com paredes com bloco cerâmico e piso em concreto revestido com cerâmica, tanto nas áreas secas quanto nas áreas molhadas, cobertura composta por telha cerâmica e forro de madeira, sem laje de concreto e caixilho das esquadrias em madeira. O agrupamento 2 seria uma casa com paredes e

piso de madeira nas áreas secas e paredes de bloco cerâmico e piso de concreto revestido com cerâmica nas áreas molhadas, não havendo contato do piso com o solo. A cobertura seria composta por telhas de fibrocimento e forro de madeira, sem laje de concreto. O caixilho das esquadrias também seria em madeira.

Quadro 9: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis da análise para solução de dois agrupamentos.

Variáveis	Agrupamento 1	Agrupamento 2
Composição das paredes das áreas secas	Bloco cerâmico	Madeira
Composição das paredes das áreas molhadas	Bloco cerâmico	Bloco cerâmico
Composição do piso das áreas secas	Piso de concreto revestido com cerâmica	Madeira
Composição do piso das áreas molhadas	Piso de concreto revestido com cerâmica	Piso de concreto revestido com cerâmica
Contato com o solo	Sim	Não
Tipo da telha	Cerâmica	Fibrocimento
Existência de laje de concreto	Não	Não
Material do forro	Madeira	Madeira
Material do caixilho das portas	Madeira	Madeira
Material do caixilho das janelas	Madeira	Madeira

Para solução de três agrupamentos, verificou-se que os agrupamentos 1 e 2 são mais próximos, enquanto o agrupamento 3, mais isolado. Quanto à composição das paredes, os agrupamentos 1 e 2 apresentaram parede com divisória em bloco cerâmico nas áreas secas e molhadas, enquanto o agrupamento 3 apresentou madeira nas áreas secas e bloco cerâmico nas áreas molhadas. O contato da edificação com o solo existiu nos agrupamentos 1 e 2, mas não no agrupamento 3. A composição da cobertura foi a única diferença entre os agrupamentos 1 e 2, sendo o primeiro composto por laje plana, sem telha e sem forro, enquanto o segundo, composto por telha cerâmica e forro de madeira, sem laje de concreto. No agrupamento 3, a cobertura seria composta por telhas de fibrocimento e forro de madeira, sem laje de concreto. O

material do caixilho das esquadrias é a madeira, igual para os três agrupamentos.

Verificou-se que o agrupamento 3 é muito similar ao agrupamento 2 da solução de dois agrupamentos, enquanto os agrupamentos 1 e 2 pareceram se unir na solução de 2 agrupamentos formando um único agrupamento. As diferenças observadas para estes dois agrupamentos (1 e 2) se deu apenas na cobertura, mas na prática entende-se que essa diferença pode ser expressiva (agrupamento 1: $U= 3,73$ [W/m²K], $CT= 220$ [kJ/m²K], agrupamento 2: $U= 2,02$ [W/m²K], $CT= 26$ [kJ/m²K]), concluindo-se que a solução com 3 agrupamentos é mais adequada que a de dois. Como a verificação quanto à significância estatística também apontou a solução de três agrupamentos como mais adequada, adota-se esta como o modelo neste trabalho.

Quadro 10: Perfil dos agrupamentos conforme as variáveis da análise para solução de três agrupamentos.

Variáveis	Agrupamento 1	Agrupamento 2	Agrupamento 3
Composição das paredes das áreas secas	Bloco cerâmico	Bloco cerâmico	Madeira
Composição das paredes das áreas molhadas	Bloco cerâmico	Bloco cerâmico	Bloco cerâmico
Composição do piso das áreas secas	Piso de concreto revestido com cerâmica	Piso de concreto revestido com cerâmica	Madeira
Composição do piso das áreas molhadas	Piso de concreto revestido com cerâmica	Piso de concreto revestido com cerâmica	Piso de concreto revestido com cerâmica
Contato com o solo	Sim	Sim	Não
Tipo da telha	Ausente	Cerâmica	Fibrocimento
Existência de laje de concreto	Sim	Não	Não
Material do forro	Ausente	Madeira	Madeira
Material do caixilho das portas	Madeira	Madeira	Madeira
Material do caixilho das janelas	Madeira	Madeira	Madeira

As análises prosseguiram com a realização dos testes de hipótese Qui-quadrado para todas as variáveis da análise (Tabela 20). Foram consideradas significativas diferenças entre os agrupamentos para as variáveis composição das paredes das áreas secas, composição dos pisos das áreas secas e áreas molhadas, contato da edificação com o solo, tipo de telha, existência de laje e material do forro. A composição das paredes nas áreas molhadas e o material dos caixilhos das portas e janelas não foram considerados impactantes, devido ao seu valor de significância ser maior que 0,05.

Tabela 20: Teste Qui-quadrado para igualdade entre as variáveis qualitativas dos agrupamentos referente ao bloco de materiais ($p_{\text{valor}} < 0,05$).

Variáveis estatísticas	Pvalor
Composição das paredes das áreas secas	<0,00
Composição das paredes das áreas molhadas	1,00
Composição do piso das áreas secas	<0,00
Composição do piso das áreas molhadas	<0,00
Contato com o solo	<0,00
Tipo da telha	<0,00
Existência de laje de concreto	<0,00
Material do forro	<0,00
Material do caixilho das portas	0,19
Material do caixilho das janelas	0,23

As habitações 48, 19 e 21 foram selecionadas como os modelos de referência dos agrupamentos 1, 2 e 3, respectivamente, devido à sua maior proximidade ao centroide (0,620 0,908 e 1,125, respectivamente). As características finais de cada agrupamento, juntamente com as de seu modelo de referência, estão apresentadas na Tabela 21. Para todas as variáveis de todos os agrupamentos, foi verificado que as características encontradas no modelo de referência correspondem àquela de maior frequência de ocorrência no agrupamento. Por exemplo, no caso da composição das paredes nas áreas secas, 96% das habitações do agrupamento 1 possuíam divisórias com bloco cerâmico, assim como o seu modelo de referência (habitação 48). A única exceção encontrada foi para o tipo de telha do agrupamento 1, visto que em 42% das

habitações não havia telha, mas no modelo de referência há telha cerâmica. A diferença entre características do modelo em relação ao agrupamento é possível, embora não esperada, pois trata-se de um modelo baseado em uma habitação real cujo conjunto de características está mais próximo ao centroide, mas não é o centroide. Como a característica do modelo é pouco representativa daquele agrupamento (apenas 19% das habitações), foi adotado no modelo do agrupamento 1, para esta variável (tipo de telha), a característica com maior frequência de ocorrência, que é a ausência de telha. As demais características permaneceram inalteradas.

Tabela 21: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise referente aos materiais.

Composição das paredes das áreas secas (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Divisória de madeira (1)	4	4	85
Divisória com blocos cerâmicos (2)	96	96	12
Divisória com blocos de concreto (3)	0	0	4
Modelo de referência	(2)	(2)	(1)

Composição das paredes das áreas molhadas (%)	Agrupamento		
	1	2	2
Divisória de madeira (1)	0	2	12
Divisória com blocos cerâmicos (2)	100	98	85
Divisória com blocos de concreto (3)	0	0	4
Modelo de referência	(2)	(2)	(2)

Composição do piso das áreas secas (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Madeira (1)	0	2	77
Concreto sem revestimento (2)	0	6	23
Concreto revestido com madeira (3)	0	0	0
Concreto revestido com cerâmica (4)	100	93	0
Modelo de referência	(4)	(4)	(1)

Tabela 21: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise (continuação).

Contato da edificação com o solo (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Não há contato (1)	31	20	73
Há contato (2)	69	80	27
Modelo de referência	(2)	(2)	(1)

Composição do piso das áreas molhadas (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Madeira (1)	0	0	12
Concreto sem revestimento (2)	0	0	27
Concreto revestido com madeira (3)	0	0	0
Concreto revestido com cerâmica (4)	100	100	62
Modelo de referência	(4)	(4)	(4)

Tipo de telha (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Ausente (1)	42	0	0
Fibrocimento (2)	19	48	62
Cerâmica (3)	38	52	38
Modelo de referência	(2)	(3)	(2)

Existência de laje de concreto (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Não há laje (1)	4	100	85
Há laje (2)	96	0	15
Modelo de referência	(2)	(2)	(1)

Tabela 21: Perfil dos agrupamentos ao longo das variáveis qualitativas envolvidas na análise (continuação).

Material do forro (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Ausente (1)	100	0	27
Madeira (2)	0	56	65
PVC (3)	0	41	8
Gesso (4)	0	4	0
Modelo de referência	(1)	(2)	(2)

Material do caixilho das portas (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Madeira (1)	100	94	100
Alumínio (2)	0	4	0
PVC (3)	0	2	0
Misto (4)	0	0	0
Modelo de referência	(1)	(1)	(1)

Material do caixilho das janelas (%)	Agrupamento		
	1	2	3
Madeira (1)	62	61	96
Alumínio (2)	35	35	4
PVC (3)	0	0	0
Misto (4)	4	4	0
Modelo de referência	(1)	(1)	(1)

As Figuras 50, 51 e 52 apresentam as composições dos materiais dos modelos em cada agrupamento. O modelo do agrupamento 1 é uma habitação com paredes com divisórias de bloco cerâmico, tanto nas áreas secas quanto nas áreas molhadas. Determinou-se que as paredes teriam 2,5cm de argamassa de assentamento, em ambas as faces, e acabamento com pintura. Adotou-se o valor de absorvância médio das paredes encontrado na amostra. Não foi possível levantar a absorvância da cobertura, adotando-se o valor baseado na literatura. A espessura final da parede foi adotada considerando a média do agrupamento. O piso do modelo foi composto por laje de concreto e revestido com

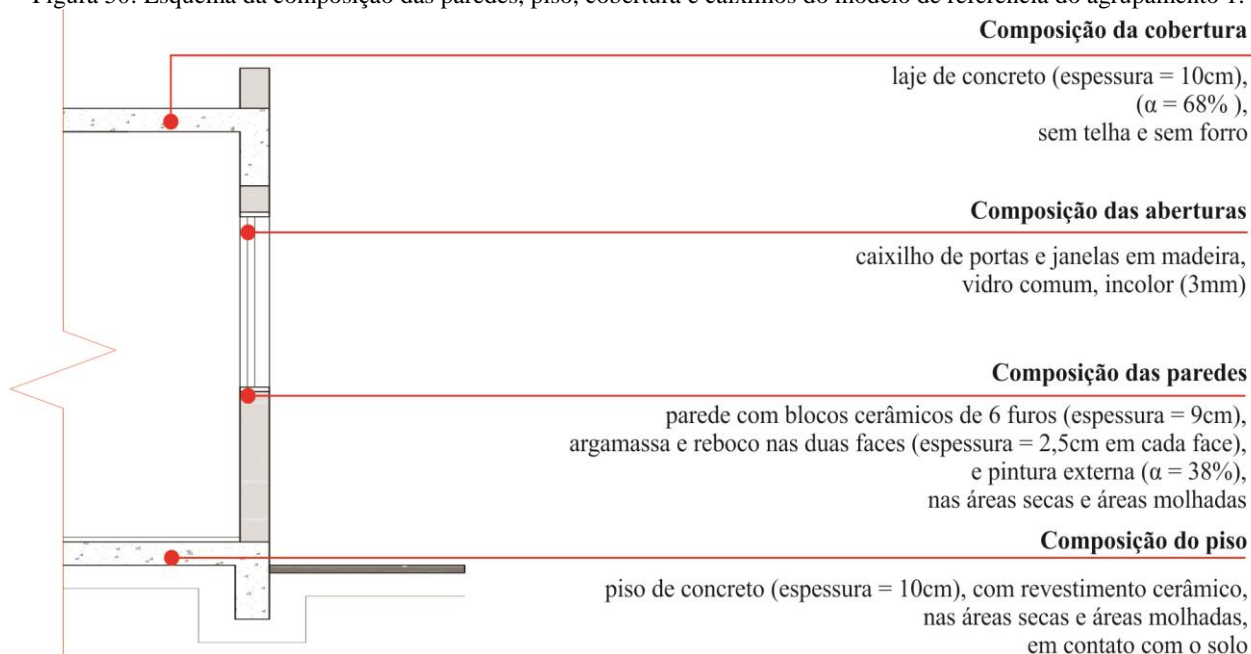
cerâmica por toda a casa, incluindo as áreas secas e molhadas. A espessura adotada foi de 10cm, baseada no convencional, pois essa característica não foi levantada em campo. A edificação tem contato com o solo. Quanto a cobertura, é composta por laje plana, sem telha e sem forro. O caixilho das esquadrias é de madeira, tanto para as portas quanto para as janelas. Detalhes sobre o vidro não foram utilizados na análise devido a impossibilidade de levantamento, mas adotou-se vidro comum, incolor, de 3mm de espessura em todas as janelas. As propriedades termofísicas de cada um dos componentes foi determinada conforme descrito no método.

O modelo do agrupamento 2 possui as mesmas características que o modelo 1 para as paredes, piso e caixilho das portas e janelas, diferenciando-se apenas pela composição da cobertura. A cobertura é composta por telha cerâmica e forro de madeira. A absorvância da parede externa foi determinada a partir da média da amostra e a espessura das paredes, a partir da média do agrupamento. A absorvância da cobertura foi determinada baseando-se na literatura, porque esse dado não foi levantado. Adotou-se vidro comum incolor 3mm e argamassa com 2,5cm de espessura conforme usual, pois esse dado não foi levantado em campo.

O agrupamento 3 é o que mais se difere entre os agrupamentos formados. O piso das áreas secas é composto por tábuas de madeira, enquanto das áreas molhadas é composto por laje de concreto revestida com cerâmica. Da mesma forma, as paredes das áreas secas são diferentes das paredes das áreas molhadas, pois são de madeira, enquanto as das áreas molhadas são de blocos cerâmicos com argamassa. O modelo de referência deste agrupamento possuía parede dupla de madeira, com 8cm no total. Esta composição ocorreu em apenas 3 casos da amostra, sendo pouco representativo. Adotou-se, portanto, a espessura 3,5cm, correspondente a média do agrupamento. A absorvância adotada foi igual à média da amostra. A composição da cobertura foi definida por forro de madeira e telha de fibrocimento, cuja absorvância foi adotada conforme encontrado na literatura. As esquadrias têm as mesmas características que os demais agrupamentos.

A definição dos modelos a partir de suas características e do que foi apresentado nos levantamentos e na criação desses modelos parece se ajustar bem à realidade encontrada, ressaltando as tipologias existentes. Conclui-se, baseando-se nos conceitos de análise de agrupamentos, que a formação dos agrupamentos foi adequada.

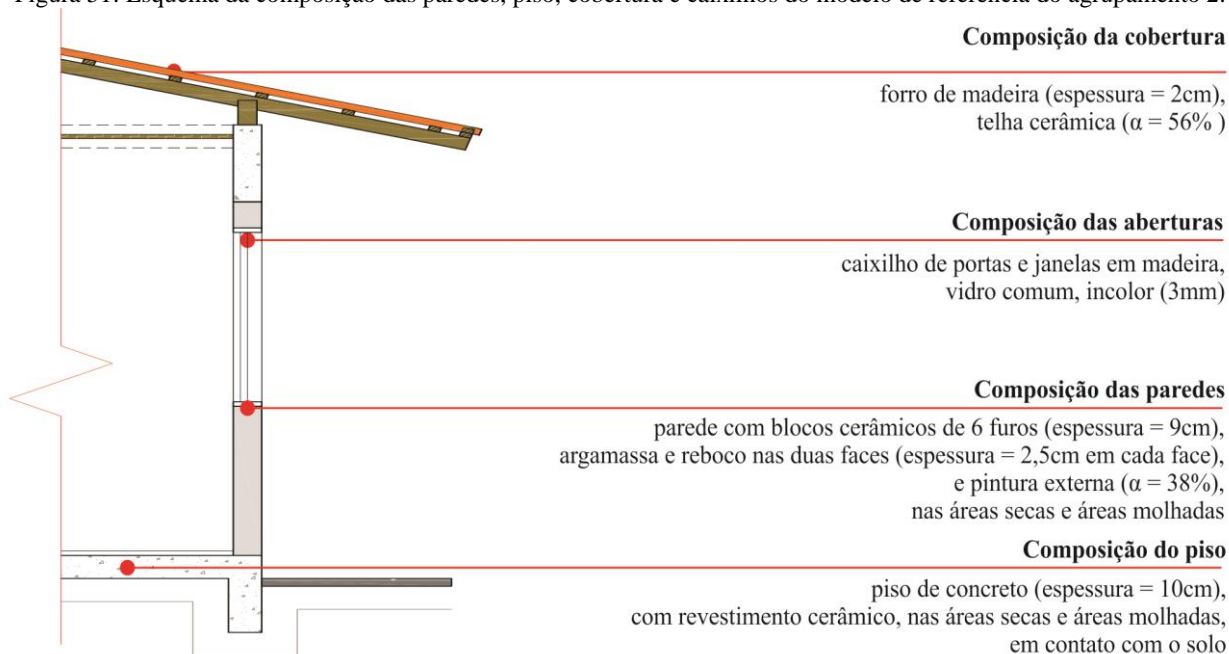
Figura 50: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos do modelo de referência do agrupamento 1.



Corte esquemático do agrupamento 1

sem escala

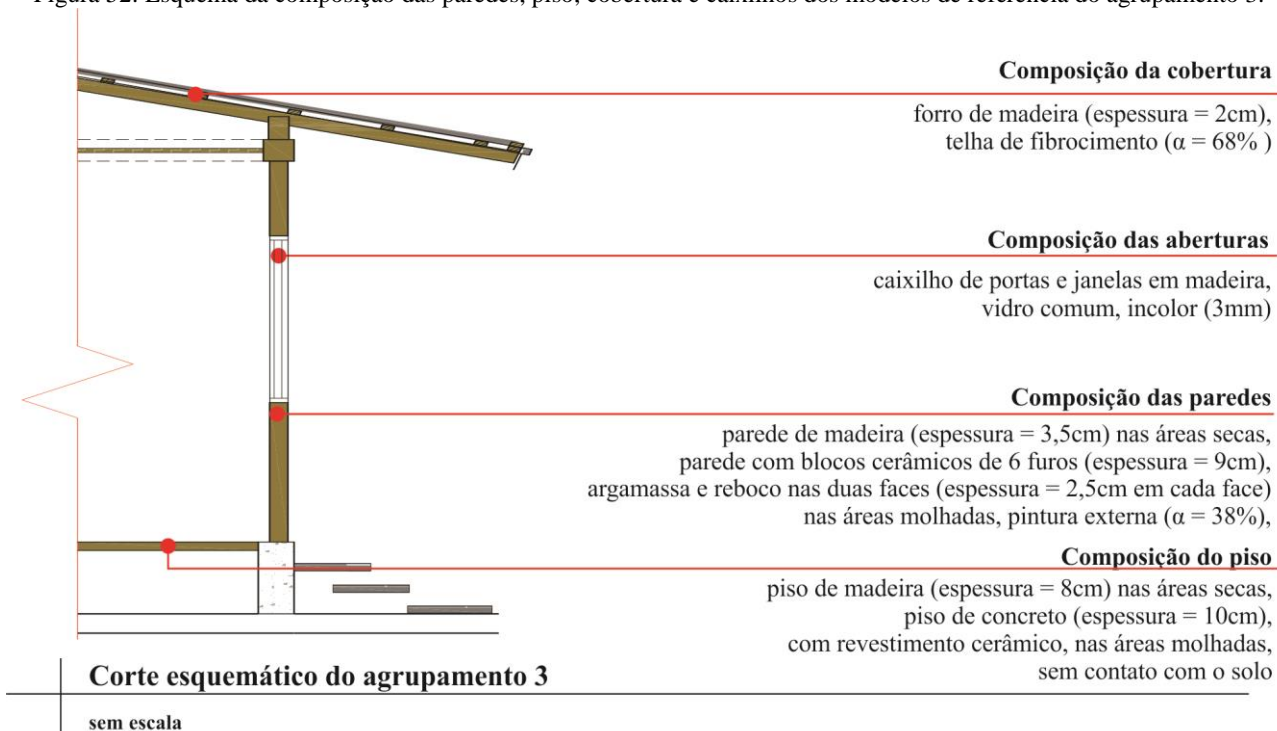
Figura 51: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos do modelo de referência do agrupamento 2.



Corte esquemático do agrupamento 2

sem escala

Figura 52: Esquema da composição das paredes, piso, cobertura e caixilhos dos modelos de referência do agrupamento 3.



4.3. SIMULAÇÃO DOS MODELOS

A adequação da formação dos agrupamentos e da representatividade dos modelos foi analisada separadamente para os dois blocos de informação. Todas as habitações de cada agrupamento foram simuladas, incluindo o modelo de referência, a partir de onde foram obtidos os valores de graus hora de resfriamento, aquecimento e total, para sala e dormitório, assim como para toda a habitação.

Através da aplicação de testes de hipótese, foi verificado, inicialmente, se os agrupamentos formados em cada bloco eram diferentes significativamente. Em seguida, verificou-se se os resultados obtidos com o modelo designado para cada agrupamento representavam bem a média do agrupamento. Por fim, analisou-se a distribuição de graus hora em cada agrupamento e o posto assumido pelo modelo de referência, verificando se este se encontrava entre o primeiro e terceiro quartis.

Os resultados são apresentados nos itens a seguir.

4.3.1. Resultados para forma

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos para a comparação de médias entre os agrupamentos formados referentes ao bloco de informações sobre a forma. Como os dados não apresentaram distribuição normal, aplicou-se o teste U de Mann-Whitney para verificar se havia diferença significativa entre as médias dos dois agrupamentos.

Na primeira coluna são apresentados os diferentes ambientes considerados na análise (sala, dormitório e toda a habitação), enquanto, na segunda, as variáveis referentes à cada ambiente. Nas colunas seguintes são apresentados os valores das médias de cada variável obtidas para cada agrupamento, seguidas do erro padrão, que é uma medida que indica a precisão da média amostral calculada. Na última coluna é apresentado o p_{valor} obtido com o teste de hipótese. Para os valores acima de 0,05, considera-se que há igualdade estatística entre as médias, enquanto valores abaixo de 0,05 indicam que não foi possível provar a igualdade entre as médias.

Verificou-se que não houve diferença significativa entre os agrupamentos quanto aos graus hora de aquecimento, para todos os ambientes. Entretanto, o oposto foi visto quanto aos graus hora de resfriamento, que se difere significativamente para os três casos (sala,

dormitório e habitação). Além disso, o valor de graus hora total (somatório dos graus hora de resfriamento e de aquecimento) foi diferente para o dormitório e a habitação, mas não diferiu para a sala.

Tabela 22: Comparação de médias entre os agrupamentos da forma através do teste U de Mann-Whitney (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Agrupamento 1 (n=48)		Agrupamento 2 (n=49)		Pvalor
		Média (°Ch)	Erro padrão (°Ch)	Média (°Ch)	Erro padrão (°Ch)	
Sala	Resfriamento	721	51	838	65	0,01
	Aquecimento	1484	43	1436	53	0,94
	Total	2205	62	2274	99	0,18
Dormitório	Resfriamento	644	42	964	89	0,00
	Aquecimento	1014	38	1040	53	0,88
	Total	1658	47	2004	126	0,02
Habitação	Resfriamento	665	42	912	61	0,00
	Aquecimento	1174	32	1246	46	0,12
	Total	1839	44	2158	88	0,00

Além da comparação entre as médias dos agrupamentos, também foram realizados testes de hipóteses para uma amostra, comparando os valores obtidos a partir do modelo de referência de cada agrupamento com as medianas do respectivo agrupamento, a fim de verificar se o modelo representa significativamente o grupo. A Tabela 23 apresenta os resultados para o agrupamento 1 e a Tabela 24, para o agrupamento 2.

Na primeira coluna são apresentados os ambientes analisados e na segunda, as variáveis referentes à cada ambiente. A coluna seguinte mostra os valores das medianas amostrais obtidas para cada variável. A quarta coluna apresenta o valor obtido a partir do modelo. A última coluna mostra o valor obtido com o teste de hipótese, confirmando a semelhança entre o modelo e a amostra (agrupamento) para p_{valor} maior que 0,05.

Conforme pode ser observado, para o agrupamento 1, foi confirmada a hipótese de igualdade entre os valores de graus hora do modelo de referência e da média amostral do agrupamento, para todas as variáveis. Portanto, o modelo de referência do agrupamento 1 pode ser considerado representativo do grupo. Quanto ao agrupamento 2, foi

confirmada a hipótese de igualdade para os graus hora de aquecimento de todos os ambientes, mas apenas para a sala foi possível confirmar a igualdade para as demais variáveis. Considera-se, então, baseando-se nesta análise, que o modelo de referência do agrupamento 2 é representativo apenas para a variável graus hora de aquecimento.

Tabela 23: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 1 do bloco da forma através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Valor da amostra (°Ch)	Valor do modelo (°Ch)	pvalor
Sala	Resfriamento	721	742	0,23
	Aquecimento	1484	1490	0,76
	Total	2205	2232	0,96
Dormitório	Resfriamento	644	661	0,06
	Aquecimento	1014	864	0,15
	Total	1658	1525	0,09
Habitação	Resfriamento	665	688	0,19
	Aquecimento	1174	1071	0,05
	Total	1839	1759	0,10

Tabela 24: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 2 do bloco da forma através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Valor da amostra (°Ch)	Valor do modelo (°Ch)	pvalor
Sala	Resfriamento	838	727	0,11
	Aquecimento	1436	1495	0,84
	Total	2274	2222	0,22
Dormitório	Resfriamento	964	523	<0,00
	Aquecimento	1040	1004	0,29
	Total	2004	1527	<0,00
Habitação	Resfriamento	912	623	0,02
	Aquecimento	1246	1246	0,40
	Total	2158	1869	<0,00

A última análise a ser feita é referente a distribuição amostral dos valores de graus hora e a posição do modelo de referência nesta

distribuição. A Figura 53 apresenta um diagrama de caixas referente à cada habitação, para cada variável e ambiente, em cada agrupamento. Nas colunas são apresentados os ambientes considerados na análise, enquanto nas linhas são apresentadas as variáveis graus hora de aquecimento, resfriamento e total. Dentro de cada quadro, são apresentados os diagramas de caixa referentes àquela variável, para cada agrupamento. Como detalhado na legenda, as linhas horizontais que delimitam cada caixa representam os limites do primeiro e terceiro quartil. Entre estas linhas, encontram-se 50% dos objetos da amostra. A mediana, linha horizontal que fica entre as duas citadas, divide estes 50% em duas partes iguais, representando então o centro da distribuição. Os círculos pequenos representam o valor de graus hora de cada habitação da amostra, enquanto o círculo maior representa o modelo de referência.

Observa-se que para todas variáveis cujo teste de hipótese para uma amostra indicou semelhança entre o modelo e a amostra, o valor de graus hora do modelo ficou muito próximo à mediana, indicando uma tendência central e, portanto, boa capacidade do modelo de representar a amostra. Nas demais variáveis, entretanto, para as quais não foi possível confirmar a hipótese de igualdade de médias do modelo e da amostra, verifica-se que de fato o valor do modelo afasta-se da mediana e aproxima-se do limite do primeiro quartil, chegando a ultrapassá-lo nas variáveis graus hora de resfriamento do dormitório e graus hora total da habitação. Ainda assim, pode-se considerar o modelo adequado, pois os valores estão muito próximos à linha limite do primeiro quartil, mas deve-se ter cuidado especial ao avaliar as estratégias de eficiência aplicadas ao modelo para estas variáveis.

4.3.2. Resultados para materiais

A Tabela 25 apresenta os resultados da comparação de médias ($^{\circ}\text{Ch}$) entre os agrupamentos formados referentes ao bloco dos materiais. Não foi possível também aqui comprovar a normalidade dos dados. Como são três agrupamentos, aplicou-se, então, o teste de Kruskal Wallis para verificar se as médias dos agrupamentos formados se diferem.

Ao contrário do que foi visto no bloco da forma, para os materiais foi observado que a análise de agrupamento formou grupos com médias significativamente diferentes para todas as variáveis, visto que o p_{valor} foi menor que 0,05 para todos os casos.

Figura 53: Diagrama de caixas referente ao valor de graus hora de todas as habitações de cada agrupamento para cada variável do bloco da forma.

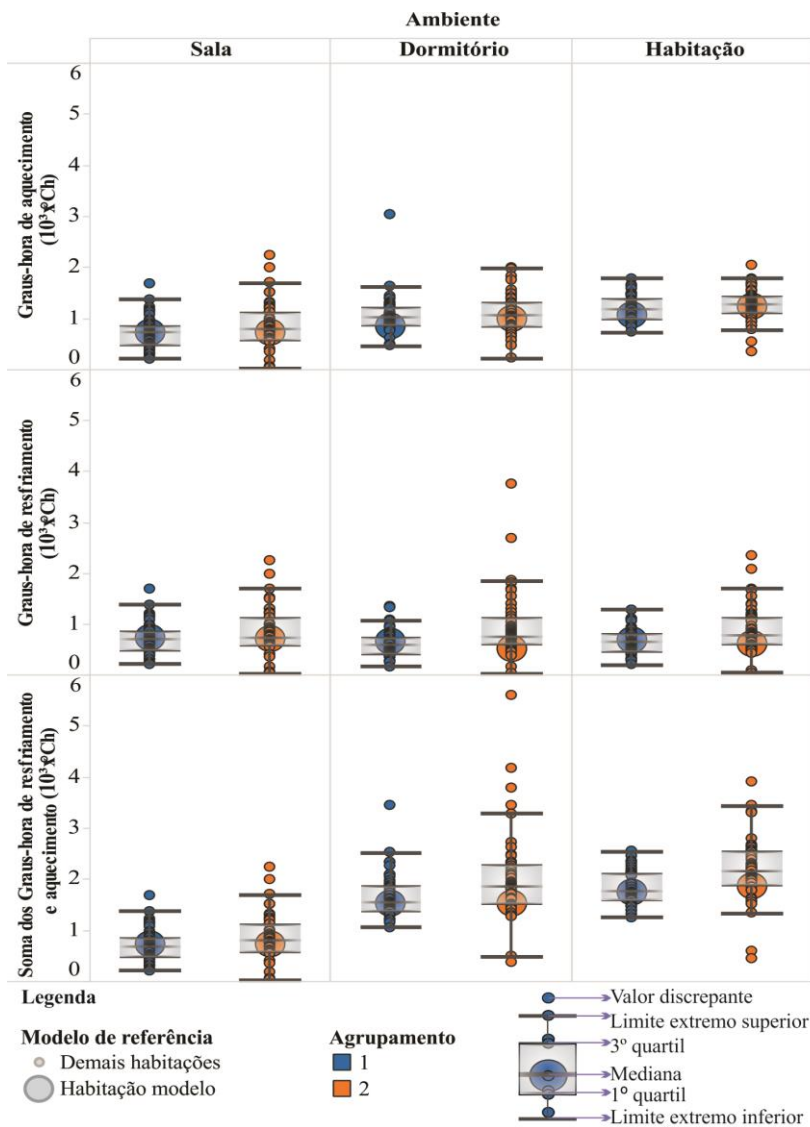


Tabela 25: Comparação de médias entre os agrupamentos de materiais através do teste Kruskal Wallis (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Agrupamento 1 (n=26)		Agrupamento 2 (n=50)		Agrupamento 3 (n=30)		Pvalor
		Média (°Ch)	Erro padrão (°Ch)	Média (°Ch)	Erro padrão (°Ch)	Média (°Ch)	Erro padrão (°Ch)	
Sala	Resfriamento	1358	231	1081	143	3861	380	<0,00
	Aquecimento	1553	99	1713	91	3473	325	<0,00
	Total	2925	332	2807	235	7334	708	<0,00
Dormitório	Resfriamento	1206	225	910	144	3688	364	<0,00
	Aquecimento	1066	61	1047	56	2242	209	<0,00
	Total	2283	288	1967	201	5929	577	<0,00
Habitação	Resfriamento	1299	228	1014	143	3793	374	<0,00
	Aquecimento	1361	83	1451	77	2988	279	<0,00
	Total	2660	305	2464	210	6781	627	<0,00

As Tabelas 26, 27 e 28 apresentam os resultados do teste de hipóteses para uma amostra, para os agrupamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Para o primeiro agrupamento só foi possível confirmar a hipótese de igualdade para o grau hora de aquecimento ($p_{\text{valor}} > 0,05$), em todos os ambientes, não sendo o modelo, portanto, representativo para as demais variáveis. Para os demais agrupamentos, entretanto, todas as variáveis confirmaram a hipótese de igualdade, confirmando então a representatividade dos modelos em relação aos os agrupamentos.

Tabela 26: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 1 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Valor da amostra (°Ch)	Valor do modelo (°Ch)	p_{valor}
Sala	Resfriamento	865	524	0,01
	Aquecimento	1711	1103	0,06
	Total	2576	1630	0,03
Dormitório	Resfriamento	661	450	0,00
	Aquecimento	1028	806	0,16
	Total	1690	1256	0,02
Habitação	Resfriamento	785	495	0,01
	Aquecimento	1450	986	0,27
	Total	2235	1481	0,04

Tabela 27: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 2 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Valor da amostra (°Ch)	Valor do modelo (°Ch)	p_{valor}
Sala	Resfriamento	858	858	0,17
	Aquecimento	1708	1709	0,91
	Total	2566	2559	0,79
Dormitório	Resfriamento	659	659	0,14
	Aquecimento	1017	1018	0,06
	Total	1674	1675	0,79
Habitação	Resfriamento	779	780	0,68
	Aquecimento	1436	1437	0,99
	Total	2216	2217	0,77

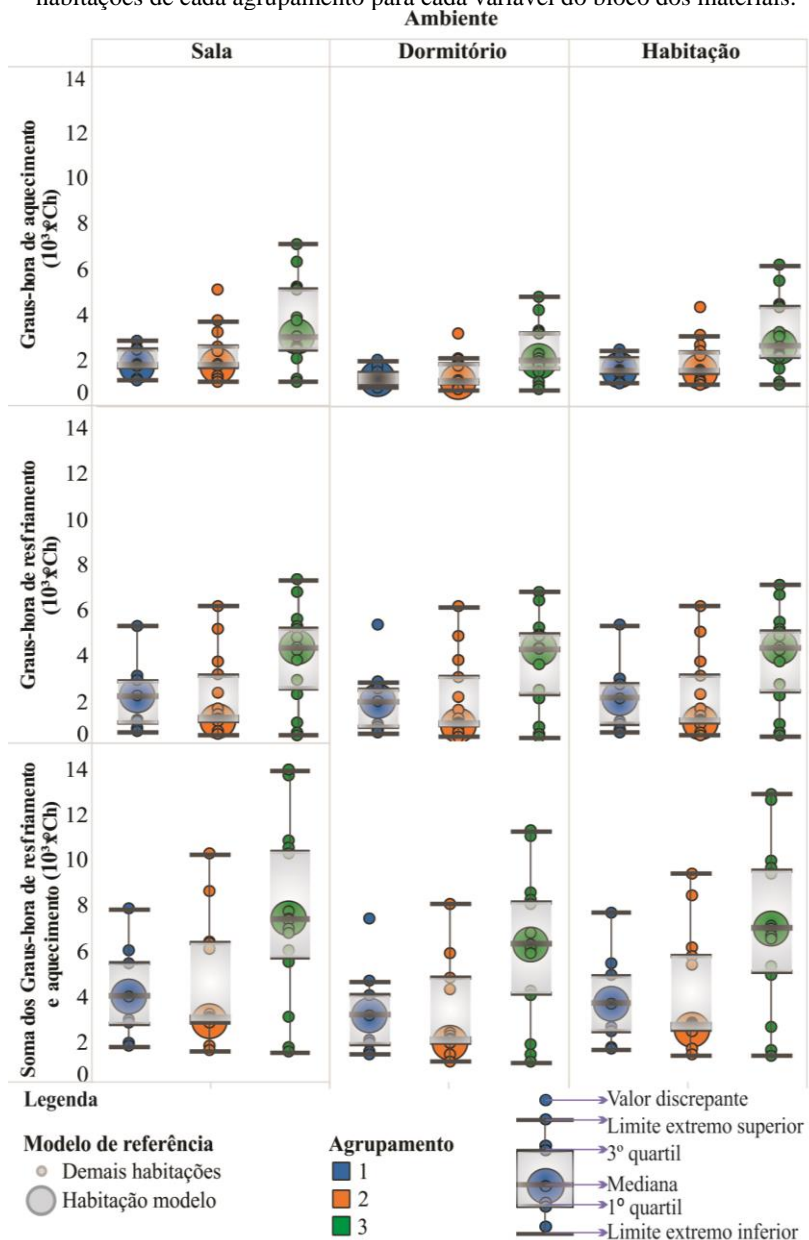
Tabela 28: Teste de hipótese para uma amostra para o agrupamento 3 do bloco dos materiais através do teste de Wilcoxon (nível de significância $p < 0,05$)

Ambientes	Graus hora anual	Valor da amostra (°Ch)	Valor do modelo (°Ch)	Pvalor
Sala	Resfriamento	4065	4065	0,84
	Aquecimento	3425	2954	0,13
	Total	7017	6959	0,63
Dormitório	Resfriamento	3986	3987	0,93
	Aquecimento	1906	1907	0,45
	Total	5882	5884	0,91
Habitação	Resfriamento	4034	4034	0,69
	Aquecimento	2540	2541	0,37
	Total	6575	6575	0,77

A Figura 54 apresenta o diagrama de caixas para todas as variáveis e ambientes de cada agrupamento referente aos materiais. Como esperado, devido ao que foi visto nos testes de hipóteses para uma amostra, observa-se que para todas as variáveis de todos os ambientes o valor de graus hora do modelo se aproxima da mediana da amostra, indicando boa representatividade do modelo de referência (inclusive para o agrupamento 1, para o qual os testes de hipótese não puderam comprovar a igualdade de médias).

Baseando-se nos resultados obtidos, considera-se que os modelos de referência encontrados na análise de agrupamentos são adequados para representar a amostra.

Figura 54: Diagrama de caixas referente ao valor de graus hora de todas as habitações de cada agrupamento para cada variável do bloco dos materiais.



5. CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi determinar modelos de referência de habitações populares unifamiliares da região de Florianópolis, SC, baseados nas características físicas da edificação, através da análise de agrupamento, para uso em estudos de desempenho termo-energético. Para alcançar este objetivo, quatro objetivos específicos foram traçados.

Primeiramente, através de uma revisão de literatura, identificou-se quais são os parâmetros físicos que exercem influência sobre o desempenho termo-energético em edificações. Conforme apontaram os estudos, verificou-se que os parâmetros mais influentes são as propriedades termofísicas dos materiais e sistemas construtivos, o contato da superfície com o solo, a absorvância das paredes e coberturas, a orientação solar da edificação e das aberturas, as áreas de superfície expostas ao exterior, o tamanho dos ambientes, a área de abertura para ventilação e o sombreamento das aberturas e da edificação.

Baseando-se nos parâmetros encontrados na revisão de literatura, foram levantadas 120 habitações da região da Grande Florianópolis ao longo de aproximadamente um ano. Verificou-se a dificuldade na obtenção de dados desse grupo de edificações. Uma grande parte delas foi construída de forma espontânea, sem projeto ou aprovação na prefeitura. A imprecisão e a grande heterogeneidade nas informações encontradas dificultam a criação de um padrão, sendo necessária a simplificação e às vezes até descarte de muitos dados coletados. Entretanto, mesmo com as simplificações, foi possível traçar um panorama e conhecer melhor as características destas edificações.

A partir das características físicas das habitações levantadas em campo, realizou-se a análise de agrupamentos, separadamente para as características relacionadas à forma da habitação e os materiais que a compõe. Para o bloco da forma, dois agrupamentos com características distintas foram encontrados. O primeiro é composto por habitações maiores, representado por um modelo com área total de 76m², três dormitórios e sala e cozinha em ambientes separados. Por sua vez, o agrupamento 2 é composto em sua maioria por habitações menores, representado por um modelo com 37m², dois dormitórios e sala e cozinha conjugadas.

Quanto ao bloco de materiais, foram encontrados três agrupamentos diferentes, cada um representado pelos seus modelos. Os dois primeiros foram caracterizados por paredes de bloco cerâmico, piso

de concreto revestido com cerâmica, diferindo apenas quanto à cobertura, que em um dos casos era composta por laje de concreto, sem telha e sem forro, e no outro por telha cerâmica, sem laje e com forro de madeira. O terceiro modelo (assim como o terceiro grupo) caracterizou-se por uma habitação com piso e paredes de madeira, com exceção dos ambientes que possuíam equipamentos hidráulicos instalados. Nestas áreas, a composição das paredes e dos pisos foi igual aos demais blocos. A cobertura do terceiro modelo foi composta por telha de fibrocimento, sem laje e com forro de madeira.

A utilização das técnicas de análise de agrupamento mostraram ser um método prático e objetivo na obtenção de modelos de referência, que, conforme apresentado na revisão, estão em evidência. Entretanto, por ser uma análise exploratória e não inferencial, é fundamental que o pesquisador tenha conhecimento sobre as variáveis que seleciona para compor a base de dados e sua relação com os objetivos do estudo. Neste estudo, muitas variáveis importantes para o desempenho térmico de edificações não puderam compor a matriz de dados por não possuir dados suficientes ou inconsistentes, como o sombreamento e área de ventilação. Isto pode ter acarretado em perdas de significância do produto final, pois são variáveis que estão muito associadas ao desempenho de edificações. É importante também ressaltar que, mesmo sendo a análise de agrupamentos uma análise exploratória, não é só possível como deve ser feito o uso de outras técnicas estatísticas que possam garantir a adequação dos resultados, como foi o caso dos testes de hipóteses aqui utilizados.

Os modelos obtidos com a análise de agrupamentos, assim como todas as habitações da amostra, foram submetidos à simulações computacionais onde, a partir dos dados de saída de temperatura operativa do ar, foi possível obter o valor de graus hora, indicador de desempenho térmico. Com esses dados, foram realizados testes de hipóteses sobre as médias, primeiramente verificando se os agrupamentos eram significativamente diferentes, e, em seguida, se o modelo representava a média do grupo. Também foi analisada a distribuição dos valores de graus hora para cada variável e comparado o valor do modelo com a mediana e os limites do primeiro e terceiro quartil.

Os resultados encontrados para o bloco da forma mostraram que as duas amostras só se diferiram quanto ao valor de graus hora de resfriamento, enquanto para os materiais foi confirmada a independência estatística entre os agrupamentos para todas as variáveis. Quanto à

comparação dos modelos com os agrupamentos a quem representam, foi possível comprovar a igualdade estatística para a maioria das variáveis, tanto para a forma quanto para os materiais, salvo alguns casos para graus hora de resfriamento. Além disso, o diagrama de caixas mostrou que o valor de graus hora do modelo ficou, na maioria das variáveis, dentro do intervalo do primeiro ao terceiro quartil. A partir destes resultados, conclui-se que os modelos encontrados representam bem os agrupamentos.

É importante mencionar, entretanto, que o principal objetivo do uso de modelos de referência não é necessariamente que ele tenha o mesmo desempenho térmico da amostra, mas sim que ele tenha o desempenho similar ao se aplicar estratégias de eficiência. Por exemplo, não importa tanto se ele não tiver o mesmo resultado de graus hora que muitas edificações da amostra que ele representa, mas importa que os resultados da aplicação das estratégias de eficiência tenham o mesmo desempenho. Então, o procedimento mais correto para verificação da adequação do modelo teria sido comparar não os resultados do modelo com a amostra, como foi feito, mas sim os resultados da aplicação das estratégias no modelo com os resultados da aplicação das mesmas estratégias na amostra. Isto não foi realizado neste estudo devido à inviabilidade de tempo.

A partir do trabalho apresentado, concluiu-se que o objetivo geral deste estudo foi alcançado. Os modelos de referência de habitações populares unifamiliares de Florianópolis foram determinados e as diferenças entre as características físicas dos agrupamentos formados foram significativas a um nível de significância de 0,05, para a maioria das variáveis envolvidas na análise. Entretanto, quanto ao seu uso em estudos de desempenho energético com simulação computacional, não foi possível provar estatisticamente que todos os modelos encontrados representam o agrupamento do qual fazem parte, para todas as variáveis. Assim, para esses modelos, novos estudos incluindo novas variáveis são necessários para aprimorá-los e torná-los mais representativos.

Por fim, conclui-se como satisfatória a determinação de modelos a partir da análise de agrupamentos assim como sua aplicabilidade nos estudos de desempenho termo-energético, embora se tenha consciência de que este é apenas um estudo inicial e muito ainda deve ser desenvolvido para que ele seja aplicado com maior segurança.

5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Limitações quanto à etapa de levantamento dos dados:

- O dimensionamento da amostra foi determinado a partir da quantidade de habitações que foi possível levantar no período de um ano e não a partir de cálculos de tamanho amostral, podendo não ser, portanto, estatisticamente significativa, embora usualmente considera-se amostras com mais de 100 elementos adequadas;
- Simplificações quanto aos dados coletados foram necessárias, dada a imprecisão dos levantamentos de algumas variáveis (como a área de ventilação das aberturas) e a impossibilidade do levantamento de outras (como espessura do vidro).

Limitações quanto à etapa de análise de agrupamentos:

- Não foi realizada uma ponderação ou criado um coeficiente para ponderar as variáveis envolvidas na análise de acordo com a sua contribuição ao desempenho termo-energético de cada habitação, assim uma variável muito influente teve o mesmo peso de outra variável pouco influente na análise;
- Variáveis importantes como área de ventilação e sombreamento não puderam ser incluídas na análise devido à inconsistência dos dados levantados;
- Não foi considerada na análise alguma variável relacionada a disposição interna dos ambientes das habitações;
- Não foi realizada a análise de agrupamento para a densidade de potência instalada nem tão pouco para a operação da edificação devido ao tempo hábil para realização deste trabalho. A inclusão destes modelos teria deixado o trabalho mais completo, visto que são fatores influentes no desempenho térmico de habitações;
- Ressalta-se que os modelos obtidos são válidos apenas para a amostra levantada e variáveis e algoritmos selecionados neste estudo.

Limitações quanto à etapa de simulação:

- Para o bloco da forma, devido a existência de diferentes ambientes em cada habitação, foi necessário realizar a ponderação dos graus hora de cada ambiente pela sua área para obter um único indicador de comparação, podendo mascarar resultados (como por exemplo um ambiente pequeno com graus hora muito elevado e outro maior com graus hora muito baixo);

- A cozinha não foi considerada como ambiente de longa permanência, embora em campo foi observado que costuma ser ocupada com maior frequência que a sala em muitas habitações;

- Devido às diferentes distribuições do espaço interno de cada habitação, a análise do bloco referente à forma ficou prejudicada pois não foi possível controlar a orientação de cada ambiente;

- Os resultados obtidos a partir dos valores de graus-hora com os testes de hipótese podem ter sido influenciados pelas rotinas de abertura das janelas utilizadas nas simulações. Estas permitiram que a ventilação natural ocorresse na maior parte das horas do dia. Quando isso acontece, a temperatura interna tende a se aproximar da temperatura externa, sendo a arquitetura menos influente no desempenho térmico do que quando as janelas permanecem fechadas.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este foi um estudo inicial sobre a aplicação de análise de agrupamento para determinação de modelos de referência de edificações e sua aplicação nos estudos de desempenho térmico. Assim, muitos outros ainda são necessários para confirmar a aplicabilidade e a opção pela melhor forma de utilização desta técnica.

Algumas sugestões para trabalhos futuros que poderiam complementar o trabalho apresentado são:

- Comparar os ajustes dos modelos quando determinados por outras medidas de similaridade e algoritmos de partição;

- Verificar o ajuste do modelo considerando simulações paramétricas com o modelo e as demais habitações, a fim de verificar se as estratégias aplicadas a cada caso são bem representadas pelo modelo;

- Determinação de modelos a nível regional ou nacional, e ainda envolvendo outros tipos de edificação (multifamiliar, comercial, hoteleira, etc.);

- Realizar primeiro as simulações e fazer uma regressão com os resultados de saída para então definir quais variáveis que devem ser utilizadas na matriz de dados da análise de agrupamentos;

- Comparar resultados para a formação de diferentes modelos: baseados em edificações modelos existentes na literatura, em edificações reais (como foi feito neste trabalho) e em edificações teóricas, criadas a partir dos centroides dos agrupamentos;

- Realizar o agrupamento também no sentido inverso (a partir dos resultados de simulação, definir os agrupamentos de habitações e então definir os modelos) e comparar os resultados obtidos pelas duas formas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55.** American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.
_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSIS, E.; PEREIRA, E.; SOUZA, R.. **Habitação Social e Eficiência Energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte.** In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. **Anais...** Vitória - ES: 2007

ATTIA, S.; EVRARD, A.; GRATIA, E. Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector. **Applied Energy**, v. 94, n. 2012, p. 270–284, jun. 2012.

BENEJAM, G. M. **Bottom-up characterization of the Spanish building stock for energy assessment and model validation. Retrofit 2012.** Manchester University of Salford, 2012.

BODACH, S.; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v. 38, n. 12, p. 7898–7910, dez. 2010.

BRANDÃO, D. Q. Tipificação e aspectos morfológicos de arranjos espaciais de apartamentos no âmbito da análise do produto imobiliário brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 3, p. 35–53, 2003.

BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à análise de agrupamentos.** IX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. São Paulo, SP: 1990

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.**

Universidade Federal de Santa Catarina. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Florianópolis. 2008.

CORGNATI, S. P.; FABRIZIO, E.; FILIPPI, M.; MONETTI, V. Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. **Applied Energy**, v. 102, p. 983–993, jul. 2012.

DASCALAKI, E. G.; DROUTSA, K.; GAGLIA, A. G.; KONTOYIANNIDIS, S.; BALARAS, C. Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 8, p. 1231–1237, ago. 2010.

DASCALAKI, E. G.; DROUTSA, K. G; BALARAS, C. A; KONTOYIANNIDIS, S. Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3400–3409, dez. 2011.

DASCALAKI, E. G.; KONTOYIANNIDIS, S.; BALARAS, C. A.; DROUTSA, K. G. Energy certification of Hellenic buildings: First findings. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 429–437, out. 2013.

DOE. **Buildings Energy Data Book**. 2011 Disponível em: <<http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx>>. Acesso em: nov. 2012.

DOE. **Getting Started with EnergyPlus Basic Concepts Manual**. Disponível em: <www.energyplus.gov>. Acesso em: mai. 2012.

DOE. **Commercial Reference Building Models of the National Building Stock**.. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge>>. Acesso em: set, 2013

DORNELLES, K. A. **Absortancia solar de superficies opacas : metodos de determinação e base de dados para tintas latex acrilica e PVA**. Tese.(Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas - Campinas. 2008.

EC. **Energy Efficiency Status Report**. Disponível em: <<http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/energy-efficiency-status-report-2012.pdf>>. Acesso em: jun. 2013.

EU. **Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings**. Disponível em: <http://europa.eu/legislation_summaries/other/127042_en.htm>. Acesso em: jul. 2013.

FAMUYIBO, A. A.; DUFFY, A.; STRACHAN, P. Developing archetypes for domestic dwellings—An Irish case study. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 150–157, jul. 2012.

FILOGAMO, L.; PERI, G.; RIZZO, G; GIACCONE. On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. **Applied Energy**, abril. 2014.

FRACASTORO, G. V.; SERRAINO, M. A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 844–852, abr. 2011.

FUMO, N.; MAGO, P.; LUCK, R. Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 12, p. 2331-2337, 2010.

GAITANI, N.; LEHMANN, C.; SANTAMOURIS, M.; MIHALAKAKOU, G.; PATARGIAS, P. Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 2079–2086, jun. 2010.

GIGLIO, T., LAMBERTS, R; BARBOSA, M.; URBANO, M.. A procedure for analysing energy savings in multiple small solar water heaters installed in low-income housing in Brazil. **Energy Policy**, v. 72, p. 43–55, set. 2014.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IBM. **Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)**. Versão 2.0. para windows. Chicago: SPSS Inc.

IEA. **Key World Energy Statistics**. Paris. 2012. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>>. Acesso em: jun, 2013.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estimativas do déficit habitacional brasileiro (2007-2011) por municípios (2010)**. Brasília: Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/130517_notatecnicadirur01.pdf>.

JAIN, A. K.; MURTY, M. N.; FLYNN, P. J. Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys*, v.31, n.3, p. 264-323, set. 1999.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 4 ed. New Jersey, Library of Congress:. 1998.

KAUFMAN, Leonard; ROUSSEEUW, Peter J. **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New Jersey: John Wiley, 2005.

LI, B.; YU, W.; LI, N. Climatic Strategies of Indoor Thermal Environment for Residential Buildings in Yangtze River Region, China. **Indoor and Built Environment**, v. 20, n. 1, p. 101–111, jan. 2011.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide: AIVC**. Bracknell, UK, 1986.

LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; DASCALAKI, E. G.; BALARAS, C. **Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach: First TABULA Synthesis Report**. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2008.

LOPES, T. P. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MATOS, M. Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural.

2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MCNEIL, M. A.; LETSCHERT, V. E. Modeling diffusion of electrical appliances in the residential sector. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p. 783–790, jun. 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada:** uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional: Relatório Final.** Brasília, 2012.

MOFFATT, S. Methods for Evaluating the Environmental Performance of Building Stocks - Annex 31 (I. Aho,

Ed.)OttawaFaberMaunsell Ltd., , 2004.

MWASHA, A.; WILLIAMS, R. G.; IWARO, J. Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 9, p. 2108–2117, set. 2011.

NASSAR, S. M., WRONSCKI, V. R., OHIRA, M. **SEstatNet** - Sistema Especialista para o Ensino de Estatística na Web. Disponível em: <http://www.sestat.net> . Florianópolis - SC, Brasil. Acesso em :jun, 2014

NGUYEN, A.-T.; REITER, S. A climate analysis tool for passive heating and cooling strategies in hot humid climate based on Typical Meteorological Year data sets. **Energy and Buildings**, 2012.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and buildings**, 43, p. 3391 -3399, 2011.

PETCHARAT, S.; CHUNGPAIBULPATANA, S.; RAKKWAMSUK, P. Assessment of potential energy saving using cluster analysis: A case study of lighting systems in buildings. **Energy and Buildings**, v. 52, p. 145–152, set. 2012.

RAKOTO-JOSEPH, O.; GARDE, F.; DAVID, M.; ADELARD, L.; RANDRIAMANNANTANY, Z. A. Development of climate zones and passive solar design in Madagascar. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 1004–1010, 2009.

RAVETZ, J. State of the stock—What do we know about existing buildings and their future prospects? **Energy Policy**, v. 36, n. 12, p. 4462–4470, dez. 2008.

RUIZ, M. C.; ROMERO, E. Energy saving in the conventional design of a Spanish house using thermal simulation. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 11, p. 3226–3235, nov. 2011.

SAKKA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I.; NICOL, F.; WILSON, M. On the thermal performance of low income housing during heat waves. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 69–77, jun. 2012.

SANCHES, T. B.; DAVID, N. **Levantamento das características tipológicas de edifícios de escritórios de Brasília**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...Ouro Preto: 2001**

SANTANA, M. V. **Influência dos parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritórios localizados em Florianópolis - SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006

SCHULZE, T.; EICKER, U. Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. **Energy and Buildings**, v. 56, p. 221–232, jan. 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.13, n.4, p. 135-148, 2013.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

THEODORIDOU, I.; PAPADOPOULOS, A. M.; HEGGER, M. A typological classification of the Greek residential building stock. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 2779–2787, jun. 2011a.

THEODORIDOU, I.; PAPADOPOULOS, A. M.; HEGGER, M. Statistical analysis of the Greek residential building stock. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 9, p. 2422–2428, set. 2011b.

TORCELLINI, P.; DERU, M.; GRIFFITH, B.; BENNE, K. **DOE commercial building benchmark models**. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. **Anais...**Washington: ACEEE, 2008

UNEP. Buildings: Investing in energy and resource efficiency. In: UNEP (Ed.). **Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication**. 02.11.2011. United Nations Environment Programme, 2011. p. 330–373.

YU, Z.; FUNG, B. C. M.; HAGHIGHAT, F.; YOSHINO, H.; MOROFSKY, E. A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 6, p. 1409–1417, jun. 2011.

APÊNDICE 1:
Questionários utilizados e instruções técnicas para a sua aplicação

INSTRUÇÃO DE TRABALHO Preenchimento de Questionário 2. Envolvória Elaboração: Aline Schaefer Aprovação:	IT Q002 V01 Data 07/04/2012 Data
--	---

1 OBJETIVO

Apresentar o processo de preenchimento manual do Questionário de Envolvória da HIS analisada.

2 ESCOPO

Instrução de trabalho dentro do macro objetivo de aquisição de dados, referindo-se à obtenção de dados sobre as características físicas da HIS, tais como dimensões, materiais e componentes.

3 ARQUIVOS E NORMAS APLICÁVEIS

Questionário_ProjetoFinep_Jan2012.pdf – item 2a e 2b: Geometria e matérias – Impresso.

4 ARQUIVOS E NORMAS CITADOS

MQ_ManualDaQualidade_ProjetoFinep_Mar2012.pdf;

Manual_Espectrômetro ALTA II.docx, em Projeto Finep/Gestão da Qualidade/Manuais;

5 SIGLAS

HIS: Habitação de Interesse Social;

6 OPERAÇÃO

- I. Preencher o nome do entrevistador (pessoa que aplica o questionário) e a hora de início da atividade;

- II. Preencher o nome do responsável que apresentou as informações, a data e o código da HIS avaliada, de acordo com a planilha Situação_ProjetoFinep.xlsx;
- III. Preencher os dados solicitados conforme *Anexo 1: Questionário preenchido – exemplo*;
- IV. **Parte 1 - CROQUI:** fazer o desenho da HIS em planta baixa no espaço reservado para tal – quadro quadriculado. Considerar os itens pontuados a seguir:
 - Representar as paredes com linha simples (não representar a espessura das paredes com linhas duplas ou cheias, como se faz convencionalmente);
 - Cotar medidas gerais externas;
 - Locar a referência da rua em relação à habitação;
 - Indicar orientação norte, quando for possível;
 - Indicar cotas de nível, quando for o caso, conforme simbologia indicada na legenda (considerar área externa no nível 0,00);
 - Cotar afastamentos em relação à edificação vizinha, quando esta for muito próxima (provocando sombreamento – menos de 1,20) ou representar os limites do terreno, quando não houver afastamento;
 - Indicar nome dos ambientes (sala, cozinha, dormitório ou Q1, BWC, etc) dentro do espaço representado na planta para cada um (pode ser feito junto com o preenchimento da **Tabela de Cômodos**);
 - Locar e nomear aberturas, portas e janelas conforme simbologia indicada na legenda (pode ser feito junto com o preenchimento da **Tabela de Aberturas**);
 - Indicar altura de divisórias quando estas não corresponderem ao fechamento vertical total do ambiente (h=pé direito) escrevendo h=medida, alinhado com a linha que representa esta parede;
 - Indicar escala do desenho, quando houver;
 - Indicar os materiais e composição dos elementos construtivos (paredes, piso, cobertura) conforme simbologia indicada na legenda (pode ser feito junto com o preenchimento da **Tabela de Materiais**);
 - Fotografar a edificação.

- V. **Parte 2 – Croqui fachadas:** Representar as fachadas (pelo menos a frontal e uma lateral) da HIS no espaço destinado para tal. Considerar:
- Cotas verticais das paredes e cobertura;
 - Cotas verticais da cobertura em relação às esquadrias;
 - Cotas verticais do nível interno da HIS em relação ao externo (escadas, desníveis ou quando a edificação não tem contato com o solo);
 - Representar fechamento (ou não) do espaço entre a edificação e o solo, quando não houver contato entre ambos.
- VI. **Parte 3 – Croqui cobertura:** Representar a cobertura da HIS em projeção horizontal no espaço destinado para tal. Considerar:
- Representação das águas da cobertura (limites e caimento);
 - Representar projeção da edificação sob a cobertura com linhas tracejadas (intervalos de um traço e dois pontos);
 - Cotar beiral (cota horizontal do limite da cobertura até início da edificação).
- VII. **Parte 4 – Tabela de Aberturas:** Preencher a Tabela de Aberturas conforme o que se pede. Consultar *Anexo 2: Tabela Descritiva de Esquadrias* quando necessário.
- Item: nome dado àquela abertura. Adotar *P+número* para portas, *J+número* para janelas e *A+número* para aberturas livres;
 - Tipo de abertura: indicar manobra de abertura;
 - Peitoril: indicar distância entre o piso e a base da abertura, em centímetros, sempre dentro do ambiente;
 - Dimensões: indicar dimensões da abertura, em centímetros, no formato “a x b”, onde “a” é SEMPRE o valor da base (horizontal) e “b” é SEMPRE o valor da altura (vertical);
 - Área de ventilação: área efetiva de ventilação – abrir esquadria e tirar as dimensões do espaço por onde passa ar/ vento (no caso de abertura sem esquadria, esta

medida é igual a dimensão da mesma). Anotar valores em centímetros, no formato “a x b”, onde “a” é SEMPRE o valor da base (horizontal) e “b” é SEMPRE o valor da altura (vertical);

- Área de iluminação: área efetiva de iluminação – com a esquadria fechada, medir apenas os espaços por onde passa luz (no caso de abertura sem esquadria, esta medida é igual a dimensão da mesma). Anotar valores em centímetros, no formato “a x b”, onde “a” é SEMPRE o valor da base (horizontal) e “b” é SEMPRE o valor da altura (vertical);
- Material esquadria, cor e espessura: anotar o material, cor e espessura do caixilho;
- Material vidro, cor e espessura: anotar o material, cor e espessura do vidro, sempre que for possível;
- Veneziana: indicar se existe elemento móvel de sombreamento;
- Beiral: indicar, quando houver, distâncias horizontais e verticais da abertura em questão em relação à cobertura;
- Indicar caso haja algum outro elemento de sombreamento (brise, vegetação, marquise, etc).

VIII. **Parte 5 – Tabela de Cômodos:** Preencher a Tabela de Cômodos conforme o solicitado. Considerar:

- Nome do ambiente igual ao anotado no croqui;
- Anotar dimensões do ambiente em centímetros, no formato “a x b”, onde “a” representa SEMPRE o valor horizontal conforme orientação da folha do questionário e “b”, SEMPRE o valor vertical, conforme orientação da folha do questionário;
- Anotar distância em centímetros entre o piso do ambiente e o teto (forro, laje, etc);
- Caso o teto seja inclinado, anotar o valor referente aos dois pontos extremos (mais baixo e mais alto).

IX. **Parte 6 – Tabela de Materiais:** Preencher a Tabela de Materiais conforme o solicitado. Considerar:

- Anotar os materiais que compõem as camadas, na ordem de fora para dentro dos ambientes (no caso de paredes, cor e espessura - valor em centímetros – também);
 - Na composição da cobertura, indicar os materiais, cores e espessuras solicitados. Nunca deixar um campo em branco; quando não houver (laje ou forro, por exemplo), indicar no campo que este item “não tem”;
 - Anotar “sim” ou “não” para o item “contato c/ solo”;
 - Nem sempre é possível verificar “visivelmente” se há contato da edificação com o solo. Quando este for o caso, verificar a diferença de nível entre o piso externo e o interno: se esta diferença ficar muito acima de 20cm, pode-se adotar que a edificação não tem contato com o solo.
- X. **Parte 7 – Medições de refletância:** Preencher a planilha conforme indicado no *Anexo 3: Manual do usuário do equipamento Alta II*. Considerar:
- Anotar valores para todas as cores e materiais, considerando medição sobre o material e sobre o papel Ripax.

7 RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo 1: Questionário preenchido – Exemplo.

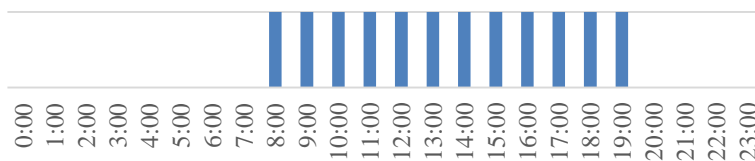
Anexo 2: Tabela descritiva de esquadrias.

Anexo 3: Manual do usuário do equipamento Alta II.

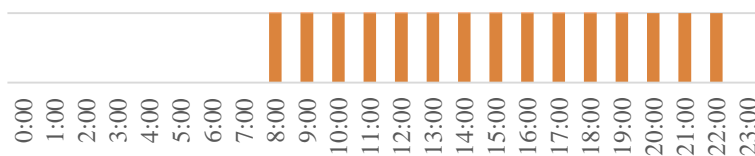
APÊNDICE 2: Rotinas de ventilação adotadas nas simulações dos modelos de referência

As rotinas de abertura de portas e janelas utilizadas nas simulações estão apresentadas abaixo.

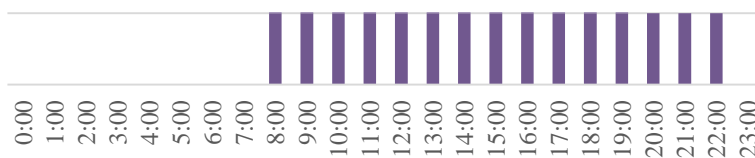
Portas externas



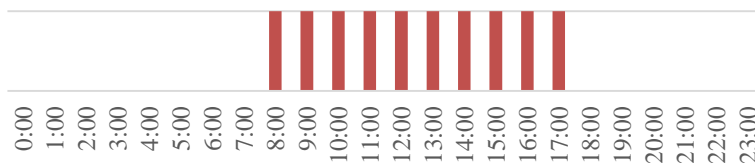
Portas internas



Janelas da sala e da cozinha

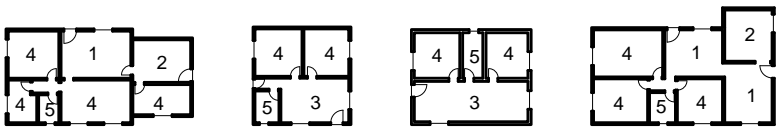


Janelas dos dormitórios



APÊNDICE 3: **Representação gráfica das edificações levantadas em campo**

As plantas baixas apresentadas a seguir representam graficamente as edificações levantadas em campo e consideradas nas análises relativas à forma das edificações. Observa-se que, nestas plantas, as dimensões das esquadrias não estão representadas conforme levantamento, devido a escala adotada. Entretanto, estão corretamente locadas quanto à orientação solar. Os ambientes que não estão identificados representam as áreas de serviço, circulações, ambientes utilizados para trabalho ou outros tipos de ambientes pouco frequentes.

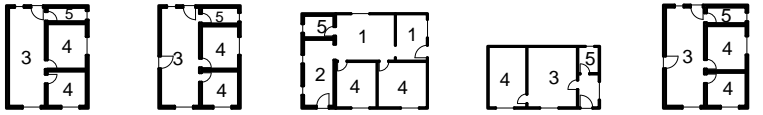


Habitação 1

Habitação 2

Habitação 3

Habitação 4



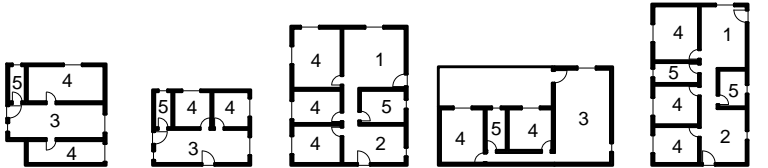
Habitação 5

Habitação 6

Habitação 7

Habitação 8

Habitação 9



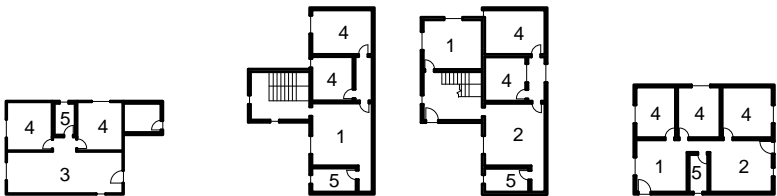
Habitação 10

Habitação 11

Habitação 12

Habitação 13

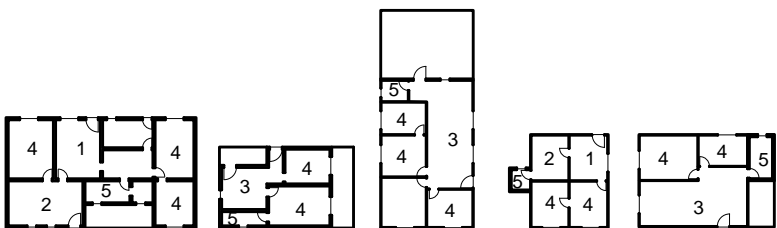
Habitação 14



Habitação 15

Habitação 16

Habitação 17



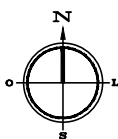
Habitação 18

Habitação 19

Habitação 20

Habitação 21

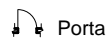
Habitação 22



- 1 Sala
- 2 Cozinha
- 3 Sala e cozinha conjugadas
- 4 Dormitório
- 5 Banheiro



Janela



Porta

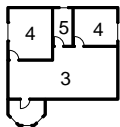


Abertura

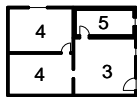


Escala 1:500

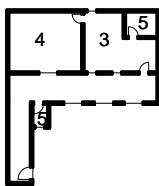
Obs.: As dimensões das aberturas nas plantas acima são meramente ilustrativas; não representam as dimensões reais



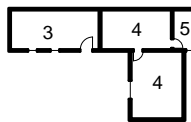
Habitação 23



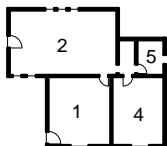
Habitação 25



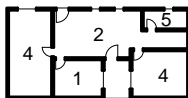
Habitação 27



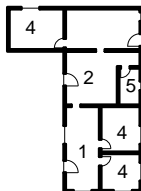
Habitação 28



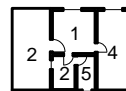
Habitação 29



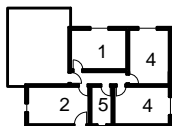
Habitação 30



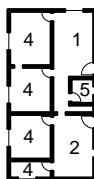
Habitação 31



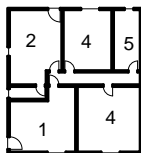
Habitação 32



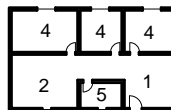
Habitação 33



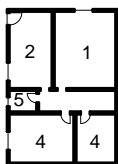
Habitação 35



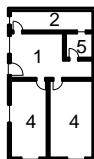
Habitação 36



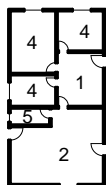
Habitação 37



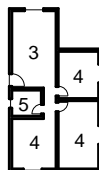
Habitação 38



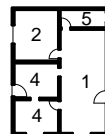
Habitação 39



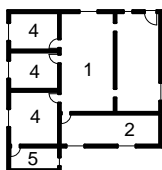
Habitação 40



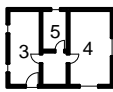
Habitação 41



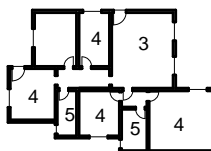
Habitação 42



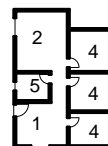
Habitação 43



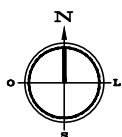
Habitação 44



Habitação 45



Habitação 46



- 1 Sala
- 2 Cozinha
- 3 Sala e cozinha conjugadas
- 4 Dormitório
- 5 Banheiro

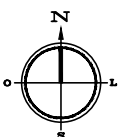
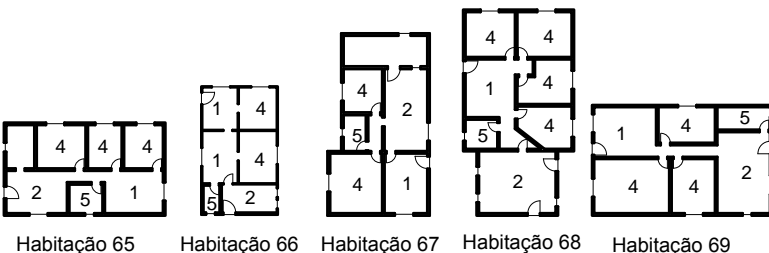
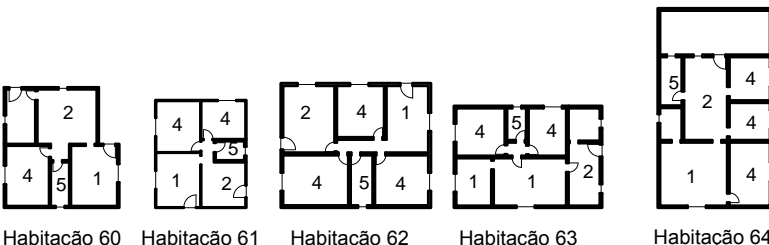
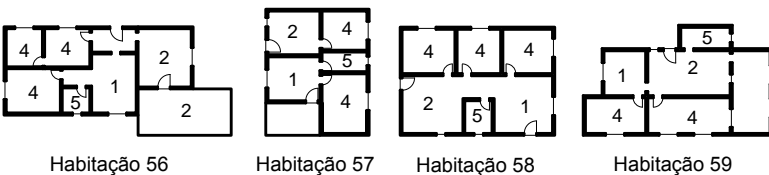
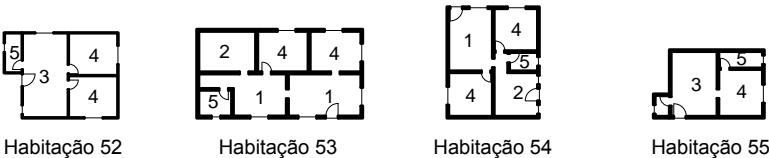
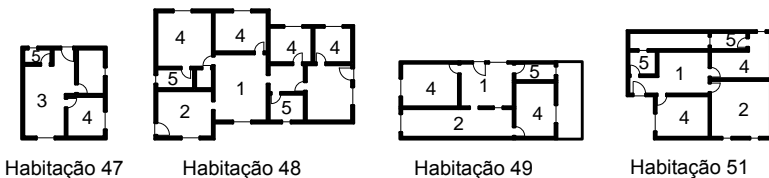


2m



Escala 1:500

Obs.: As dimensões das aberturas nas plantas acima são meramente ilustrativas; não representam as dimensões reais



- 1 Sala
- 2 Cozinha
- 3 Sala e cozinha conjugadas
- 4 Dormitório
- 5 Banheiro

—+— Janela

—+— Porta

—+— Abertura

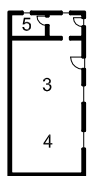


Escala 1:500

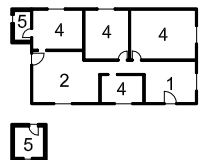
Obs.: As dimensões das aberturas nas plantas acima são meramente ilustrativas; não representam as dimensões reais



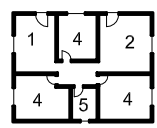
Habitação 70



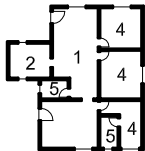
Habitação 71



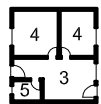
Habitação 72



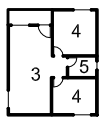
Habitação 73



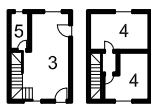
Habitação 74



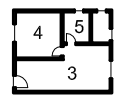
Habitação 75



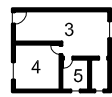
Habitação 76



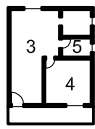
Habitação 77



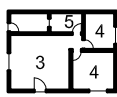
Habitação 78



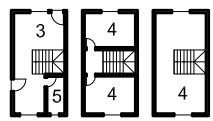
Habitação 79



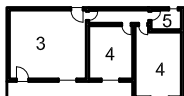
Habitação 80



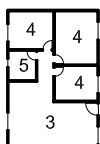
Habitação 81



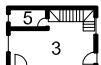
Habitação 82



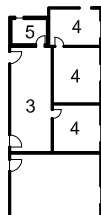
Habitação 83



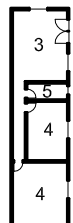
Habitação 84



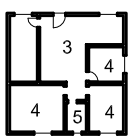
Habitação 85



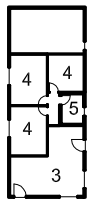
Habitação 86



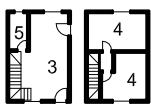
Habitação 87



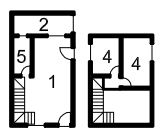
Habitação 88



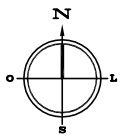
Habitação 89



Habitação 90

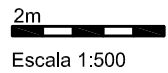


Habitação 91



- 1 Sala
- 2 Cozinha
- 3 Sala e cozinha conjugadas
- 4 Dormitório
- 5 Banheiro

- ↔ Janela
- ↪ Porta
- ↔ Abertura



Obs.: As dimensões das aberturas nas plantas acima são meramente ilustrativas; não representam as dimensões reais

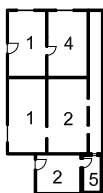


Habitacão 92

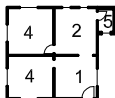
Habitacão 93

Habitacão 94

Habitacão 95



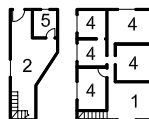
Habitacão 107



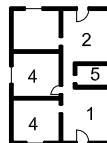
Habitacão 108



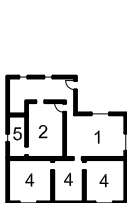
Habitacão 109



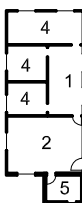
Habitacão 110



Habitacão 112



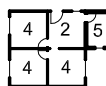
Habitacão 114



Habitacão 115



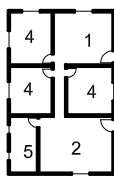
Habitacão 116



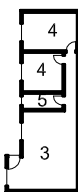
Habitacão 117



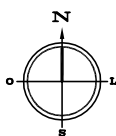
Habitacão 118



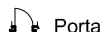
Habitacão 119



Habitacão 120



- 1 Sala
- 2 Cozinha
- 3 Sala e cozinha conjugadas
- 4 Dormitório
- 5 Banheiro



Escala 1:500

Obs.: As dimensões das aberturas nas plantas acima são meramente ilustrativas; não representam as dimensões reais

