

Este trabalho desenvolveu uma edificação de referência geminada para a cidade de Joinville / SC através da modelagem estatística, em especial com a utilização de técnicas de clusterização e foram analisadas simulações termo energéticas para o modelo de referência

Orientadora: Dra Ana Mirthes Hackenberg

Joinville, 2020

ANO
2020

FÁBIO HUDLER |ELABORAÇÃO DE MODELO DE REFERÊNCIA PARA
EDIFICAÇÕES GEMINADAS PARA FINS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ELABORAÇÃO DE MODELO DE
REFERÊNCIA PARA EDIFICAÇÕES
GEMINADAS PARA FINS DE
ANÁLISE DE DESEMPENHO
ENERGÉTICO**

FÁBIO HUDLER

JOINVILLE, 2020

FÁBIO HUDLER

**ELABORAÇÃO DE MODELO DE REFERÊNCIA PARA EDIFICAÇÕES
GEMINADAS PARA FINS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**

Dissertação de Mestrado a ser
apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil, na Universidade do
Estado de Santa Catarina – Centro de
Ciências Tecnológicas

Orientadora: Dra. Ana Mirthes
Hackenberg

Joinville

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

HUDLER, Fábio
ELABORAÇÃO DE MODELO DE REFERÊNCIA PARA
EDIFICAÇÕES GEMINADAS PARA FINS DE ANÁLISE DE
DESEMPENHO ENERGÉTICO / Fábio HUDLER. -- 2020.
114 p.

Orientadora: Ana Mirthes Hackenberg
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2020.

1. Edificação de referência. 2. Desempenho térmico. 3.
Simulação energética. 4. Clusters. I. Mirthes Hackenberg, Ana
. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

**Elaboração de um Modelo de Referência de Edificações Geminadas para fins
de Análise de Desempenho Energético**

por

Fábio Hudler

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

Área de concentração em “Engenharia Urbana e da Construção Civil”
e aprovada em sua forma final pelo

**CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

Banca Examinadora:

ASSINADO DIGITALMENTE
Profa. Dra. Ana Mirthes Hackenberg
CCT/UDESC
(Orientadora/Presidente)

VIA VIDEOCONFERÊNCIA
Prof. Dr. Antonio José dos Santos
UNISOCIESC

ASSINADO DIGITALMENTE
Prof. Dr. Fabiano Ferreira Andrade
CCT/UDESC

Joinville, SC, 7 de maio de 2020.

Dedico este trabalho à minha família e
aos professores que me acompanharam
nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

São diversos os motivos de gratidão, em especial pelas pessoas que de alguma forma estiveram envolvidas neste projeto. Além da pesquisa, o mestrado foi uma oportunidade única de aprendizado pessoal que me abriu novos horizontes.

Agradeço aos meus pais e familiares pelo carinho e incentivo.

À minha noiva Emanuela, e nosso filho pequeno.

À minha orientadora e professora Ana Mirthes, que certamente se não fosse por ela essa pesquisa não estaria concluída.

À UDESC e ao curso de pós-graduação em engenharia civil, com seus professores e colaboradores, que me aceitaram como mestrando acreditando no meu trabalho.

Ao Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville, na pessoa do chefe do setor de projetos Luciano que permitiu, mesmo que por poucas horas, acesso ao sistema deles facilitando a coleta de valiosas informações sobre as tipologias construtivas

E, principalmente, a Deus, que acompanha nossos caminhos, e penso que se alegra quando colaboramos na construção de uma sociedade melhor.

RESUMO

Poucas edificações são projetadas pensando no seu desempenho termo energético. Dentre essas poucas, é quase inexistente essa preocupação nas edificações de interesse social. É possível otimizar o desempenho térmico das edificações inclusive para edificações de baixa renda. O aumento da eficiência térmica está diretamente ligado ao consumo de energia elétrica, minimizando a parcela de gastos relativos ao condicionamento de ar. Uma das tipologias construtivas mais comuns vistas na cidade de Joinville / SC é a residência geminada. Essas moradias, na maioria dos casos, se enquadram como edificação para público de baixa renda. Este trabalho desenvolveu uma edificação de referência desta tipologia através da modelagem estatística, em especial com a utilização de técnicas de clusterização. Foi realizado um levantamento de dados como: áreas e tamanhos de aberturas, entre outras características geométricas de projetos arquitetônicos de 89 unidades geminadas da cidade, para que a determinação de um modelo estatisticamente representativo desse estoque de edificações. Os dados levantados foram analisados, e por fim, utilizados métodos de particionamento por clusters com técnicas hierárquicas e não hierárquicas. Após a identificação de 4 clusters principais, adotou-se aquele que mais continha edificações em seu grupo. Este foi definido como o grupo de edificações mais representativo do estoque. Por último passo, foram utilizados os parâmetros das médias de cada característica do cluster escolhido para a modelagem de uma edificação de referência. Após a formação da edificação de referência foram simuladas as temperaturas das zonas térmicas usando o programa *Energy Plus* em 4 orientações solares. Nas simulações foram avaliados os dois arquivos climáticos atualmente disponíveis em Joinville além do arquivo da cidade de Itapoá (cidade próxima). Optou-se pela utilização dos dados climáticos coletadas na estação do aeroporto da cidade. Os resultados dessas análises foram tabulados em graus hora de aquecimento e resfriamento, e incluídas comparações com a proposta do novo método de avaliação RTQ-R. Conclui-se que a edificação típica apresentou conforto médio de 62% a 74% das horas simuladas (caso mais crítico, para o mais favorável). Verificou-se também que seria possível classificar esta edificação como desempenho térmico intermediário na norma de desempenho de edificações ABNT 15.575.

Palavras-chave: Edificação de referência; Desempenho térmico; Simulação energética; *Clusters*;

ABSTRACT

Few buildings are designed with their thermal energy performance in mind. Among these few, there is almost no such concern in buildings of social interest. It is possible to optimize the performance of buildings in terms of their thermal behavior, which is directly linked to the consumption of electricity, even for low-income buildings, minimizing the share of expenses related to air conditioning by improving the thermal performance of buildings. One of the most common construction types seen in Joinville is twin houses. These houses, in most cases, fit as a building for low-income publics. This work developed a reference building of this typology through statistical modeling, especially with the use of clustering techniques. A survey of data was carried out, such as: areas and sizes of openings, among other geometric characteristics of architectural projects of 89 twinned units in the city, in order to determine a statistically representative model of this stock of buildings. The data collected were analyzed, and finally, methods of partitioning by clusters with hierarchical and non-hierarchical techniques were used. After the identification of 4 main clusters, the one that most contained buildings in their group was adopted. This was defined as the group of buildings most representative of the stock. Lastly, the parameters of the averages of each characteristic of the cluster chosen for the modeling of a reference building were used. After the formation of the reference building, the temperatures of the thermal zones were simulated using the Energy Plus program in 4 solar orientations. In the simulations, the two climate files currently available in Joinville were evaluated, in addition to the file for the city of Itapoá (nearby city). We opted for the use of climatic data collected at the city's airport station. The results of these analyzes were tabulated in degrees of heating and cooling, and comparisons were included with the proposed new RTQ-R evaluation method. It is concluded that the typical building presented average comfort of 62% to 74% of the simulated hours (most critical case, for the most favorable). It was also verified that it would be possible to classify this building as intermediate thermal performance in the building performance standard ABNT 15.575.

Keywords: Twin house; Thermal performance; RTQ-R; Energetic simulations; Climatic data files; Joinville.

Edificação geminada; Desempenho térmico; RTQ-R; Simulação energética; Arquivos climáticos; Joinville.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de energia por tipo de fonte.....	26
Figura 2 – Zona bioclimática 5	42
Figura 3 – Representação da transmissão térmica pelos materiais	43
Figura 4 – Efeitos dos bloqueadores solares	45
Figura 5 – Ventilação natural na edificação	46
Figura 6 – Histograma e densidade de temperaturas TBS	55
Figura 7 – Banco de dados	59
Figura 8 – Localização da amostra sorteada.....	62
Figura 9 – Localização da amostra por bairro	63
Figura 10 – Distância Euclidiana.....	73
Figura 11 – Agrupamento inicial.....	74
Figura 12 – Agrupamento por área	75
Figura 13 – Agrupamento por ambientes	76
Figura 14 – Algoritmo cotovelo (Elbow).....	77
Figura 15 – Planta baixa da edificação de referência.....	88
Figura 16 – Visualização tridimensional do projeto	90
Figura 17 – Tabela da NBR 15.575 com faixas de desempenho térmico	95
Figura 18 – Novo selo RTQ-R	97
Figura 19 – Renda por região e localização das unidades.....	100
Figura 20 – Densidade demográfica e localização das unidades.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção da população total residente (mil hab.) – Brasil e regiões	28
Tabela 2 – Projeção dos tipos de consumo em residências do Brasil.....	29
Tabela 3 – p-valor e diferença entre médias (3 arquivos climáticos).....	56
Tabela 4 – Intensidade acumulada dos ventos (m/s) x direção (º).....	58
Tabela 5 – Resumo do banco de dados.....	59
Tabela 6 – Relação da amostra populacional sorteada	61
Tabela 7 – Variáveis pesquisadas.....	65
Tabela 8 – Resumo dos dados faltantes	66
Tabela 9 – Formação final dos grupos	80
Tabela 10 – Resumo das características	82
Tabela 11 – Resumo das características da edificação de referência	89
Tabela 12 – Resumo das propriedades dos componentes construtivos	91
Tabela 13 – Graus hora de resfriamento e aquecimento	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Boxplot temperaturas de bulbo seco.....	54
Gráfico 2 – Intensidade acumulada dos ventos (m/s) x direção (º)	58
Gráfico 3 – Proporção de número de alvarás e área a construir por tipologia	60
Gráfico 4 – Boxplot das variáveis faltantes	67
Gráfico 5 – Distância de Mahalanobis.....	70
Gráfico 6 – Boxplot com Variáveis e outliers	71
Gráfico 7 – Boxplot com Variáveis após Mahalanobis	72
Gráfico 8 – Clusters pelo banco de dados CAR_AREA	78
Gráfico 9 – Clusters pelo banco de dados CAR_AREA, sem outliers	78
Gráfico 10 – Clusters pelo banco de dados CAR_QTD	79
Gráfico 11 – Clusters pelo banco de dados CAR_QTD, sem outliers	79
Gráfico 12 – Resumo da quantidade de amostras x banco de dados	82
Gráfico 13 – Boxplot da área total por cluster	84
Gráfico 14 – Boxplot da abertura por cluster	84
Gráfico 15 – Boxplot variáveis do cluster 2	85
Gráfico 16 – Medidas de resumo da equação característica (7)	87
Gráfico 17 – Resumo dos horários de funcionamento – schedules	92
Gráfico 18 – Variação de temperaturas ao longo de 27/jan. – dia típico verão	93
Gráfico 19 – Variação de temperaturas ao longo de 10/jun. – dia típico inverno	94
Gráfico 20 – Variação de temperaturas 16/fev. – dia típico médio de verão	95
Gráfico 21 – Graus hora de resfriamento e aquecimento.....	96
Gráfico 22 – Horas de desconforto devido a temperatura	98

LISTA DE ACRÔNIMOS ESIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE <i>Engineers</i>	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning</i>
DOE	<i>Department of Energy</i>
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GHR	Graus Horas de Resfriamento
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
HIS	Habitação de Interesse Social
NBR	Norma Brasileira da ABNT
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
MCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
UH	Unidade Habitacional
UNIVILLE	Universidade da Região de Joinville
ZB	Zona Bioclimática
ZN	Zona térmica

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância solar
A	Área
C _t	Capacidade térmica
TBS	Temperatura de bulbo seco
TBU	Temperatura de bulbo úmido
U	Transmitância térmica
UR	Umidade relativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVO GERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2 REVISÃO LITERÁRIA	24
2.1 IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS	24
2.2 CRESCIMENTO POPULACIONAL E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL	26
2.3 INÍCIO DOS ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	28
2.4 CONFORTO ADAPTATIVO	31
2.5 SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS COMP. x MÉTODOS PRESCRITIVOS	32
2.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ATRAVÉS DO SOFTWARE ENERGY PLUS...	35
2.6.1 Dados climáticos	35
2.6.2 Influência do clima e terreno	41
2.6.3 Influência dos materiais construtivos.....	42
2.6.4 Influência do sombreamento e orientação solar.....	44
2.6.5 Influência da ventilação natural	45
2.7 DADOS DE SAÍDA NAS SIMULAÇÕES – VARIÁVEIS ESTUDADAS.....	46
2.7.1 GHR – graus hora de aquecimento e resfriamento	46
2.8 ESTATÍSTICA APLICADA PARA DETERMINAÇÃO DA ED. DE REFERÊNCIA ..	47
2.8.1 Edificação de referência	48
2.8.2 Medidas de proximidade	49
2.8.3 Método de clusters	50
3 METODOLOGIA.....	52
3.1 TESTE ESTATÍSTICO – VALIDAÇÃO ARQUIVO CLIMÁTICO	535
3.2 DEFINIÇÃO DO TAMANHO AMOSTRAL	58
3.2.1 Amostragem aleatória simples	60
3.3 DADOS PESQUISADOS.....	58
3.4 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS	58
3.5 FORMAÇÃO DOS CLUSTERS	67

3.5.1 Escolha Inicial de variáveis e banco de dados	67
3.5.2 Normalização dos dados	68
3.5.3 Verificação de outliers	69
3.5.4 Montagem dos clusters	72
3.6 MONTAGEM DA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA	81
3.6.1 Desenvolvimento de modelo – seleção de variáveis explicativas	83
3.7 PARÂMETROS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	88
3.7.1 Parâmetros principais	88
3.7.2 Parâmetros da envoltória - construtivos	90
3.7.3 Parâmetros da ocupação	88
4 RESULTADOS	925
4.1 GRAUS HORA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO	98
4.2 ANÁLISE DAS EDIFICAÇÕES COM BASE NA GEOLOCALIZAÇÃO	101
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

A construção civil responde por importante função econômica e social no conjunto das atividades econômicas do país. As edificações, têm por características, elevado impacto no consumo de energia e água. Na medida em que as construções são pensadas de forma coerente com o ambiente em que estão inseridas, haverá menor consumo de recursos e menores custos de manutenção tanto em termos de energia, água e materiais (LAMBERTS *et al.*, s.d.).

Esse conceito é bastante difundido no meio técnico para os engenheiros e arquitetos, bem como no meio empresarial, representado pelas construtoras e incorporadoras. Entretanto construções sustentáveis ainda encontram enormes barreiras no Brasil. Uma das causas é o desconhecimento do custo das principais soluções. A análise do custo global de um edifício é a melhor forma de balancear os resultados econômicos e ambientais dos projetos no longo prazo, mudando a abordagem atual em que o custo inicial das alternativas recebe o maior peso na tomada de decisão.

Nas edificações, o setor residencial apresenta grande relevância com respeito ao consumo energético. E o Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (BRASIL; MME; EPE, 2007) mostra uma projeção da taxa de crescimento do setor residencial variando de 5,3% a.a. a 4,3% a.a.).

A escassez de recursos, somada com o aumento da demanda do consumo de energia, justifica a necessidade de se estudar as soluções construtivas que melhor se adaptem ao clima local, no caso à cidade de Joinville.

Uma construção sustentável representa um conjunto de práticas adotadas antes, durante e após os trabalhos de construção com o intuito de obter uma edificação que agrida o meio ambiente o mínimo possível, que reduza os custos de construção e que promova desenvolvimento social da comunidade local.

Conforme Montes (2016) muitas edificações não respondem de maneira adequada às condições climáticas onde estão inseridas, em especial edificações populares, não proporcionando o conforto térmico desejado pelo morador.

A solução comumente empregada consiste no uso extensivo de sistemas de climatização de ar, que consomem bastante energia elétrica. Nas edificações residenciais, o condicionamento artificial de ar já figurava entre os três principais consumidores de eletricidade desde 2005 (ELETROBRÁS; PROCEL, 2007).

Entretanto é possível otimizar o desempenho das edificações quanto ao seu desempenho térmico, o qual está diretamente ligado ao consumo de energia elétrica, mesmo para edificações de baixa renda. A parcela destinada ao condicionamento de ar poderia ser minimizada através da melhoria do desempenho térmico das edificações (PEREIRA, 2014).

Poucas são as edificações que foram projetadas pensando no seu desempenho termo energético. Dentre essas poucas, é quase inexistente essa preocupação nas edificações de interesse social, que em boa parte são construídas no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida. Um dos grandes desafios é conhecer o custo de implantação de medidas economizadoras, e como adaptá-las para realidades de projetos de baixa renda. Desta forma propõe-se justificar a implementação de medidas pelo viés econômico, demonstrando que soluções sustentáveis podem ser adotadas sem grandes impactos nos custos de construção.

Conforme Walls *et al.* (2017) estudos sobre sustentabilidade em edificações encontraram uma correlação entre um maior preço de venda para residências com parâmetros de eficiência energética o que justifica a implantação de medidas sustentáveis por parte dos empreendedores.

Entretanto Ramsdella *et al.* (2015) comentam que países em desenvolvimento como África do Sul, Brasil e México obtiveram progresso no aumento de construções para famílias de baixa renda, mas a eficiência energética foi deixada de lado nessas tipologias. Consideram como principal razão a necessidade de alto investimento inicial e a ausência de informações sobre os benefícios operacionais e redução dos custos de uso e manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação.

Segundo dados da pesquisa nacional por amostra de domicílio contínua - PNAD Contínua (IBGE, 2017) o rendimento domiciliar per capita médio do ano de 2016 no estado de Santa Catarina foi de R\$ 1458. A Fundação Getúlio Vargas define a classe econômica populacional como sendo D, para rendas entre R\$ 1255 e R\$ 2004 mensais (FGV, 2014). Portanto a maior parte dos catarinenses estão inseridos nesta classe, e nos requisitos do programa de financiamento habitacional minha casa minha vida. Consequentemente, a maior parte dos catarinenses estão comprando e morando em edificações que não atendem as expectativas atuais de conforto e eficiência.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi simular computacionalmente o desempenho térmico de uma edificação de referência, do tipo geminada, modelada estatisticamente com o uso de *clusters* para a cidade de Joinville.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Pesquisar o tamanho populacional e definir as amostras de edificações geminadas construídas na cidade de Joinville entre setembro de 2016 e agosto de 2017.
- Desenvolver um modelo de edificação geminada que melhor representava esta tipologia na cidade de Joinville, chamado de edificação de referência.
- Pesquisar as soluções construtivas e materiais tradicionalmente utilizadas nas cidades brasileiras.
- Realizar a simulação energética através do software *Energy Plus* para obtenção dos resultados de graus hora de aquecimento e resfriamento do modelo simulado, bem como temperaturas internas nas zonas térmicas para o clima da cidade de Joinville.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho é desenvolvida em quatro capítulos. O primeiro capítulo contém a introdução que aborda o tema com descrição da situação atual em relação à eficiência energética nas edificações geminadas da indústria da construção civil, a proposta de pesquisa, identificação dos objetivos, e as justificativas.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica e uma revisão bibliográfica sobre o contexto da construção civil no Brasil, do avanço dos estudos sofre consumo de energia em edificações, softwares de simulação energética, arquivos de entrada e saída das simulações, fatores que influenciam a envoltória da edificação.

O capítulo 3 é composto pela apresentação detalhada da metodologia para a pesquisa. Neste capítulo já foram inseridos alguns resultados da parte estatística e

composição do banco de dados para ajudar no esclarecimento de sua formação. O foco do capítulo é sobre a metodologia para construção de edificações de referência.

No capítulo 4 é realizada análise dos resultados obtidos pelas simulações energéticas. E por fim encerrando a pesquisa, o capítulo 5 apresenta as conclusões e deficiências encontradas para adequações em pesquisas futuras.

2 REVISÃO LITERÁRIA

Este capítulo trata de uma breve revisão da literatura relacionada a eficiência energética em edificações habitacionais. Inicia-se com alguns dados relacionando a economia de energia, através da melhoria na eficiência energética das edificações, como sendo função da necessidade humana de controlar os recursos naturais disponíveis. Após histórico da evolução dos estudos do tema no Brasil, comenta-se sobre o conforto adaptativo, que aborda aspectos psicológicos e a adaptabilidade das populações ao clima local, o que de uma certa forma, é um fator biológico que permite uma redução no consumo de energia das edificações, através de aceitação de condições não ideais de conforto térmico, mas que evitam o uso intensivo de climatização. E o capítulo é finalizado com tópicos relacionados a simulação computacional de eficiência energética em edificações residenciais, destacando o simulador utilizado, as variáveis de entrada e, resultados (saídas) esperados das simulações, e como utilizar esses resultados como forma de se caracterizar a eficiência energética de uma residência.

2.1 IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

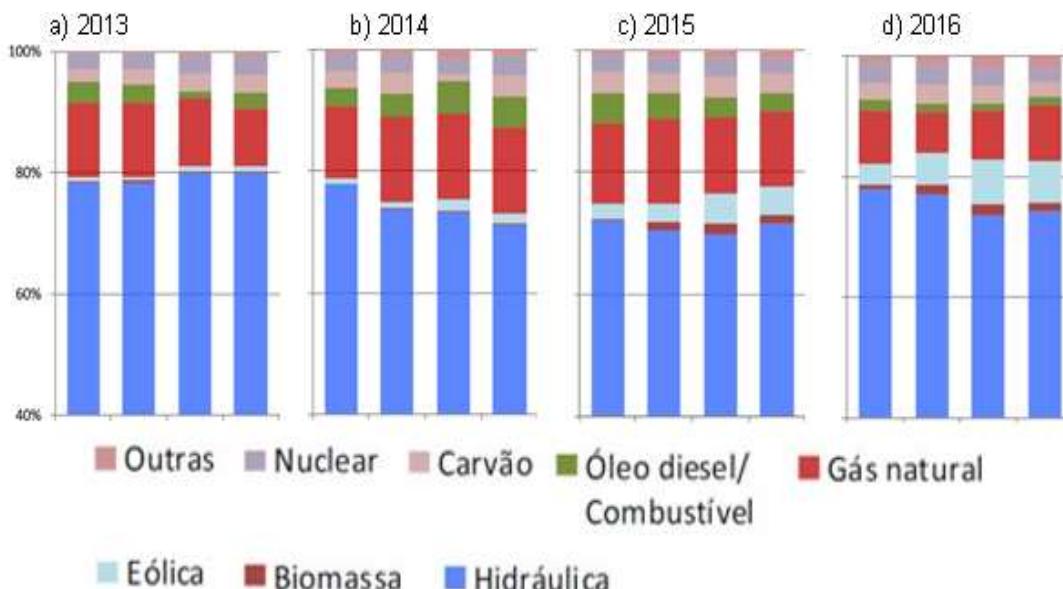
O aumento por soluções arquitetônicas energeticamente mais eficientes e adequadas em relação ao clima demonstram a preocupação com o desempenho térmico nas edificações e, consequentemente, com a eficiência energética desses.

De acordo com Lamberts (2014), eficiência energética pode ser entendida como um atributo ligado à edificação que representa seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Os impactos ambientais gerados pelo uso descontrolado dos recursos energéticos fizeram com que surgisse a necessidade da análise de eficiência energética de uma edificação, a partir de projetos que atendem as necessidades dos usuários por meio do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, reduzindo impactos ambientais e gastos energéticos da edificação.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2017) informa sobre os tipos de geração de energia elétrica presentes no Brasil e divididos trimestralmente para o período de 2013 a 2016 (Figura 1).

Figura 1 - Geração de energia por tipo de fonte



Fonte: ANEEL (2017).

A construção civil é uma das atividades que tem se modificado para respeitar os princípios da sustentabilidade, adotando novas tecnologias para diminuir os impactos ao meio ambiente (SANTOS, 2013).

Apesar de serem muito úteis, representando uma mudança de mentalidade, essas medidas ainda são consideradas pontuais no Brasil. Observa-se que na construção civil internacional a tendência de considerar o meio ambiente já está presente não só pelas leis e normas a serem seguidas, mas pela escassez de recursos que exige melhor controle e uso racional dos materiais (LAMBERTS *et al.* sd).

Lamberts *et al.* (2010, p. 2), comentam:

É dentro desta perspectiva que aparecem as chamadas edificações sustentáveis, concebidas para fazer o uso racional de recursos naturais, utilizar materiais ecologicamente corretos e alterar o mínimo possível o ambiente no qual estão inseridas. O primeiro ponto a se considerar na busca deste tipo de edificação é que as preocupações devem começar desde o projeto, prosseguirem durante a construção e participarem da etapa de utilização. O projeto (concepção) da edificação torna-se uma etapa fundamental, quando já devem ser considerados aspectos ambientais, o entorno e a gestão dos recursos. O momento da especificação dos materiais também é importante, onde deve-se privilegiar materiais naturais e/ou pró-mídia ambiente e recicláveis em geral.

É pela teoria da escassez dos recursos, princípio fundamental da economia, a consequência de uma maior preocupação à racionalização do consumo de energia. Carlo (2008), comenta que além de representar uma economia para o consumidor também evita impactos ambientais e maior investimento do governo na ampliação da oferta de energia.

Segundo Carlo (2008) o consumo de energia da edificação é resultante da troca energética da envoltória com o meio ambiente, da forma de sua ocupação, do uso de equipamentos e da iluminação artificial. Todas essas variáveis determinam o grau de intensidade do uso de sistema de condicionamento de ar, um dos principais responsáveis pelo gasto de energia elétrica das edificações.

Com o crescimento populacional e as tecnologias cada vez mais acessíveis, a energia consumida no mundo cresce a cada ano. O crescimento da demanda energética é realidade tanto em países desenvolvidos quanto subdesenvolvidos, sendo que em grande parte do mundo o setor de edificações residenciais é responsável por consumir um terço da demanda, tornando o consumo de energia e busca por construções mais eficientes um dos temas mais debatidos nas últimas décadas. Kapsalaki, Leal e Santamouris (2012), por exemplo, procuraram desenvolver um método para avaliação de casas autossuficientes em energia, utilizando como motivação o consumo atual das residências nos países desenvolvidos, onde segundo eles, a demanda de energia oscila entre 30% e 40%, sendo em sua maioria eletricidade, e dessa forma, o setor é o responsável por grande parte da emissão de CO₂ na atmosfera.

O aumento da demanda por energia elétrica no Brasil é impulsionado pela elevação do poder aquisitivo da população, que possibilita a compra de bens de consumo que proporcionam conforto, como, por exemplo, aparelhos de ar condicionado (NATURESA 2011).

2.2 CRESCIMENTO POPULACIONAL E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL

Conforme o Ministério de Minas e Energia (MME) (2014) ocorre atualmente a tendência mundial de crescimento populacional da população brasileira, onde estima-se que o Brasil atinja o chamado “crescimento zero” por volta de 2062. Dessa forma, até 2062, o Brasil ainda apresentaria um potencial de crescimento populacional. Na

Tabela 1 estão descritos a população brasileira por região, e a expectativa de crescimento até o ano de 2030.

Tabela 1 – Projeção da população total residente (mil hab.) – Brasil e regiões

Região	2015	2020	2025	2030
Norte	17.870,0	19.185,0	20.398,9	21.492,7
Variação (% ao ano)	1,69	1,43	1,23	1,05
Nordeste	56.808,1	59.208,5	61.427,7	63.427,7
Variação (% ao ano)	0,95	0,83	0,74	0,64
Sudeste	89.158,9	93.589,9	97.678,9	101.363,6
Variação (% ao ano)	1,13	0,97	0,86	0,74
Sul	30.264,3	31.628,6	32.887,0	34.020,9
Variação (% ao ano)	1,02	0,89	0,78	0,68
Centro-Oeste	15.461,6	16.473,7	17.408,0	18.249,9
Variação (% ao ano)	1,50	1,28	1,11	0,95
Brasil	209.563	220.085	229.800	238.554
Variação (% ao ano)	1,14	0,98	0,87	0,75

Fonte: MME (2017).

Como consta na cartilha do selo Procel Edifica (ELETROBRÁS PROCEL, 2013), o potencial de economia de energia elétrica em edificações existentes é estimado em 30%, enquanto em prédios novos pode alcançar até 50%, quando se considera a eficiência energética nas edificações desde a fase de projeto.

Existem várias estratégias e fatores capazes de reduzir o consumo de energia nas edificações através de melhorias no desempenho termo energético delas. O desempenho termo energético das edificações residenciais é influenciado por diversos fatores como: características arquitetônicas, propriedades construtivas da envoltória da edificação, orientação solar, equipamentos elétricos, especialmente condicionadores de ar, sistemas de iluminação, sombreamento externo, condições climáticas, e o comportamento do usuário com suas interações entre os sistemas (SORGATO, 2015).

Sorgato (2015) correlaciona o comportamento dos usuários, e seus estilos de vida com o consumo de energia de edificações residenciais. São vários os fatores influentes como: composição da família, idade, hábitos, costumes, saúde, educação que afetam o consumo final de energia.

O estudo de Invidiata e Ghisi (2016), aponta que até o ano de 2050 ocorrerá

um aumento entre 56% a 112% na demanda para resfriamento e aquecimento da mesma residência unifamiliar construída nas cidades de Curitiba, Florianópolis e Belém. Na pesquisa foram realizadas as seguintes considerações: aumento da temperatura aliado às mudanças climáticas, aplicação de medidas de eficiência energética na envoltória, modelo do conforto adaptativo da ASHARE 55 que estipula temperaturas limites de conforto térmico, e possibilidade de utilizar ventilação natural na residência.

Outro estudo, este do MME (2016), relaciona o consumo dos principais eletrodomésticos nas residências brasileiras, (Tabela 2). É importante notar a representatividade do consumo dos aparelhos de ar condicionado, correspondem em cerca de 16,7% do consumo de energia total nos períodos. Nesta projeção, estão considerados os aumentos da demanda de uso (pelo aumento da população), mas também o aumento da eficiência desses equipamentos.

Tabela 2 – Projeção dos tipos de consumo em residências do Brasil

Equipamento (GWh)	2014	2015	2019	2024
Ar condicionado	17.126	18.658	26.230	36.216
Refrigerador	22.396	22.609	23.329	24.685
Freezer	5.964	5.865	5.508	5.428
Lâmpadas	18.552	18.019	12.670	9.856
Chuveiro Elétrico	21.324	21.671	22.708	23.979
Máquina lavar roupas	2.914	2.999	3.385	3.729
Televisão	19.232	20.883	23.152	25.472
Outros ⁽²⁾	24.542	24.642	39.285	67.829
Total	132.050	135.346	156.267	197.194

Fonte: MME (2016).

Contrasta com a informação do PNE 2030 realizada em 2006, nesta referência, estima-se que a energia elétrica consumida para o condicionamento ambiental dos domicílios brasileiros corresponderia a apenas cerca de 3% do consumo total de energia elétrica no setor residencial.

2.3 INÍCIO DOS ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Uma edificação eficiente é aquela que, comparada com outra edificação não eficiente, atende da mesma forma as exigências do usuário, porém com um menor

consumo energético (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para que este conceito de edificação se torne mais presente no cotidiano da construção civil, são necessárias mudanças desde a fase de concepção de projeto, até a sua execução e uso. Com a necessidade de se desenvolver economicamente e ao mesmo tempo poupar energia, diversos países investiram em pesquisas envolvendo a eficiência energética das edificações.

No ano de 1953 foi criada a associação *Council International for Buildings* (CIB) de forma a estimular a cooperação entre pesquisas sobre edificações e construção civil entre diversos países. Porém somente pesquisas não são suficientes para garantir o desempenho básico das edificações, assim como forma de verificar que o setor da construção civil está atendendo aos critérios de desempenho térmico e eficiência energética é aplicando normativas, avaliando e classificando a edificação.

As primeiras normas para avaliação do desempenho energético das edificações começaram a surgir em 1970 nos países desenvolvidos, e até os dias atuais estes países, em especial os de climas frios, são os que mais adotam as avaliações, que em sua maioria são obrigatórias. Nos Estados Unidos em 1975 foi lançada pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) a primeira versão da norma ASHRAE 90.1, que conta atualmente com revisão e lançamento atualizado a cada três anos, sendo a última versão disponibilizada em 2016 (ASHRAE, 2016). A norma norte americana, traz os requisitos mínimos de eficiência energética para edificações, com exceção daquelas consideradas pequenas residências (residências unifamiliares ou multifamiliares de até três pavimentos). Entre os critérios e sistemas avaliados estão a envoltória, iluminação, climatização e ventilação, aquecimento de água, sistemas mecânicos possivelmente instalados e outros equipamentos.

Os estudos referentes ao desempenho térmico e energético das edificações começaram também na década de 70 na União Europeia, mas foi no ano de 2007 que surgiu a primeira versão da diretiva europeia sobre eficiência energética. A nova versão desta diretiva foi lançada no ano de 2010, tendo como objetivo promover a melhoria da eficiência energética nas edificações e entre as metas, tornar até o final de 2020 todas as novas edificações com necessidade quase nula de energia.

No Brasil, a preocupação em poupar energia começou a partir do ano de 2001, com a promulgação da Lei da Eficiência Energética, incentivo do governo para a implementação das pesquisas envolvendo o desempenho energético de diversos

produtos, entre eles as edificações (BRASIL, 2001). Em 2005, como tentativa de trazer para o mercado o atendimento de requisitos mínimos de desempenho térmico nas edificações, foi lançada a NBR 15220, que apresenta as diretrizes construtivas para as edificações residenciais de interesse social (ABNT, 2005). A norma dividiu o país em oito zonas bioclimáticas, agrupando cidades com características climáticas semelhantes e definindo as estratégias para ventilação natural, sombreamento de aberturas e propriedades térmicas dos materiais da envoltória.

Em países em desenvolvimento, as pesquisas para a implantação de etiquetas de avaliação da eficiência energética das edificações surgiram por volta de 1990, mas com baixos incentivos e em sua maioria constituindo de avaliações voluntárias, onde poucas edificações passam pelo processo de classificação da sua eficiência. Nestes países, a maioria dos regulamentos para avaliação da eficiência energética das edificações residenciais avaliam os sistemas de climatização, aquecimento de água, iluminação e envoltória (LAMBERTS, 2010).

Segundo o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Ministério das Minas e Energia - MME (2014) o início dos estudos nacionais para eficiência energética data de 1984, quando o Inmetro juntamente com o Ministério de Minas e Energia começa uma discussão sobre a conservação de energia, informando os consumidores sobre a eficiência energética de alguns produtos eletrodomésticos. Esse esforço deu início ao Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE.

Entretanto, segundo Lamberts *et al.* (2010) o desempenho energético em benefício da promoção do uso racional da energia elétrica nas edificações, passa a ser abordado apenas anos mais tarde, com a criação do Procel Edifica pela ELETROBRÁS/ PROCEL em 2003 através de uma atuação conjunta de setores como universidades, centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento.

Nas pesquisas envolvendo a Casa Eficiente, foram realizadas simulações realizadas antes da construção. Foram avaliados dez modelos, com a mesma planta e volumetria da residência, alterando parâmetros construtivos e de uso e ocupação. Dessa forma, pôde-se verificar a influência de cada estratégia de interesse, tais como cobertura com isolamento térmico, parede dupla e com isolamento, proteção solar nas aberturas, vidros duplos, equipamentos eficientes e ventilação natural. Como resultado destas primeiras simulações, concluiu-se que é possível diminuir o consumo energético e melhorar as condições de conforto térmico para os usuários.

(LAMBERTS *et al.*, 2010).

A edificação é resultado do conjunto de componentes construtivos que foram utilizados e os sistemas instalados. Assim, para que a edificação tenha um bom desempenho térmico e energético, se faz necessária a escolha dos seus componentes de acordo com o clima em que ela se encontra (INVIDIATA *et al.*, 2016).

As edificações quando construídas em um determinado local, podem apresentar um ótimo custo-benefício, porém quando levadas para outra região, a sua instalação não compensa financeiramente, sendo necessário estudar não só as condições climáticas do local, mas também a viabilidade econômica e a disponibilidade dos materiais na região. Como forma de tornar mais efetiva a preocupação com o clima da região em que a edificação está inserida e o desempenho térmico dela, foi lançada a NBR 15220, norma brasileira que contém os requisitos mínimos de desempenho térmico para edificações de acordo com a sua zona bioclimática. Após seu lançamento, diversos pesquisadores começaram a estudar os limites impostos pela normativa.

2.4 CONFORTO ADAPTATIVO

Segundo Sorgato (2015) é crescente o estudo sobre o conforto adaptativo, em especial para países subtropicais. Em países tropicais, onde o uso da ventilação natural é disseminado como fator de condicionante térmico, o conforto adaptativo tem sido amplamente referenciado como modelo preditivo de conforto para estes tipos de edifícios. O modelo adaptativo de conforto térmico é uma abordagem que não parte da teoria da troca de calor, mas das adaptações comportamentais que os ocupantes realizam para ficarem confortáveis. Os ocupantes se adaptam ao ambiente, fazendo alterações em suas vestimentas, posturas e atividades; e, também, adaptam o seu ambiente para a sua exigência atual com ações como abrir/fechar janelas.

A metodologia do conforto adaptativo considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício. Esta relação é especialmente útil ao ser aplicada quando um edifício está operando sem qualquer sistema de climatização artificial e permite que os projetistas verifiquem, por meio de simulação térmica, se um projeto é capaz de proporcionar conforto térmico durante uma estação quente, sem refrigeração mecânica (HUMPHREYS, RIJAL e NICOL, 2013).

Outro fator capaz de reduzir o consumo de energia é o aproveitamento eficiente da ventilação natural que diminui a taxa de desconforto por calor, incrementando as perdas por convecção e corrigindo o excesso de umidade, o que é demonstrado no estudo de Versage (2009).

Conforme Grünberg e Tavares, 2013, um dos primeiros modelos de estratégias bioclimáticas já considerando as temperaturas internas dos ambientes foi pesquisado por Givoni. Os limites da zona de conforto no ambiente interno propostas por Givoni são baseadas nas expectativas de temperatura para edificações sem condicionamento de ar e no local onde estas são construídas.

As estratégias incluídas na carta de Givoni são a ventilação diurna, massa elevada com ou sem ventilação noturna e resfriamento evaporativo. No caso das zonas de ventilação, para velocidade de vento de 2 m/s, a temperatura aceitável pode ser estendida para até 32°C.

2.5 SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS COMPUTACIONAIS x MÉTODOS PRESCRITIVOS

Antes de simulações computacionais complexas é pertinente observar que existe no Brasil um método normatizado de análise de eficiência energética em edificações mais simplificado, chamado de RTQ.

A história do selo remonta o programa de etiquetagem brasileira que em novembro de 2010, aprova o RTQ-R estabelecendo condições para etiquetagem quanto à eficiência energética em edificações com fins habitacionais (INMETRO, 2013).

Pesquisadores como Fagundes (2014) realizaram a aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética e desempenho térmico de uma tipologia de habitação multifamiliar de interesse social inserida em diferentes zonas bioclimáticas do Brasil. Em seus estudos propuseram alterações nas edificações para elevar os níveis de eficiência de “D” e “E” para “A”. Conclui afirmando que alterações simples no projeto e na escolha dos materiais da habitação podem gerar impacto significativo na economia de energia. Para a ZB5, zona bioclimática da região de Joinville, destaca a necessidade de as unidades térreas possuírem laje em contato direto com o solo para um maior conforto no verão.

Para a determinação da eficiência em edificações pelo método prescritivo do

RTQ-R, é necessário obter uma somatória entre a análise do atendimento a pré-requisitos iniciais, pela indicação do desempenho da envoltória, do desempenho para o aquecimento de água e das bonificações. (CECHINEL, 2017).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) preconiza a utilização de simulações computacionais das temperaturas de inverno e de verão nos ambientes de longa permanência (Dormitórios e Salas) para atestar capacidades térmicas e de transmitância dos materiais que não estejam compatíveis com os valores tabelados pela ABNT NBR 15575. Isto ocorre em sistemas construtivos inovadores onde ainda não foram testadas as propriedades de sua envoltória. Nestes casos recomenda-se a simulação através dos seguintes critérios:

- Orientação: conforme implantação ou com condição mais crítica possível;
- Verão: janelas dos dormitórios ou da sala voltado para oeste e outra parede voltada para norte;
- Inverno: janela do dormitório ou da sala voltada para sul e outra parede voltada para leste;
- Obstrução do entorno: considerar paredes externas e janelas sem obstruções. Caso haja outras edificações do mesmo complexo, essa interação pode ser considerada;
- Absortância solar da cobertura: utilizar o especificado em projeto;
- Absortância solar das paredes externas: utilizar o especificado em projeto ou na sua ausência simular cor clara ($\alpha = 0,30$), média ($\alpha = 0,50$) e escura ($\alpha = 0,70$).

Na falta de métodos mais qualificados, o RTQ-R atende a sua finalidade, que é identificar pontos na edificação que possam ser alterados a fim de melhorar o comportamento térmico dela. Entretanto é apenas através da simulação computacional, que engenheiros podem quantificar os benefícios de diversas alternativas de projeto, antes mesmo de sua implementação, evitando os custos de execução de uma proposta que possa não ter o retorno econômico desejado (WESTPHAL; LAMBERTS, 2008).

Segundo Mendes *et al.* (2005, p. 2)

Avaliar o desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. O advento do computador foi fundamental para o desenvolvimento dos modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações, permitindo a simulação de diferentes

cenários.

Matos et. al (2007) utilizaram o programa computacional *Energy Plus* para avaliar os limites estabelecidos pela norma em uma edificação na cidade de Florianópolis, zona bioclimática 3, e através dos resultados observaram que a norma garante um bom desempenho térmico.

Yoshida (2006) estudou uma edificação localizada em São Paulo, também zona bioclimática 3, e da mesma forma que a pesquisa anterior, encontrou um bom desempenho térmico aplicando os limites estipulados pela norma NBR 15220, porém alguns pontos, segundo a pesquisadora, merecem maior atenção, como por exemplo o fato dos requisitos não considerarem a influência da proporção da edificação para a escolha dos valores limitantes de transmitância térmica da parede, visto que além da absorção térmica, o volume também influencia significativamente neste parâmetro.

No estudo de Silva e Ghisi (2014) foi simulada uma residência unifamiliar de baixa renda no *Energy Plus* a fim de avaliar a influência dos parâmetros não considerados nos critérios da norma referentes ao “dia típico” da simulação, ou seja, o dia com as características extremas do ano. Foi observado que para certas variáveis, como tipo de céu e modelo da habitação, que a norma não estabelece valores limitantes. Estes fatores, influenciam significativamente no desempenho térmico mínimo aceito e dessa forma podem ser manipulados para que a edificação atenda aos critérios.

Sorgato et. al (2014) também buscaram simular uma residência unifamiliar no *Energy Plus* utilizando os padrões indicados pela NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico. A pesquisa analisou a temperatura do solo e o seu contato com o piso nas condições de verão e inverno, variável essa não considerada pela normativa. Os resultados demonstraram que mais uma vez são negligenciadas características importantes da edificação.

A simulação computacional permite analisar o desempenho de uma edificação com relação à: tipologia da edificação, seus componentes construtivos, clima, sistemas instalados, forma como os usuários se comportam. Diante disso, é possível observar que a simulação é uma importante ferramenta na avaliação dos impactos que determinadas estratégias podem gerar, pois pode-se escolher de forma precisa quais as medidas de eficiência energética a serem utilizadas e qual o seu impacto na edificação estudada, antes mesmo de sua implantação (CARLO; LAMBERTS, 2006). Lamberts et al (2010) comentam que as simulações computacionais de edificações

são importantes ferramentas para análises detalhadas de desempenho termo energético dos componentes construtivos, de eficiência energética, do uso da ventilação natural e do uso do aquecimento solar passivo.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005) também consideram que:

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Os programas de simulação do desempenho energético de edificações começaram a surgir nos países europeus e nos Estados Unidos a partir da década de 70, com o advento da computação aliado com a crise do petróleo que fez com que os países mais desenvolvidos buscassem alternativas para a redução do consumo de eletricidade, visto que a principal fonte desta energia era o petróleo (MENDES et. al, 2005).

Os primeiros programas a surgir foram o NBSLD, DOE2, BLAST, RADIANCE e ESP-r, sendo os quatro primeiros desenvolvidos nos EUA e o último na Escócia, Reino Unido. Posteriormente, com a união dos softwares DOE-2 e BLAST, surgiu o *Energy Plus* elaborado com o apoio do Departamento de Energia dos Estados Unidos e com domínio gratuito. O *Energy Plus* possibilita ao usuário informar os dados de entrada e simulada a edificação são demonstrados os resultados, como por exemplo, a demanda de resfriamento ou aquecimento dos ambientes, sua capacidade de ventilação natural, iluminação, cálculo das cargas térmicas, ou seja, o desempenho de todo o edifício e seus sistemas (DOE, 2017).

2.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ATRAVÉS DO SOFTWARE *ENERGY PLUS*

Através das simulações, é possível prever o comportamento dos parâmetros construtivos, avaliar o efeito da ventilação natural e sistemas de condicionamento de ar de forma a otimizar o funcionamento da edificação.

As simulações podem apresentar divergências em relação a medições reais dos parâmetros. Isto é conhecido segundo Tondo (2017) como Gap de Desempenho,

para que o simulador seja considerado adequado. O INMETRO (2013) apresenta os seguintes requisitos indicados pelo RTQ-R para o uso de um programa de simulação computacional:

- a) ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- c) modelar 8760 horas por ano;
- d) modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- e) modelar efeitos de inércia térmica;
- f) permitir a modelagem de multi zonas térmicas;
- g) ter capacidade de simular os efeitos das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- h) caso a edificação proposta utilize sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar utilizados na edificação;
- i) determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- j) calcular as horas não atendidas pelo sistema de condicionamento de ar;
- k) calcular as curvas de desempenho de carga parcial para o sistema de condicionamento de ar;
- l) calcular as curvas de correção de capacidade e eficiência para o sistema de aquecimento e resfriamento;
- m) caso a edificação proposta utilize ventilação natural, o programa deve permitir modelar todos os dados de entrada referente ao funcionamento da ventilação natural na edificação;
- n) produzir relatórios horários do uso final de energia.

O simulador adotado para este trabalho é o programa *Energy Plus* versão 8.8.0 desenvolvido dentro do Departamento de Energia dos Estados Unidos pelo laboratório *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, e atende os requisitos descritos acima. (DOE, 2018).

O programa *Energy Plus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir da união dos programas, BLAST e DOE-2. Este programa

utiliza o balanço de calor do BLAST com o modelo de ar condicionado genérico, novos algoritmos de transferência de calor e fluxo de ar entre zonas enquanto os cálculos da iluminação natural provem do programa DOE-2, desenvolvido para simulações de capacidade de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas.

O programa possui capacidade de simulação diferenciada, integra vários módulos (fotovoltaico, ventilação natural, iluminação natural, entre outros). O programa calcula a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um edifício usando vários sistemas e fontes de energia. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético da edificação e no clima onde a edificação está inserida (LABEEE, 2009).

Para realizar uma simulação térmica é importante ter conhecimentos de volumes de controle, conservação de massa e energia e transferência de calor. A simulação térmica pode ser dividida em duas categorias: cálculo de carga térmica e a análise energética. É possível analisar o comportamento térmico da edificação frente a diferentes materiais de construção, já a análise energética auxilia na avaliação do consumo e demanda de energia.

Embora a simulação computacional represente um auxílio para a tomada de decisões, é uma ferramenta pouco utilizada pelos projetistas no Brasil. Um dos principais motivos é a interface pouco amigável dos softwares gratuitos, como o *Energy Plus*, que faz com que o usuário demore para entender e colocar em prática nos projetos, além da necessidade de maior conhecimento sobre as variáveis de entrada e saída e como elas influenciam no resultado da simulação (FONSECA, et al. 2010).

Diante dessa preocupação surgiram alguns *plug-ins* para auxiliar na compreensão dos modelos de simulação. Porém estes apresentam diversas limitações, pois devido às simplificações realizadas eles muitas vezes não permitem a inserção de todos os dados de entrada, utilizando como referência padrões pré determinados, o que pode afastar o resultado do real.

Inicialmente é construída a geometria da edificação no programa *SketchUp* através do *plugin Euclid*. Através dele é possível determinar a volumetria da edificação e suas superfícies, separando a edificação em zonas térmicas (ambientes). São informadas as superfícies expostas a intempéries, ao chão, e interfaces entre elas. Também são modeladas as aberturas e brises, beirais e outros

elementos que promovam obstrução, como por exemplo, edificações próximas ou grandes árvores.

Após esta etapa, o arquivo gerado em formato *idf* é importado para o compilador do *Energy Plus*. Dentro do programa existem módulos que permitem estimar o consumo de energia para aquecimento e resfriamento de um edifício considerando trocas térmicas com o exterior. Nele são informadas as cargas térmicas, sistemas de condicionamento de ar, padrões de uso e ocupação, e a envoltória da edificação. É dentro do programa que é feita a importação do arquivo climático que balizará toda a simulação.

Estarão indicados o contato com o solo (*Site:GroundDomain:Slab*), os materiais e elementos construtivos (*Material*, *Material:AirGap*, *WindowMaterial:Glazing*, *Construction*), as portas e janelas (*FenestrationSurface:Detailed*), os sombreamentos tipo brise (*Shading:Building:Detailed*), as cargas geradas (*People*, *Lights*, *ElectricEquipment*), os padrões de uso e funcionamento (*Schedule:Compact*) e a ventilação natural (*AirflowNetwork*).

A ventilação natural será controlada pelo intervalo de conforto proposto 18°C e 26°C, diferente do proposto pelo RTQ-R, que compreende o intervalo de 20°C a 26°C. A intensão de ampliar a faixa de conforto é a utilização dos conceitos de conforto adaptativo já descritos anteriormente, e conforme Grigoletti e Linck (2014) os usuários das edificações são mais tolerantes ao frio do que ao calor. Quando as temperaturas do ambiente externo ficam superiores ou inferiores ao intervalo, fazem com que as aberturas (janelas e portas) se fechem.

Já Grünberg e Tavares, 2013, ao estudar a carta climática de Joinville concluem que pelo método de Givoni de 1992, os resultados mostram que com temperaturas maiores que 29°C, ao se reduzir o índice de vestimenta e aumentar a velocidade do vento consegue-se atingir valores compatíveis com o conforto adaptativo, baseado na aclimatação de pessoas ao clima quente e úmido. Além disso, a velocidade do ar pode ser aumentada em temperaturas mais elevadas com ganho de conforto sem grande aumento de consumo de energia, pois a temperatura máxima para conforto está próxima da externa.

2.6.1 Dados climáticos

A disseminação de simulações computacionais no Brasil não é um sucesso

completo devido à ausência de arquivos climáticos para diversas cidades. Existem apenas arquivos EPW para 14 cidades brasileiras. Entretanto o Instituto Nacional de Meteorologia publicou dados climáticos simplificados para mais 206 cidades brasileiras. (WESTPHAL; LAMBERTS, 2008).

E conforme Tondo (2017) a falta de dados climáticos confiáveis é uma das grandes barreiras na área de simulação no Brasil. Esses dados são coletados em estações meteorológicas em ainda poucas cidades brasileiras. Boa parte dessas estações estão localizadas em aeroportos ou locais isolados que acabam por não refletir o microclima verdadeiro da cidade. Além disso, há dados faltantes e diversos outros erros nos bancos de dados climáticos disponíveis comprometendo a qualidade dos arquivos climáticos gerados e consequentemente a simulação energética.

Em abril de 2010 o INMET criou o BDMET – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, que poderia ser uma fonte de dados climáticos para desenvolvimento de mais arquivos climáticos brasileiros. Entretanto, conforme Roriz, esta alternativa não deu resultados, pois o BDMET aplicava diversas restrições para o uso dos arquivos, e lamentavelmente, sendo o INMET mantido pela sociedade brasileira, é difícil entender as razões que o levam a restringir o acesso a informações climáticas extremamente importantes para inúmeros campos de atividades econômicas, culturais e científicas. Após alguns contatos com o Departamento de Projetos de Eficiência Energética da Eletrobrás/Procel em dezembro de 2010, Roriz conseguiu os dados das estações automáticas do INMET e que foram disponibilizadas ao público em uma das páginas do site do Instituto (www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php). (RORIZ, 2012).

Estes dados, no entanto, apresentavam inúmeras lacunas (períodos de horas, dias ou mesmo semanas sem registro), e foi possível montar-se poucos anos inteiros, muitos deles a partir de 2007 ou 2008. Por este motivo, os arquivos resultantes apresentam baixa representatividade estatística das ocorrências climáticas, além de alguns valores obviamente errados. Roriz trabalhou esses dados faltantes de forma a produzir arquivos no formato EPW, que é o adotado pelo software *Energy Plus* produzindo o 1º arquivo climático de Joinville com dados da estação do INMET localizada no aeroporto da cidade.

Entre os diversos conceitos e métodos existentes para definição de arquivos climáticos computacionais, os arquivos EPW utilizam ou o TRY (*Test Year Reference*) ou o TMY (*Typical Meteorological Year*) para identificação do ano

climático de referência para cada localidade. Dispõe-se de uma sequência de dados históricos de vários anos, o método consiste em, para cada estação e cada mês, excluir-se sucessivamente os anos mais quentes e mais frios, até que reste apenas um, considerado como o mês típico do lugar. O TMY será formado pelos 12 meses selecionados, podendo ser estes meses de diferentes anos que utilizam o Test Year Reference (TRY), (RORIZ, 2012).

Outro arquivo em formato EPW, foi desenvolvido experimentalmente por Cidral e Henning (2018) na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, campus Joinville, um arquivo no formato EPW que contém os dados climáticos da cidade. Para tanto foram utilizados os dados disponibilizados pelo projeto SONDA – Sistema Nacional de Organização de Dados, mantido pelo INPE, e coletados pela estação solarimétrica no campus da Univille.

Caso inexista o arquivo climático da região de estudo, a recomendação da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) é que se empregue o arquivo climático disponível mais próximo em distância e latitude da cidade. Para a cidade de Joinville, era até então utilizado o arquivo da cidade de Itapoá, zona bioclimática ZB 5, desenvolvido por Roriz (2012).

Dentre as variáveis presentes no arquivo climático estão: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global sobre o plano horizontal.

Segundo o Anexo C da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais o arquivo climático de simulações computacionais deve possuir no mínimo as seguintes características: (CB3E, 2018)

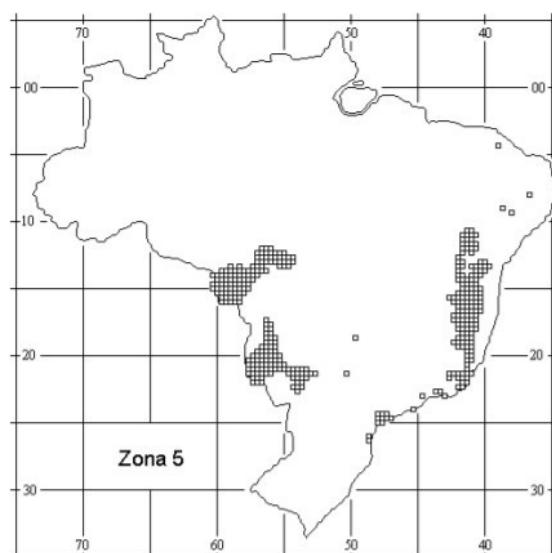
- a) fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação computacional, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;
- b) os dados climáticos devem ser representativos do grupo climático onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possuir arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;
- c) devem ser utilizados arquivos climáticos com formato INMET publicados. Caso contrário o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

2.6.2 Influência do clima e terreno

A norma NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3 (ABNT, 2005) cita que o território brasileiro está dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas para otimização do desempenho térmico das edificações nelas construída.

A cidade de Joinville está localizada na zona bioclimática 5, (figura 2), caracterizada por um clima quente e úmido em boa parte do ano. É para esta região climática que serão testados os modelos computacionais para simulação energética.

Figura 2 – Zona bioclimática 5



Fonte: NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3 (ABNT, 2005)

Hackenberg e Ramos apud Ficker (1965) comentam que desde a fundação da cidade de Joinville na metade do século XIX, no litoral norte do estado de Santa Catarina os rigores climáticos já eram registrados no início da colonização em cartas e relatórios, e a instalação dos primeiros colonos ocorreu no “ponto mais próximo do mar”, localizado em partes baixas e úmidas.

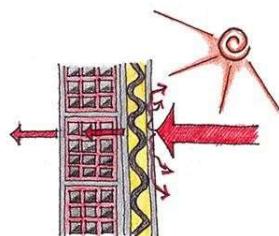
O centro urbano da cidade de Joinville se desenvolveu a oeste do morro Boa Vista, que forma uma barreira aos ventos provenientes do mar. A falta de ventilação influencia a temperatura e a umidade do ar, tornando o ambiente urbano quente e abafado.

2.6.3 Influência dos materiais construtivos

Conforme Michels, Lamberts e Güths (2008) no Brasil, em edificações residenciais térreas e em edificações do tipo sobrado, o maior ganho de calor ocorre através de seus telhados, uma vez que esta é a superfície mais exposta à radiação solar. Em um dia de verão típico, a incidência de radiação solar pode ser superior a 1000 W / m². Somados a isso, as edificações mais modestas têm telhados de amianto sem a inclusão de lajes que separam o pavimento do telhado com o pavimento habitável. Assim, a temperatura no interior da casa aumenta, o que pode causar desconforto térmico para os moradores e incentivar o uso de equipamentos para reduzir a temperatura interna do ar.

O impacto dessa incidência de radiação solar na carga térmica das edificações (figura 3) depende, entre outros fatores, das propriedades superficiais dos materiais de revestimento (PEREIRA, 2014). Portanto, conforme cita Michels, Lamberts e Güths (2008) o uso de materiais que minimizem o fluxo de calor entre o telhado e os ambientes internos é necessário para reduzir a temperatura e o consumo de energia das edificações.

Figura 3 – Representação da transmissão térmica pelos materiais



Fonte: PROJETO 3E, disponível em
<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

O relatório proposto por Teixeira et a. (2015) contendo levantamento das características construtivas utilizadas nas edificações residenciais brasileiras foi baseado na norma NBR 12721 (ABNT, 2006). Esta norma não apresenta distinção entre as tipologias e características construtivas por região geográfica ou zona bioclimática brasileira. A norma NBR 12271 estabelece três padrões construtivos: baixo, médio e alto padrão. Analisando as características construtivas das diferentes tipologias de edificações, percebe-se que a diferença está relacionada à área interna, ao número de pavimentos (no caso de edificações residenciais

multifamiliares), ao número de ambientes presentes em cada habitação e ao acabamento interno das unidades habitacionais. Portanto, as características construtivas no acabamento externo da edificação são muito parecidas podendo ser resumidas com as seguintes características:

Por meio da análise das características construtivas foi possível observar que não existem grandes diferenças, sejam em residenciais unifamiliares ou multifamiliares, edificações residenciais de baixo ou alto padrão. Além disso, percebe-se que as diferentes condições climáticas do Brasil não são levadas em consideração para diferenciação das características construtivas. A diferença entre o padrão construtivo das edificações residenciais brasileiras recai sobre os acabamentos internos, assim como na existência de elementos de sombreamento das aberturas.

2.6.4 Influência do sombreamento e orientação solar

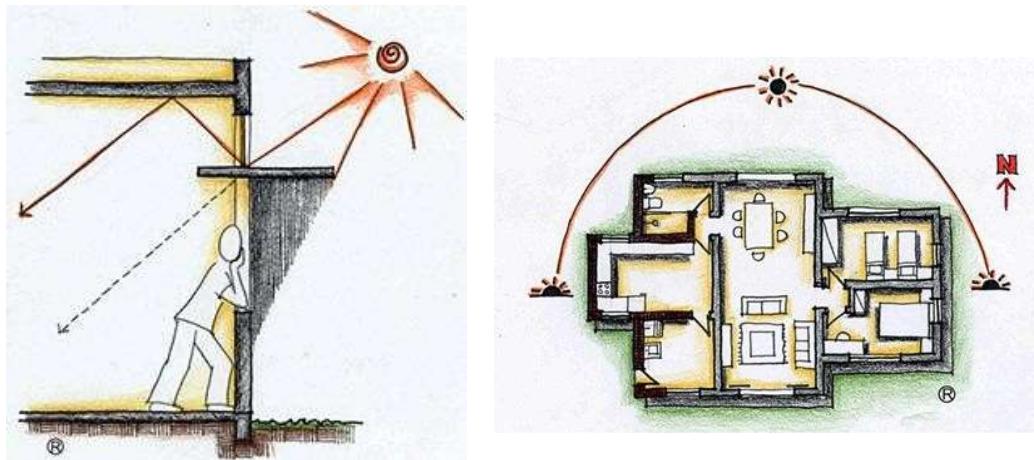
A radiação solar é a propagação de ondas eletromagnéticas. Sua componente denominada de radiação direta (ondas curtas) ao entrar em contato com superfícies, é absorvida e transformada em calor. Estas superfícies, por sua vez, emitem radiação de onda longa. Assim as trocas de calor por radiação são decorrentes de: (1) radiação direta; (2) radiação direta difusa no céu; (3) radiação direta refletida pelos terrenos próximos; (4) radiação de onda longa emitida pelas superfícies aquecidas; (5) radiação de onda longa refletida pelo céu.

A radiação solar interage com as superfícies translúcidas e opacas de formas diferentes. Toda onda ao encontrar uma superfície é parcialmente absorvida e parcialmente refletida, entretanto em superfícies translúcidas uma outra parcela dessa onda é transmitida diretamente ao interior do ambiente. Isto demonstra a vulnerabilidade dessas superfícies aos efeitos solares. Porém, quando essas superfícies são protegidas (sombreadas), é possível reduzir o impacto dessa radiação. (CASTAÑO, apud OLGAY, 2017)

O sombreamento é uma das principais estratégias bioclimáticas para o Brasil (figura 4). Os elementos de proteção solar, como brises e beirais, reduzem os ganhos de calor da edificação pela radiação solar. O sombreamento evita ganhos de calor direto e consequentemente aumento da temperatura interna, (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O sombreamento é eficaz quando for capaz de bloquear a radiação solar direta sobre uma superfície ou abertura no período que for conveniente. Para isto é necessário conhecer a posição do sol durante o ano e os períodos em que ele é indesejável (figura 4). No caso de Joinville, busca-se evitar a insolação nos meses quentes (verão).

Figura 4 – Efeitos dos bloqueadores solares



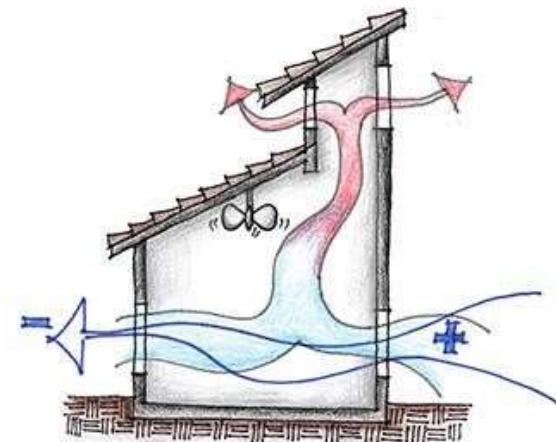
fonte: PROJETO 3E, disponível em
<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

2.6.5 Influência da ventilação natural

Rupp e Ghisi (2013) comentam que a ventilação natural deve ser incorporada nas edificações a fim de reduzir a carga térmica e o consequente consumo de energia devido aos sistemas de ar condicionado. Especialmente em climas subtropicais onde frequentemente a temperatura externa é inferior à temperatura interna das edificações na maior parte do ano.

O correto dimensionamento da área de janela de edificações é essencial na fase de projeto para se otimizar a eficiência energética, principalmente quando existe integração da iluminação natural com a artificial, figura 5 (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005).

Figura 5 – Ventilação natural na edificação



fonte: PROJETO 3E, disponível em
<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

2.7 DADOS DE SAÍDA NAS SIMULAÇÕES - VARIÁVEIS ESTUDADAS

A partir da simulação são gerados diversos dados (saídas) que tem por finalidade analisar o desempenho termo energético da edificação simulada. Entre as saídas, tem por destaque: temperatura nas zonas térmicas, fluxo de calor nas superfícies da edificação, dados relacionados à eficiência da ventilação natural dos ambientes (zonas térmicas), eficiência dos bloqueadores solares como brises e beirais, cargas térmicas ideais para que se atinja o conforto térmico na totalidade de sua utilização (inclusive através do modelo ampliado considerando o conforto adaptativo), entre centenas de outros possíveis.

2.7.1 GHR – graus hora de aquecimento e resfriamento

Um dos resultados mais utilizados para análise da eficiência energética é o conceito de graus-hora de aquecimento e resfriamento. Esse indicador mostra o quanto a edificação está fora da faixa de conforto pré-determinada, demonstrando a eficácia das estratégias utilizadas, a fim de melhorar o desempenho térmico da edificação. (TONDO, 2017).

Silva, Almeida e Ghisi (2016) estudaram o nível de incertezas físicas que podem ocorrer na simulação computacional aplicada a edificações residenciais, utilizando o programa *Energy Plus* e métodos estatísticos para analisar as incertezas

e a sensibilidade das variáveis de entrada e as suas respectivas variáveis dependentes. A edificação simulada foi uma residência unifamiliar de interesse social localizada na cidade de Florianópolis e os componentes da envoltória utilizados foram blocos cerâmicos revestidos por argamassa e pintura nas paredes, piso de concreto com revestimento cerâmico, cobertura com telhas cerâmicas, forro de madeira e por fim, vidro comum incolor de 3mm nas aberturas. Para a carga interna e operação dos ambientes foi realizada uma auditoria em 53 residências de Florianópolis e os valores considerados foram a mediana da distribuição. O objeto de estudo do trabalho foram as variáveis relacionadas às propriedades térmicas dos elementos construtivos, ventilação natural e aberturas. Para o cálculo das incertezas relacionadas foram consideradas porcentagens de variação que poderiam ocorrer nos valores de entrada utilizados no *Energy Plus* e para a análise de sensibilidade foi utilizado o programa *Simlab 2.2*, por meio do cálculo dos coeficientes de correlação padronizado e de correlação parcial, ambos índices estatísticos. Os resultados obtidos para incertezas foram mais significativos para graus-hora de desconforto por calor, com uma porcentagem de 53%. Para graus-hora de desconforto por frio o valor obtido foi de 32%. Utilizando a sensibilidade foi possível analisar que as variáveis que mais impactam no desconforto por calor foram a absorção solar da cobertura, juntamente com o calor específico da argamassa das paredes e a condutividade térmica do concreto do piso. Para o desconforto por frio as variáveis relacionadas aos materiais das paredes foram as que mais impactaram no desconforto.

Sorgato, Melo e Lamberts (2016) avaliaram o comportamento de uma residência unifamiliar na cidade de Florianópolis/SC. Foram aplicados diferentes valores de transmitância e capacidade térmica e analisados os períodos de conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada (quarto do casal, quarto das crianças e sala de estar) diante do uso de três diferentes cenários para ventilação natural: ventilação presente da manhã até a noite, ventilação automatizada e ventilação noturna. Foi considerado o conceito de conforto adaptativo da ASHRAE 55 para estimar os valores aceitáveis de temperatura para uso de ventilação natural e condicionamento de ar. Os resultados obtidos mostraram que para residências com baixa inércia térmica, o modo com que a ventilação natural é utilizada pouco influencia no consumo de condicionamento de ar. Para as edificações com média inércia térmica a ventilação natural pode ser utilizada de forma mais efetiva no conforto térmico quando utilizada de forma controlada.

Nesse sentido, através de análise de sensibilidade local é possível identificar o quanto cada estratégia está influenciando em relação ao caso base, apontando quais são as variáveis mais importantes;

2.8 ESTATÍSTICA APLICADA PARA DETERMINAÇÃO DA EDIFICAÇÃO MODELO

Segundo os dados fornecidos pela Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente (SAMA, 2018), na cidade de Joinville entre os meses de setembro de 2017 e maio de 2018 foram emitidos 1182 alvarás de construção. Nesta conta incluem-se edificações residenciais unifamiliares, multifamiliares, comerciais, industriais, com função pública ou serviços e edificações de uso misto, quando ocorrem mais de um uso simultaneamente. Um destaque são as edificações em empreendimentos de unidades residenciais geminadas, com a emissão de 235 alvarás de construção.

Conforme a Lei complementar Nº 470, de 09 de janeiro de 2017 (Joinville, 2017), define-se edificação geminada ou conjunto de edificações coletivas horizontais como sendo: aquele que comporta 02 (duas) ou mais edificações, com unidades autônomas agrupadas horizontalmente (geminadas), com acesso às unidades autônomas através de via de circulação interna ou de logradouro público;

2.8.1 Edificações de referência

É de grande dificuldade simular toda a população de edifícios existentes no estoque em determinada região. Para este trabalho, são 235 empreendimentos com no mínimo duas unidades habitacionais cada. Para contornar esta dificuldade diversos pesquisadores europeus conforme Ballarini, Corgnati e Corrado (2014) vêm utilizando edifícios de referência representativos de um estoque imobiliário para estimar e simular o consumo de energia. Muitos estudos têm sido realizados sobre este tema, a partir do conhecimento da condição do estoque de edifícios existentes, aplicando a análise de dados estatísticos, coletando e organizando dados e identificando metodologias para avaliar o desempenho energético do estoque de edifícios

Opta-se então em simular o modelo, ou até mais de um modelo, de referência, ou seja, que melhor represente a edificação em estudo. As edificações de referência buscam representar a média da população de edifícios do local de pesquisa.

Essa técnica vem ganhando importância, especialmente após nova regulação da União Europeia que define que os Estados-Membros necessitam definir “edifícios de referência” que devem representar o parque habitacional típico e médio em cada Estado-Membro, a fim de obter resultados gerais consistentes com as características do estoque de construção analisado. (BALLARINI, CORGNATI e CORRADO, 2014)

Conforme Tondo (2017) o principal objetivo de se determinar modelos de referência é utilizá-los como ponto de partida para o estudo de eficiência energética pois eles simplificam os dados de entrada em simulações termo energéticas. Assim, é possível testar os diferentes parâmetros construtivos e estratégias bioclimáticas de forma a sugerir diretrizes construtivas e aprimorar ou desenvolver normas.

Conforme a bibliografia existente recomenda-se que os edifícios de referência sejam estabelecidos em ao menos uma das 3 possíveis abordagens:

- Escolha de um exemplo de edifício de referência. É usado quando o pesquisador não possui dados de pesquisa disponíveis, construindo o modelo a partir de dados da literatura, como manuais, normas, etc., ou a partir do conhecimento de especialistas na área. É uma construção fictícia que supostamente tenha as características mais prováveis do estoque de construção estudadas.
- Adoção do edifício de referência real. Resulta da seleção de um prédio existente na amostra para representar seu agrupamento.
- E por último o edifício de referência teórico. É desenvolvido a partir da combinação dos recursos mais representativos de seu agrupamento.

A escolha entre essas opções deve depender do pesquisador e da disponibilidade de dados estatísticos. É possível usar diferentes abordagens para diferentes categorias de edifícios, para ter edifícios virtuais de referência capazes de representar as características (geometria, envelope, sistemas, etc.) de cada edifício específico.

Em síntese, a análise de agrupamentos propõe modelos de referência com base nas características mais representativas da população. Esses modelos permitem uma melhor representação de um estoque de edificações e possibilitam estudos mais ágeis, podendo ser empregados em simulações

Na escolha da técnica estatística a ser aplicada é importante mencionar que em modelos de referência dificilmente as variáveis são classificadas como dependentes ou independentes. Ao invés, todas as variáveis são analisadas

simultaneamente em um esforço para encontrar uma estrutura para todo o conjunto de variáveis ou elementos. Se a estrutura das variáveis é para ser analisada, então análise de fatores é a técnica apropriada. Se casos ou respondentes devem ser agrupados para representar a estrutura, então a análise de conglomerados é a técnica mais adequada. (VIALI)

2.8.2 Medidas de proximidade

Na busca de modelos de referência, uma alternativa é aplicar a análise de agrupamentos. Essa se caracteriza como uma técnica para agregar objetos com base nas suas características e proximidades. A técnica classifica objetos de modo que esses sejam similares dentro do agrupamento. Assim, os agrupamentos devem apresentar homogeneidade interna e heterogeneidade externa (HAIR et al., 2009).

Os agrupamentos partem de variáveis previamente definidas como influentes, e a partir de cada agrupamento é possível determinar um objeto que represente todos os objetos desse grupo (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

A análise de agrupamento passa pelo conceito de similaridade. As medidas de similaridade mais empregadas são as distâncias. A maior parte das características utilizadas nessas análises são métricas. Entre as medidas de distância há a distância euclidiana, a distância euclidiana quadrada (ou absoluta), a distância *city-block* (de Manhattan), a distância de Chebychev, a distância de Mahalanobis (D^2), o coeficiente de Gower entre outros. (TONDO, 2017)

Para definir a semelhança – ou diferença – entre os elementos é usada uma função de distância, que precisa ser definida considerando o contexto do problema em questão. A partir das distâncias, são utilizadas técnicas computacionais no caso, que utilizam métodos de agrupamento dessas distâncias. Esses podem ser hierárquicos, não hierárquicos ou uma combinação dos dois métodos.

A análise multivariada requer um exame preliminar dos dados em virtude da influência de outliers, violação das hipóteses e a falta de dados (*missing data*). Para aproveitar todos os benefícios da análise multivariada o pesquisador precisa analisar alternativas do modelo original, tal como relacionamentos não-lineares ou interativos. (VIALI)

Deve-se ainda, analisar as variáveis de entrada em relação à multicolinearidade. Se essa for encontrada, devem-se reduzir as variáveis a número

iguais em cada conjunto de medidas correlacionadas. (HAIR et al., 2009).

2.8.3 Método de clusters

Uma técnica estatística que pode ser usada para encontrar construções de referência é a análise de cluster. Esta é uma análise de dados multivariada cujo objetivo é simplificar os dados agrupando indivíduos semelhantes, determinar os recursos que caracterizam cada cluster e classificar elementos em grupos, de uma forma em que elementos dentro de um mesmo cluster sejam muito parecidos, e elementos em clusters diferentes sejam distintos entre si.

A análise de cluster pode ser dividida em dois grandes tipos de métodos: hierárquicos e não hierárquicos. O método hierárquico envolve uma série de $n-1$ decisões de agrupamento (sendo n o número de observações) que combinam observações em uma estrutura de hierarquia ou do tipo árvore. Os métodos não hierárquicos consistem na partição das observações em um número de “ k ” clusters em que cada observação pertence a um cluster exclusivo com o centroide mais próximo (média).

Os métodos hierárquicos da análise de cluster têm como principal característica um algoritmo em que não são fornecidos uma única partição do conjunto de dados, mas sim os vários agrupamentos possíveis, onde um cluster pode ser mesclado a outro em determinado passo do algoritmo.

Esses métodos não exigem que já se tenha um número inicial de clusters, entretanto são considerados inflexíveis uma vez que não se pode trocar um elemento de grupo. Eles podem ser classificados em dois tipos: Aglomerativos e Divisivos.

- Métodos Aglomerativos – Nesse caso, todos os elementos começam separados e vão sendo agrupados em etapas até que se tenha um único cluster com todos os elementos. O número ideal de clusters é escolhido dentre todas as opções.
- Métodos Divisivos – No método divisivo todos os elementos começam juntos em um único cluster, e vão sendo separados um a um, até que cada elemento seja seu próprio cluster.

Os métodos não-hierárquicos da análise de cluster são caracterizados pela necessidade de que se defina uma partição inicial, e pela flexibilidade, uma vez que

os elementos podem ser trocados de grupo durante a execução do algoritmo. O procedimento geral adotado para os métodos não hierárquicos é o de escolher uma partição inicial, depois o deslocamento do objeto de seu grupo para outros grupos e verificar o valor do critério utilizado, decidindo pelo cluster que apresentar melhoria.

Esse processo é repetido até que não se obtenha mais nenhuma melhoria com os deslocamentos. Os métodos das k-médias e o Fuzzy c-Médias são alguns exemplos conhecidos desses métodos, que tem como vantagem permitir que se mova um elemento de um cluster para o outro, o que não é possível no método hierárquico. Usualmente, os métodos não hierárquicos são mais eficientes na análise de bancos de dados com maior número de observações.

Na análise de clusters é essencial a escolha das variáveis selecionadas para inclusão no banco de dados e sua relação com os objetivos do estudo. Também é importante enfatizar que, embora a análise de cluster seja uma análise exploratória, ela não é apenas possível, mas deve ser realizada em combinação com outras técnicas estatísticas que pode garantir a qualidade dos resultados, como o caso dos testes de hipóteses utilizados.

Apesar da classificação em agrupamentos ser uma característica inerente ao ser humano, essa tarefa torna-se mais complexa por meio desta técnica multivariada. A solução final pode ser considerada subjetiva, já que exige muito julgamento do pesquisador (HAIR et al., 2009).

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, que teve por objetivo verificar a eficiência energética através do parâmetro de graus hora de aquecimento e resfriamento da edificação em estudo, de tipologia geminada na cidade de Joinville. Inicialmente foi tratado da parte estatística fundamentada nas seguintes etapas:

- a) Teste estatístico t para validação do arquivo climático
- b) Definição do tamanho da amostra e do banco de dados;
- c) Levantamento de informações construtivas;
- d) Processamento dos dados através de análise estatística;
- e) Definição dos modelos de referência.

A segunda etapa trata dos procedimentos necessários para a simulação computacional no Energy Plus, contemplando:

- a) Modelagem da envoltória da edificação;
- b) Modelagem do padrão de uso e ocupação;
- c) Modelagem da ventilação natural e climatização;

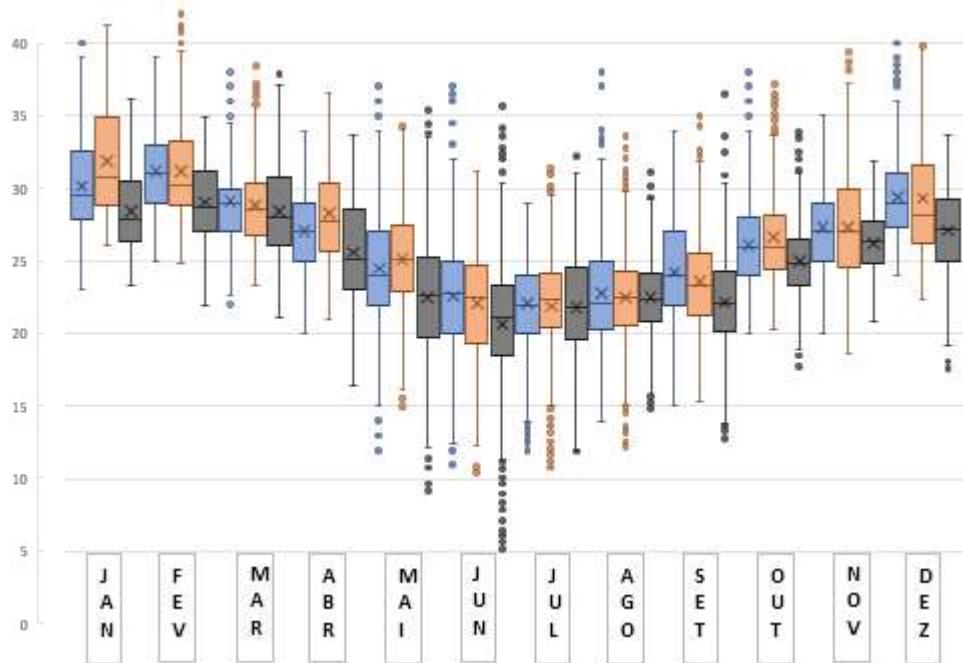
O tratamento estatístico dos dados foi realizado através do software *R studio*, que utiliza pacotes de código aberto para diversas funções.

3.1 TESTE ESTATÍSTICO – VALIDAÇÃO ARQUIVO CLIMÁTICO

Atualmente para a cidade de Joinville existem 2 arquivos climáticos. O 1º feito por Roriz com base nos dados da estação automática do INMET do aeroporto e o 2º feito por Cidral e Hackenberg na UDESC em um trabalho de conclusão de curso de engenharia civil. Além destes 2 arquivos, pode-se testar o arquivo da cidade mais próxima que é Itapoá, que já tinha arquivo disponibilizado por vários anos.

Inicialmente foi construído um gráfico boxplot, gráfico1, contendo a distribuição dos dados de temperatura de bulbo seco para os 12 meses de teste dos 3 arquivos climáticos. Em azul as temperaturas em °C de Joinville – aeroporto, em vermelho dados climáticos de Joinville – UDESC, e em cinza os dados de Itapoá.

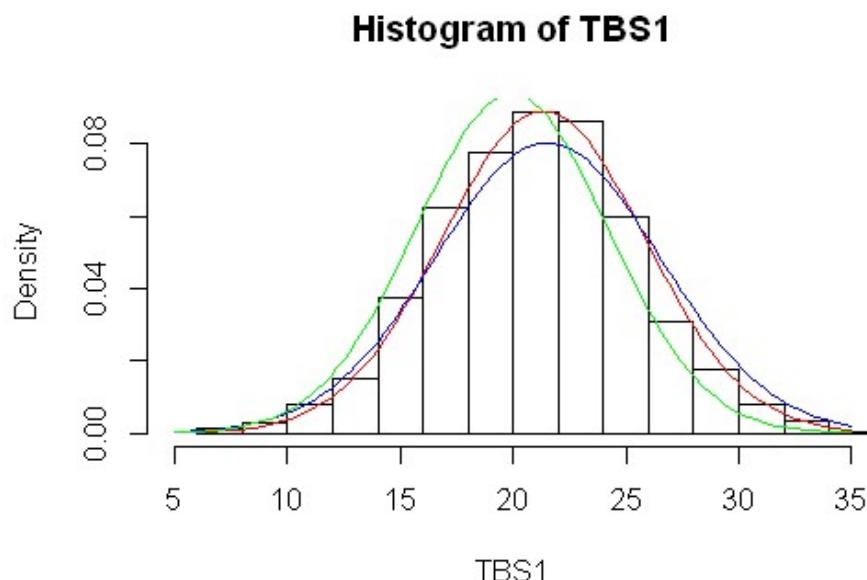
Gráfico 1 – boxplot temperaturas de bulbo seco



Fonte: o autor (2020)

E a construção de um histograma de temperaturas de bulbo seco, plotando as curvas de distribuição normal para cada local, figura 6. A curva em verde refere-se ao arquivo de Itapoá, a curva vermelha ao arquivo de Joinville – UDESC e a curva azul ao arquivo de Joinville – Aeroporto.

Figura 6 – histograma e densidade de temperaturas TBS



Fonte: o autor (2020)

Visualmente é possível verificar diferenças entre os dados. No arquivo de Itapoá ocorrem maiores concentrações de temperaturas no centro do histograma, conduzindo a médias de temperaturas máximas menores que nos arquivos de Joinville.

Porém para verificar se os arquivos climáticos de Joinville (2 arquivos) e Itapoá (1) são próximos estatisticamente, a opção foi executar testes tipo t entre cada arquivo, avaliando as seguintes variáveis:

- TBS – temperatura do bulbo seco – definida como medida da temperatura do ar;
- TORV – temperatura do ponto de orvalho. Corresponde a temperatura na qual o vapor d'água satura e condensa. Logo, a 100 % de UR a temperatura do ar iguala-se à temperatura de orvalho. Quanto mais longe a temperatura de orvalho está da temperatura ambiente menor é o risco de condensação e mais seco será o ar;
- UR – umidade relativa do ar - definida como a razão entre a pressão parcial do vapor d'água P_v e sua pressão de saturação;
- PR – pressão atmosférica;

- DIRV – direção do vento;
- VELV – velocidade do vento.

O teste é não pareado, pois a comparação das temperaturas é feita com os dias típicos que não necessariamente correspondem aos mesmos anos. Por exemplo, para o arquivo de Joinville – aeroporto, a data de 1º de fevereiro corresponde ao ano de 2012, enquanto para o arquivo de Joinville – UDESC ao ano de 2011 e Itapoá ao ano de 2008. Isto ocorre, pois, a montagem dos meses e anos de referência utilizado difere em cada arquivo.

Um teste t para 2 amostras pode ser usado para comparar se dois grupos independentes diferem. Esse teste é derivado sob as suposições de que ambas as populações são normalmente distribuídas e têm variâncias iguais. Como nos arquivos climáticos as variâncias não são iguais, pode ser utilizado o teste t de Welch que consiste em um método de aproximação para comparar as médias de duas populações normais independentes, quando suas variâncias não são necessariamente iguais (Welch, 1947).

Tabela 3 – p-valor e diferença entre médias (3 arquivos climáticos)

TBS (°C)			TORV (°C)			UR (%)				
	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	
p-valor	jIle-aero	x	0.01175	2.20E-16	x	0.0805	2.20E-16	x	2.20E-16	1.72E-16
	jIle-UDESC	0.01175	x	2.20E-16	0.0805	x	2.20E-16	2.20E-16	x	2.20E-16
	Itapoá	2.20E-16	2.20E-16	x	2.20E-16	2.20E-16	x	1.72E-16	2.20E-16	x
dif. (medias)	jIle-aero	x	0.18	1.41	x	0.11	1.09	x	2.52	0.93
	jIle-UDESC	0.18	x	1.59	0.11	x	1.20	2.52	x	3.45
	Itapoá	1.41	1.59	x	1.09	1.20	x	0.93	3.45	x
PR (Pa)			DIRV (°)			VELV (m/s)				
	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	jIle-aero	jIle-UDESC	Itapoá	
p-valor	jIle-aero	x	2.2E-16	2.20E-16	x	5.7E-09	1.28E-06	x	2.20E-16	2.20E-16
	jIle-UDESC	2.2E-16	x	2.20E-16	5.7E-09	x	2.20E-16	2.20E-16	x	6.70E-01
	Itapoá	2.20E-16	2.20E-16	x	1.28E-06	2.20E-16	x	2.20E-16	6.70E-01	x
dif. (medias)	jIle-aero	x	348.50	236.40	x	7.50	7.11	x	0.50	0.49
	jIle-UDESC	348.50	x	112.10	7.50	x	14.61	0.50	x	0.01
	Itapoá	236.40	112.10	x	7.11	14.61	x	0.49	0.01	x

Fonte: o autor (2020)

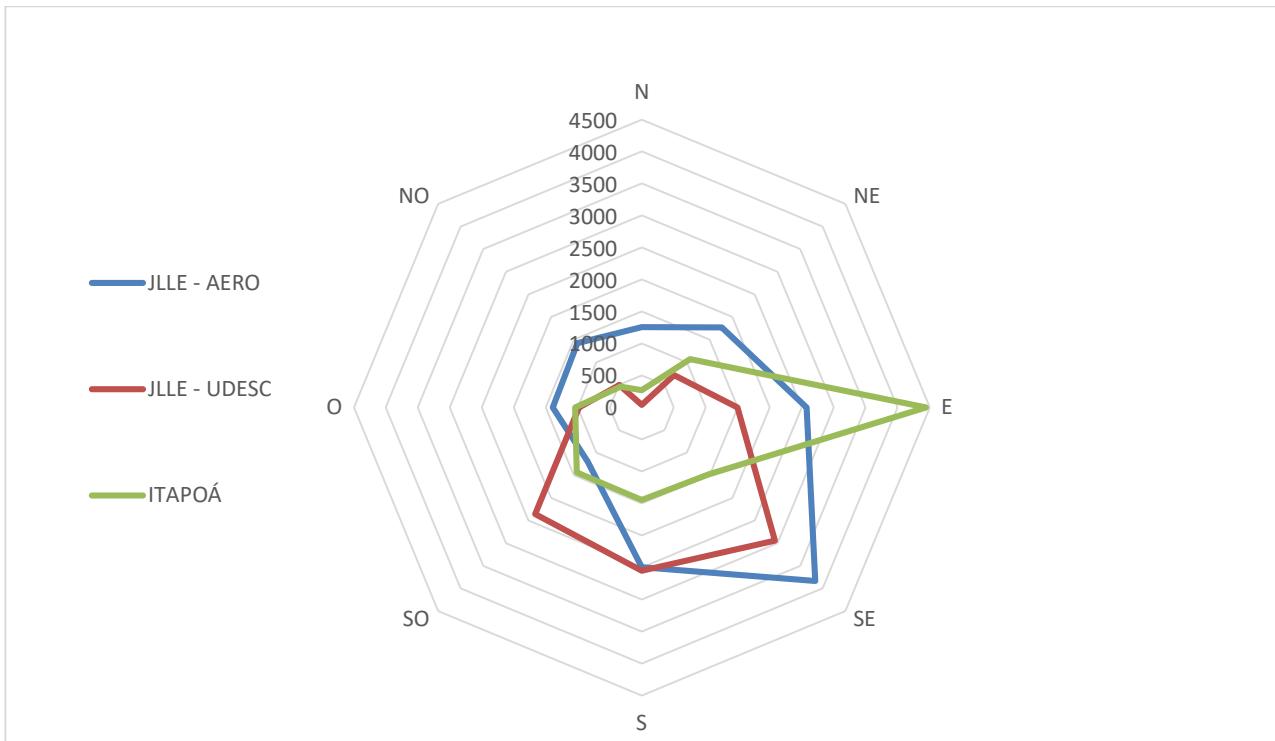
Verifica-se que nos arquivos climáticos de Joinville – aeroporto e Joinville – UDESC não se pode rejeitar a hipótese nula : H_0 = não há diferença entre as médias. Portanto as temperaturas de orvalho e bulbo seco são estatisticamente iguais. As maiores diferenças ocorrem na intensidade do vento que tem uma diferença entre médias de 0,5m/s, o que irá influenciar fortemente nas simulações termo energéticas, visto que conforme descrito no capítulo sobre conforto adaptativo, a velocidade do vento é fundamental para a percepção de conforto mesmo em temperaturas elevadas.

Já para as comparações entre os arquivos climáticos de Joinville com Itapoá, é possível avaliar que a hipótese nula deverá ser rejeitada, ou seja, há diferenças reais entre as médias, exceto entre a velocidade do vento no arquivo Joinville – UDESC comparado com Itapoá, que é basicamente a mesma. De modo geral os parâmetros de Itapoá mostram médias de temperaturas menores, e maior velocidade de ventos, o que será favorável para redução de cargas térmicas no verão, tornando a utilização desse arquivo para a cidade de Joinville não estatisticamente tão válida quanto os arquivos de Joinville.

Para a avaliação das diferenças do vento entre os arquivos foi gerado um gráfico do tipo radar, gráfico 2 com os dados relatados na tabela 3. Este gráfico demonstra a intensidade dos ventos por direção. A construção dele foi feita primeiramente com as medidas de direção do vento (0º a 360º constantes nos arquivos para cada hora do ano, totalizando 8760 medidas. Posteriormente foi realizado o somatório das velocidades (m/s) de cada hora, produzindo um valor de intensidade acumulada.

Este gráfico de intensidades acumuladas ajuda a compreender a frequência (constância) dos ventos. Conclui-se que o arquivo climático elaborado com os dados do aeroporto apresenta significativamente mais ventos ao longo do ano do que o arquivo climático elaborado na UDESC. Já o arquivo de Itapoá apresenta um somatório de ventos na direção leste bem significativo, bastante condizente com cidades litorâneas que apresentam ventos oriundos do mar.

Gráfico 2 – intensidade acumulada dos ventos (m/s) x direção (º)



Fonte: o autor (2020)

Tabela 4 – intensidade acumulada dos ventos (m/s) x direção (º)

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
JLLE - AERO	1256.9	1769.3	2576.9	3832.6	2494.2	1195.4	1394	1424.3
JLLE - UDESC	41.6	717.8	1495.7	2942.9	2546	2358.2	980.5	495.1
ITAPOÁ	271.5	1069.3	4440.2	1478.7	1443.2	1435.9	1041.9	462.9

Fonte: o autor (2020)

3.2 DEFINIÇÃO DO TAMANHO AMOSTRAL

O banco de dados a ser utilizado nesta pesquisa tem por base a quantidade de alvarás emitidos no período de setembro de 2017 e maio de 2018, (Figura 7), a relação completa do banco de dados encontra-se no anexo A. Ele apresenta poucos dados relacionados a envoltória da edificação, entretanto possui a classificação por uso de edificação e endereço dela. Assim é possível segmentar os dados, escolhendo apenas a tipologia de residências geminadas (R2.1).

Figura 7 – Banco de dados

RELAÇÃO DOS ALVARÁS EMITIDOS				
Período: 01/09/2017 à 31/05/2018				
Detalhe: Alvarás de construção, ampliação e reforma com projeto.				
Data	Uso	Endereço da Obra	Insc. Imobiliária	Área (m ²)

Fonte: SAMA: Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente (SAMA, 2018)

Na tabela 5 constam a quantidade de alvarás emitidos com finalidade residencial, incluindo o uso misto (comercial / residencial). Constatou-se que o tamanho da população de edificações geminadas (R1.2) é de 235 unidades.

A priori, não é possível determinar a quantidade de unidades habitacionais em cada empreendimento, visto que o banco de dados contemplava apenas as áreas totais de construção, e não as áreas por unidades.

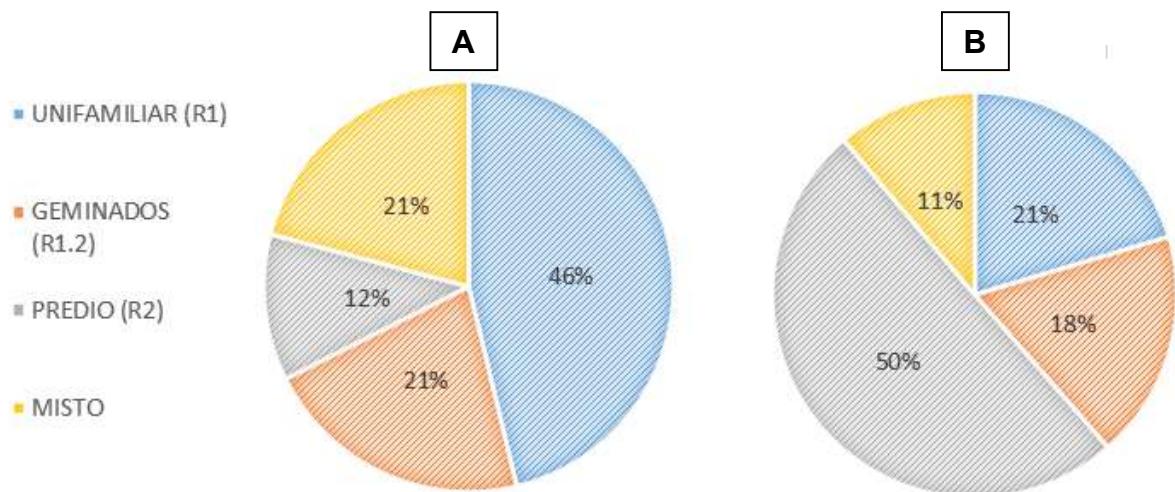
Portanto faz-se necessária a pesquisa em campo a fim de se coletar as informações não presentes no banco de dados. Inicialmente estimou-se o tamanho da amostra populacional para pesquisa em campo através de uma abordagem probabilística.

Tabela 5 – Resumo do banco de dados

	UNIFAMILIAR (R1)	GEMINADOS (R1.2)	PREDIO (R2)	MISTO	TOTAL
QUANTIDADE DE ALVARÁS	509	235	127	230	1101
(un)	46%	21%	12%	21%	100.0%
ÁREA À CONSTRUIR (m²)	81129	72402	200006	44546	398083
	20%	18%	50%	11%	100%
ÁREA MÉDIA DO EMPREENDIMENTO (m²)	159	308	1575	194	

Fonte: o autor (2020)

Gráfico 3 – Proporção de número de alvarás emitidos (A) e área a construir (B) por tipologia



Fonte: o autor (2020)

O cálculo do tamanho da amostra inicial será realizado através de amostragem aleatória simples.

3.2.1 Amostragem Aleatória Simples

Amostragem Aleatória Simples (AAS) é o método mais básico de seleção de amostras. A partir de uma lista completa da população, neste caso a relação de alvarás emitidos para geminados, seleciona-se cada unidade amostral com igual probabilidade, de tal forma que a cada sorteio os elementos tenham a mesma chance de serem escolhidos.

As edificações a serem pesquisadas serão escolhidas de forma aleatória através de sorteio com geração de número aleatório no programa *Excel 2016*. Conforme Tondo apud Barbetta (2017), uma alternativa para definição de uma amostra quando o tamanho da população é conhecido pode ser descrita como Equação (1) e Equação (2)

$$n_0 = \frac{1}{er^2} \quad (1)$$

onde:

n_0 = número de elementos da amostra;
 er = erro amostral.

$$n = \frac{N \times n_0}{N + n_0 - 1}$$

(2)

onde:

N = número de elementos da população;

n₀ = número de elementos da amostra;

n = tamanho da amostra.

Foi adotado um erro amostral de 20% (0.2), e uma população de 235, totalizando uma amostra teórica de 23 unidades válidas. A tabela 3 identifica a amostra selecionada. Importante salientar que foram coletadas inicialmente a informação de 30 unidades, validando ao final 24 empreendimentos. Ainda que esteja acima do número mínimo da amostra, optou-se por considerar todas as amostras válidas, não descartando neste momento nenhuma delas.

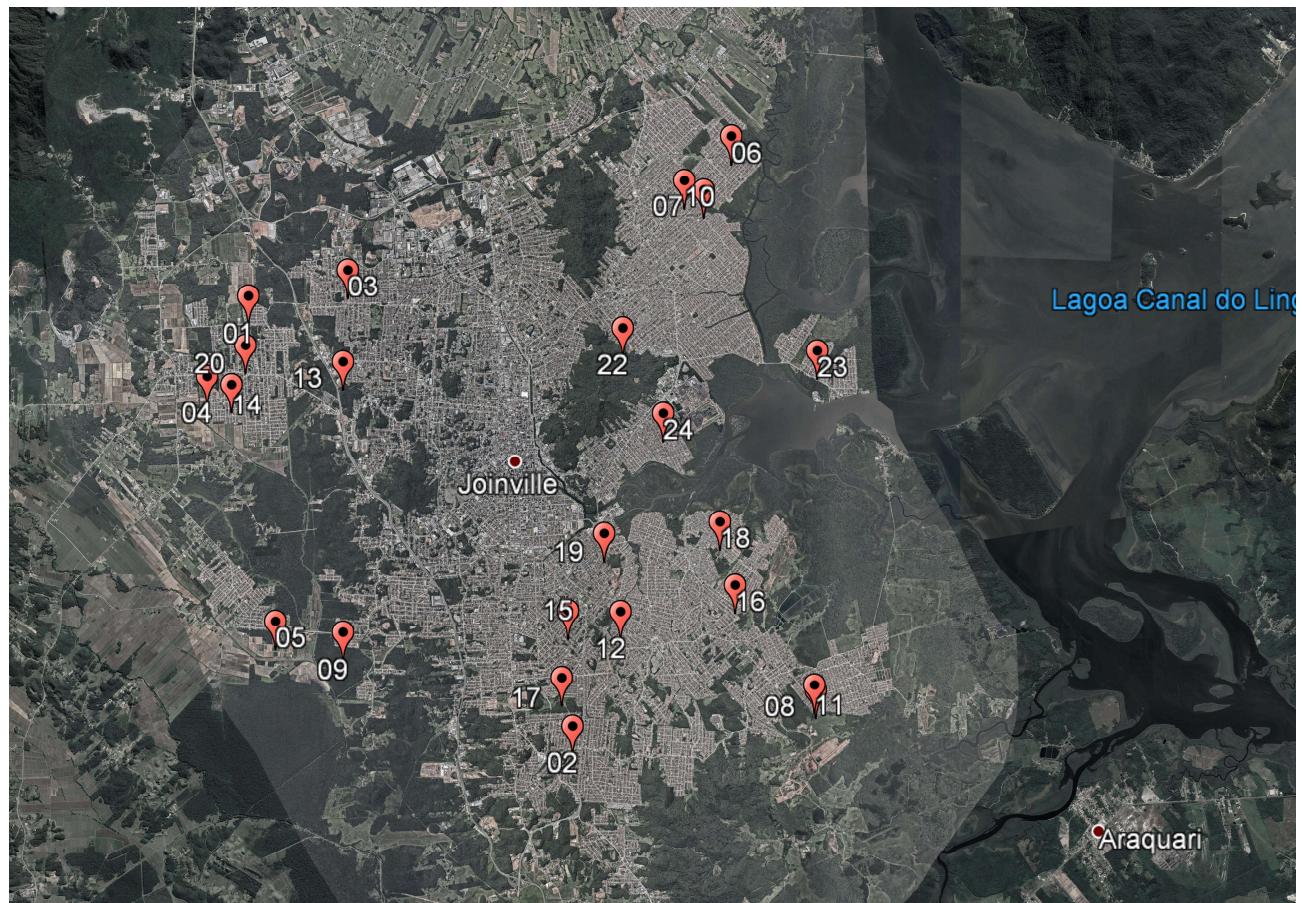
Tabela 6 – Relação da amostra populacional sorteada

ID	nº sorteio	Endereço da Obra	Área (m2)
1	53	JOSE LEOPOLDO GORGES,93 - VILA NOVA	80.70
2	SN01	PAULO BONH,245 - BOEHMERWALD	150.45
3	33	OSCAR ROSAS,438 - COSTA E SILVA	179.09
4	231	MARIA SANTA CORREA,226 - VILA NOVA	192.46
5	3	MINAS GERAIS,5137 - MORRO DO MEIO	197.83
6	181	UBIRAJARA ARAUJO - AVENTUREIRO	201.21
7	36	MARTINHO VAN BIENE,1859 - AVENTUREIRO	201.70
8	225	CONSTANTE ROTTINI,185 - PARANAGUAMIRIM	222.93
9	63	LAERCIO HOFFMANN,369 - NOVA BRASILIA	225.38
10	110	ALOIS FINDER - AVENTUREIRO	239.21
11	194	OSMAR GALDINO FAGUNDES,144 - PARANAGUAMIRIM	252.00
12	163	CIDADE DE DAMASCO - ITAUM	266.38
13	84	FRANCISCO SAID,268 - GLORIA	272.95
14	32	HAROLD CARLOS MIERS,301 - VILA NOVA	282.57
15	4	BENEDITO NOVO,165 - ITAUM	296.80
16	47	PROFESSOR AVELINO MARCANTE,200 - ULISSES GUIMARAES	303.20
17	147	DOS CARUARAS,507 - PETROPOLIS	303.78
18	217	VEREADOR EVILASIO VICENTE DOS SANTOS JR.,128 - ADHEMAR	313.20
19	96	URSA MAIOR,490 - GUANABARA	325.30
20	31	DALCIO BORTOLUZZI - VILA NOVA	374.82
21	150	EUGENIO ERNESTO KUNDE,645 - PIRABEIRABA	403.91
22	55	SOLEDADE,401 - IRIRIU	436.69
23	139	EVARISTO JOAO HECK - ESPINHEIROS	445.50
24	80	DESEMBARGADOR TAVARES SOBRINHO,299 - BOA VISTA	517.69

Fonte: o autor (2020)

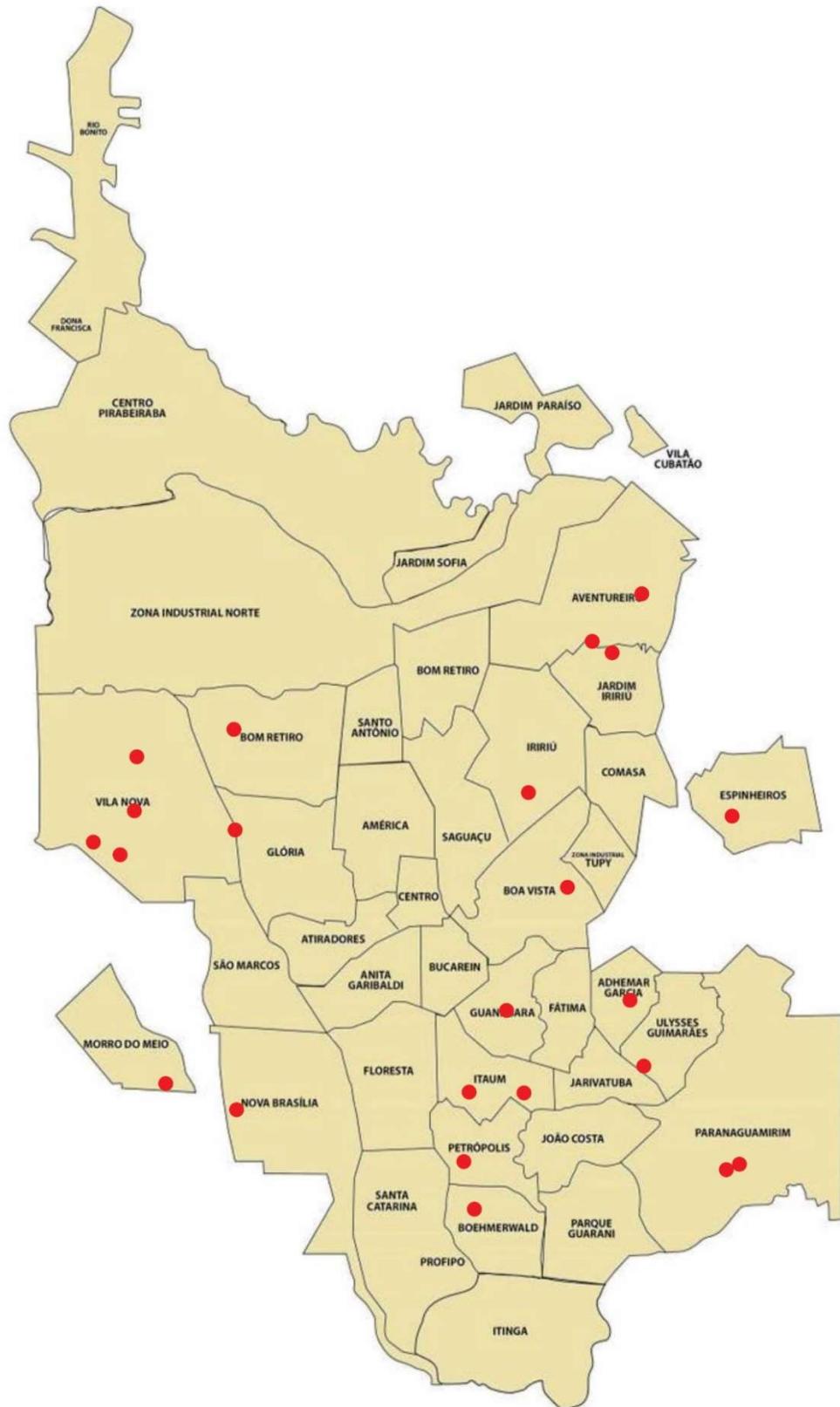
A figura 8 localiza espacialmente a amostra válida na cidade de Joinville através do programa Google Earth (GOOGLE EARTH, 2020) e a figura 9 representa o mapa de Joinville em sua divisão por bairros com a localização das amostras sorteadas.

Figura 8 – Localização da amostra sorteada



Fonte: o autor adaptado de Google Earth (2020)

Figura 9 – Localização da amostra por bairro



Fonte: o autor (2020)

3.3 DADOS PESQUISADOS

Definidas as amostras, a próxima etapa consiste na pesquisa de informações em campo com a finalidade de se obter os parâmetros que permitam definir e simular as edificações.

Os projetos das edificações foram obtidos com o Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville, o qual possui em seu acervo todos os projetos de edificações geminadas aprovadas na prefeitura, visto que para obtenção do alvará de construção, na cidade de Joinville era até fevereiro de 2020 necessária prévia aprovação do projeto preventivo de combate à incêndios.

Destaca-se que os projetos aprovados são informações de domínio público e podem ser pesquisadas em outras fontes, como também cartórios de registro de imóveis. A fonte inicial não foi o registro de imóveis, pelo fato de que muito dos empreendimentos geminados são incorporados apenas após a obtenção da conclusão das obras, dessa forma, caso o empreendimento não estivesse no momento da pesquisa incorporado haveria dificuldade em encontrar os projetos arquitetônicos da amostra.

Por meio dos projetos foram levantadas as seguintes informações que compreendem principalmente a distribuição espacial dos ambientes e suas dimensões. As variáveis medidas foram:

- área total da edificação;
- ambientes existentes com a sua área e função;
- área das aberturas (janelas e porta-janelas) para o exterior de cada ambiente;
- espessura das paredes externas;
- abertura (medida da distância entre os muros);
- pé direito;
- quantidade de pavimentos;
- altura da cobertura;
- Se é geminado de esquina ou de meio;
- Número de casas do empreendimento.

3.4 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

Os dados coletados foram organizados em uma planilha contendo todas as unidades geminadas pesquisadas e as variáveis medidas. A tabela 7 demonstra como foi montado esse banco de dados, e o tipo de cada variável. Ao total, foram inicialmente coletados dados de 30 empreendimentos, porém em 6 deles não foi possível coletar informações minimamente seguras (eles não contemplavam medidas dos ambientes). Portanto, foram considerados válidos dados de 24 empreendimentos que compuseram ao todo 89 casas, sendo 4 destas casas de esquina. Estas 4 casas foram excluídas do banco de dados (número da amostra 14, 32, 41, 77), pois o desempenho térmico delas iria ser muito diferente das demais, já que possuem proporcionalmente muito mais área de fachada exposta a incidência solar.

Tabela 7 – Variáveis pesquisadas

NOME	ATRIBUTO	CATEGORIA	VALOR / UNIT
1 ID	N. de identificação da amostra	Numérica	
2 QTD	N. de casas do empreendimento	Numérica	
3 PE	Pé direito da edificação	Numérica	m
4 ESP	Espessura da parede externa	Numérica	m
5 ALT	Altura da cobertura	Numérica	m
6 AB	Abertura (distância entre muros)	Numérica	m
7 PISO	Quantidade de pisos	Binária	0-TERREO / 1-SOBRAZO
8 TOTAL	Área total da casa	Numérica	m ²
9 INF	Área do piso inferior	Numérica	m ²
10 SUP	Área do piso superior	Numérica	m ²
11 QTD_A	Quantidade de quartos	Ordinal	1-4
12 A1	Área do quarto 1	Numérica	m ²
13 JA1	Área de janela do quarto 1	Numérica	m ²
14 A2	Área do quarto 2	Numérica	m ²
15 JA2	Área de janela do quarto 2	Numérica	m ²
16 A3	Área do quarto 3	Numérica	m ²
17 JA3	Área de janela do quarto 3	Numérica	m ²
18 A4	Área do quarto 4	Numérica	m ²
19 JA4	Área de janela do quarto 4	Numérica	m ²
20 QTD_B	Quantidade de Banheiros	Ordinal	1-3
21 B1	Área do bwc 1	Numérica	m ²
22 JB1	Área de janela do bwc 1	Numérica	m ²
23 B2	Área do bwc 2	Numérica	m ²
24 JB2	Área de janela do bwc 2	Numérica	m ²
25 B3	Área do bwc 3	Numérica	m ²
26 JB3	Área de janela do bwc 3	Numérica	m ²
27 QTD_C	Quantidade de salas	Ordinal	1-2
28 C1	Área da sala 01	Numérica	m ²
29 JC1	Área de janela da sala 01	Numérica	m ²
30 C2	Área da sala 02	Numérica	m ²

31	JC2	Área de janela da sala 02	Numérica	m^2
32	QTD_D	Quantidade de cozinhas	Constante	1
33	D1	Área da cozinha 01	Numérica	m^2
34	JD1	Área de janela da cozinha 01	Numérica	m^2
35	QTD_E	Quantidade de lavanderias	Binária	0-1
36	E1	Área da lavanderia	Numérica	m^2
37	JE1	Área de janela da lavanderia 01	Numérica	m^2
38	QTD_F	Quantidade de sacadas	Ordinal	1-2
39	F1	Área da sacada 01	Numérica	m^2
40	F2	Área da sacada 02	Numérica	m^2
41	QTD_G	Quantidade de corredores	Ordinal	1-2
42	G1	Área do corredor 01	Numérica	m^2
43	G2	Área do corredor 01	Numérica	m^2
44	QTD_H	Quantidade de lavabos	Ordinal	1-2
45	H1	Área do lavabo	Numérica	m^2
46	JH1	Área de janela do lavabo	Numérica	m^2
47	QTD_I	Quantidade de churrasqueira / outros	Ordinal	1-2
48	I1	Área da churrasqueira 01	Numérica	m^2
49	I2	Área da churrasqueira 02	Numérica	m^2
50	QTD_J	Quantidade de garagens	Binária	0-1
51	J1	Área da churrasqueira 01	Numérica	m^2

Fonte: o autor (2020)

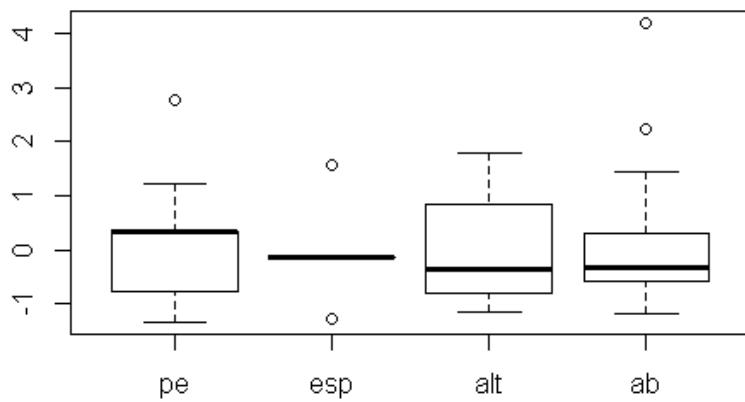
Entre os dados coletados, foi observado presença de dados faltantes, nas variáveis (3) pé direito, (4) espessura de paredes, (5) altura da cobertura e (6) abertura. Optou-se por não excluir essas amostras porque tais dados não são muito relevantes. A variação dos dados é baixa e relativamente constante, não interferindo na análise (tabela 8 e gráfico 4).

Tabela 8 – Resumo dos dados faltantes

	pe	esp	alt	ab
Min.	2.65	0.1	0.6	2.8
1st Qu.	2.7	0.12	0.865	3.6
Median	2.8	0.12	1.2	3.9
Mean	2.77	0.1224	1.465	4.339
3rd Qu.	2.8	0.12	2.09	4.723
Max.	3.02	0.15	2.8	9.7
Var	NA	NA	NA	1.6411
Quantidade	49	58	35	78

Fonte: o autor (2020)

Gráfico 4 – Boxplot das variáveis faltantes



Fonte: o autor (2020)

Segundo Assunção (2012), os métodos mais utilizados no tratamento de *missings* (dados faltantes) envolvem a remoção ou substituição deles. No entanto, a simples remoção dos dados e construção do modelo com os dados completos, torna os resultados possivelmente viesados se os casos restantes não representarem toda a amostra. Outro procedimento é não incluir no modelo as variáveis que possuem dados faltantes. Neste caso, não há problema de enviesamento da amostra, entretanto, poderá resultar em um modelo com um poder preditivo inferior ao que seria obtido caso todas as variáveis fossem testadas.

No banco de dados dessa pesquisa, optou-se por continuar os testes estatísticos sem as variáveis cuja variância foi insignificante (pe, esp, alt), restando apenas a variável abertura (ab). Tais informações foram úteis posteriormente na modelagem da edificação de referência, porém não necessitando verificar sua estatística, visto que são aproximadamente constantes, sendo utilizados, portanto, a sua média.

Já na variável abertura utilizou-se uma medida resumo, no caso a mediana dos dados válidos. Porém, pelo fato de o mesmo valor estar sendo atribuído para cada um dos dados faltantes, este método substitui artificialmente a variância, além de diminuir a relação com as demais variáveis.

3.5 FORMAÇÃO DOS CLUSTERS

3.5.1 Escolha inicial de variáveis e banco de dados

Antes de iniciar a análise de cluster, alguns procedimentos foram necessários para garantir que inconsistências entre as variáveis não tivessem impacto negativo nos resultados.

Após a exclusão das 4 amostras das casas de esquina (14, 31, 41, 77) foram montados três bancos de dados.

O 1º deles, chamado de Características Fixas (CAR_FIX). Este banco de dados contém as variáveis que não serão utilizadas nos métodos de formação de clusters, devido à baixa variância, ou variáveis que tornariam o modelo muito complexo sem adicionar mais informações. O melhor exemplo é variável área de janelas. Edificações tanto de padrão elevado como de baixa renda contém áreas de janelas de banheiros com dimensões similares. O tamanho da abertura não define o padrão construtivo. Dificilmente a inclusão desses parâmetros auxiliaria na classificação das edificações.

Viali (2012) escreve que técnicas multivariadas são projetadas para acomodar múltiplas variáveis na análise. Esta característica, no entanto, não deve substituir o desenvolvimento de um modelo conceitual antes da aplicação da técnica. Enquanto é sempre mais importante evitar a omissão de uma variável preditiva crítica, denominado de erro de especificação, por várias razões também deverá se evitar o oposto, isto é, inserir variáveis indiscriminadamente e deixar a técnica multivariada tentar identificar as relevantes. Primeiro, porque variáveis irrelevantes normalmente aumentam a habilidade de aderência dos dados ao modelo tornando os resultados menos generalizáveis para a população. Segundo, variáveis irrelevantes não necessariamente distorcem os resultados das relevantes, mas elas podem mascarar os verdadeiros efeitos devidos a multicolinearidade. A multicolinearidade representa o grau com que qualquer variável pode ser prevista pelas outras variáveis na análise. Com o aumento da multicolinearidade diminui a habilidade de detectar o efeito de outras variáveis. Desta forma, incluir variáveis que não são conceitualmente relevantes pode ter efeitos potenciais danosos, mesmo se elas não distorcem diretamente os resultados do modelo.

O 2º banco de dados foi denominado de Características de áreas (CAR_AREA),

onde se relaciona todas as áreas dos ambientes medidos em projetos. Neste caso, ocorreram diversas medidas com valor nulo (0), representando que naquela amostra não existe área deste ambiente. Ainda foram mantidas as variáveis de área total, quantidade de pisos e abertura entre muros.

Por último foi montado um 3º banco de dados chamado de Características de quantidades (CAR_QTD) que relaciona a quantidade de ambientes de cada amostra. Também foram mantidas as variáveis de área total, quantidade de pisos e abertura entre muros.

3.5.2 Normalização dos dados

A normalização dos dados foi realizada através da padronização estatística (escores z), equação 3. Com esse tipo de padronização, cada variável é definida por uma base de dados cuja média é igual a zero e o desvio padrão é igual a um. Esta é uma consideração importante para assegurar que o grau de dispersão para cada variável não influencia os resultados.

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

onde:

Z_{xi} = é o valor padronizado;

x_i = erro amostral;

\bar{x} = é a média dos valores das variáveis determinadas

s = é o desvio padrão

3.5.3 Verificação de Outliers

Após a normalização dos dados, verificou-se a possível existência de outliers na amostra. Dada a natureza da análise multivariada, foi necessária a aplicação de técnicas multivariadas e o D2 de Mahalanobis, mostrado na Eq. (4) foi tomada como medida outlier utilizada neste estudo.

$$D^2_{nm} = \sqrt{(x_n - x_m)C^{-1}(x_n - x_m)} \quad (4)$$

onde:

D^2 = é a distância de Mahalanobis

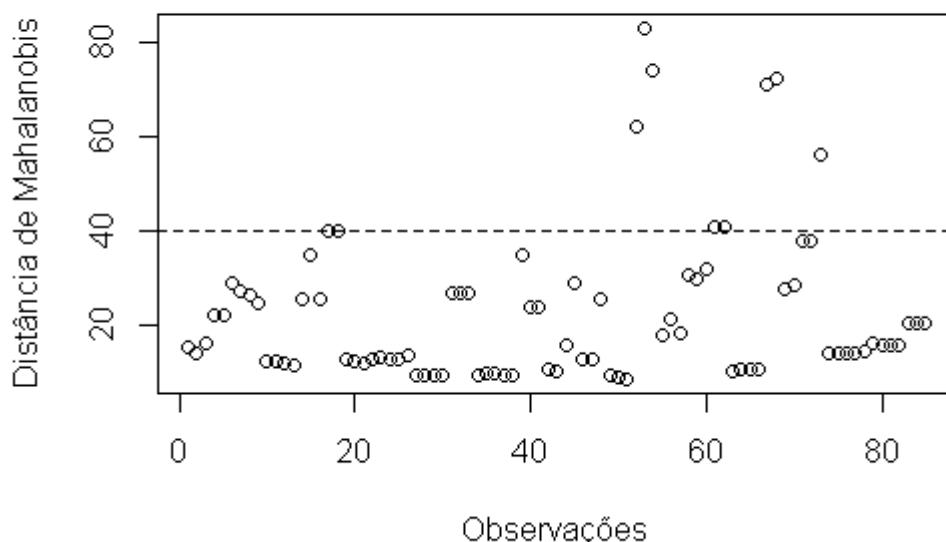
C^{-1} = matriz de covariância

x_n = é o valor de n (objeto) para cada variável

x_m = é o valor de m (média) para cada variável

Trata-se de uma regressão multivariada que mede as distâncias de cada objeto para o centroide de amostra (média multivariada), dada a covariância (variância multivariada) de uma distribuição. Nesta pesquisa, os objetos cuja probabilidade associada com D^2 mais de 0,01 (1%) foram considerados outliers. Como não há regras para o corte, esse valor diverge de pesquisador para pesquisador. Tondo (2018) utilizou 0,1 (10%) enquanto Ghisi e Schaefer (2016) utilizaram o valor de 0,001.

Gráfico 5 – Distância de Mahalanobis



Fonte: o autor (2020)

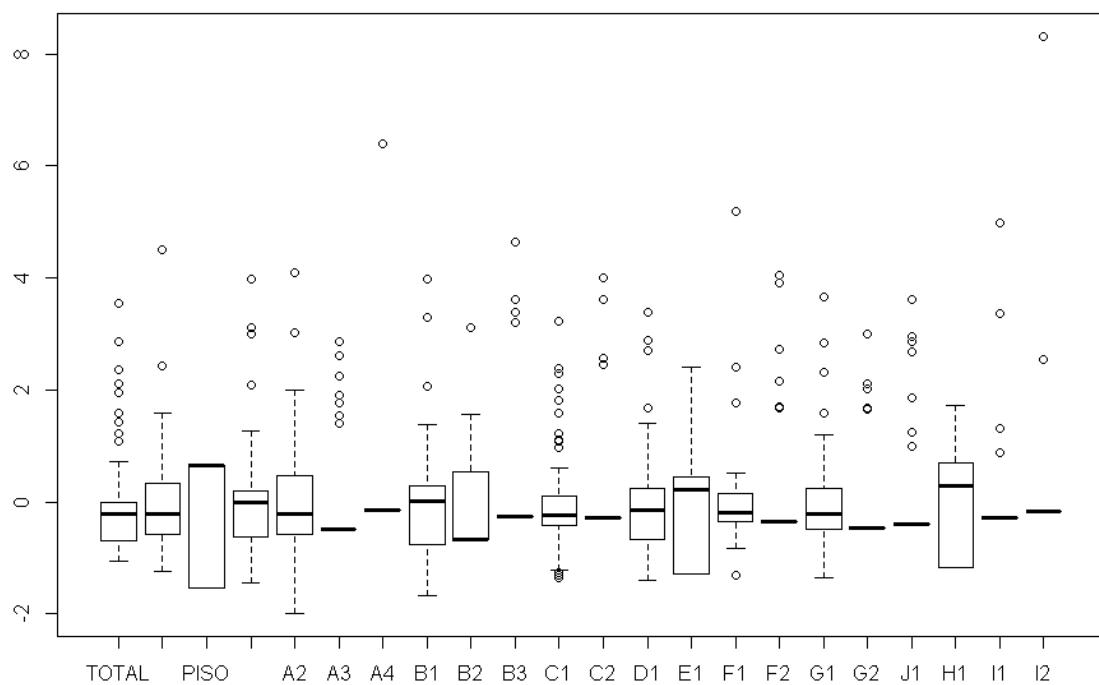
O índice de corte é 40.28936 que corresponde ao qui-quadrado com 22 graus de liberdade (número de variáveis de área, e 0,01 de probabilidade) Este teste serve para avaliar quantitativamente a relação entre o resultado de um experimento e a distribuição

esperada para o fenômeno. Isto é, representa com quanta certeza os valores observados podem ser aceitos como regidos pela teoria em questão.

Assim foram considerados *outliers* as 6 observações que ficaram totalmente acima da linha de corte. (dados 55, 56, 57, 70, 71, 76). Pela análise dos boxplots na figura 7, realizada sem o corte das amostras após o teste de Mahalanobis, percebe-se maior presença de outliers do que após o teste (gráfico 7).

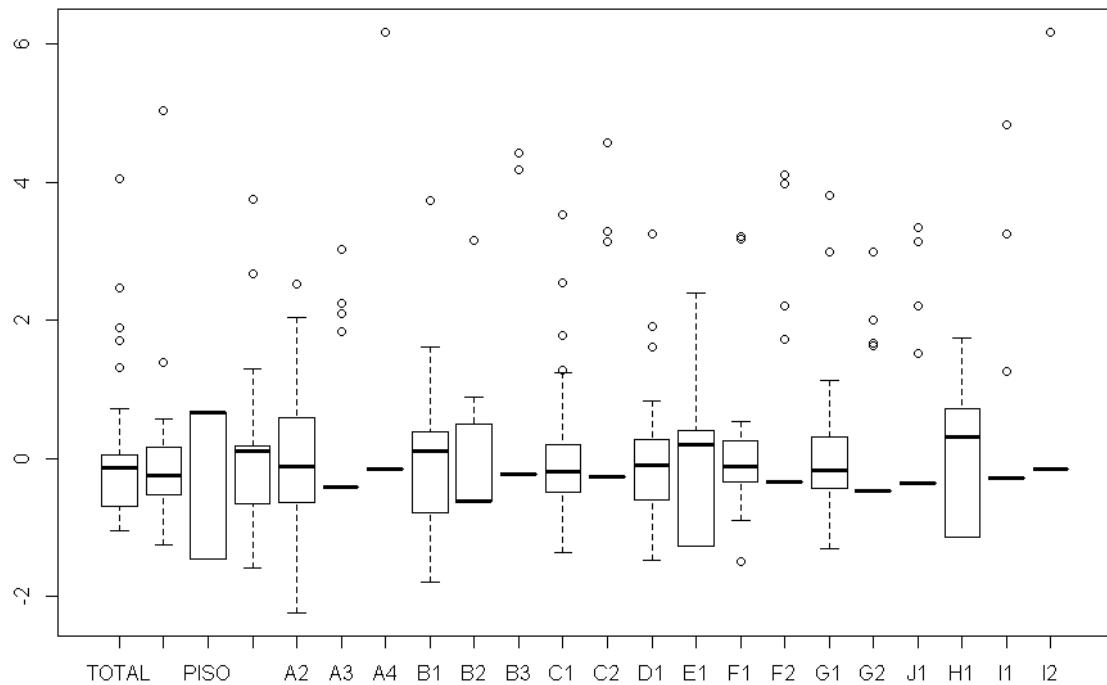
É importante destacar que estes valores extremos não são erros de digitação/medida, mas valores reais, porém pouco prováveis. A decisão sobre o que fazer com estes possíveis *outliers* detectados depende muito da natureza dos dados e do tipo de análise a ser conduzida. Uma sugestão feita por Manly e Alberto (2017) é a de conduzir análises com e sem os valores extremos e comparar os resultados. Se a conclusão é a mesma, então não há problemas em descartar esses outliers ou mantê-los.

Gráfico 6 – Boxplot com Variáveis e outliers



Fonte: o autor (2020)

Gráfico 7 – Boxplot com Variáveis após Mahalanobis



Fonte: o autor (2020)

3.5.4 Montagem dos clusters

A ideia central da Análise de Cluster é a possibilidade de efetuar a classificação dos objetos em grupos, de forma que os objetos dentro do mesmo grupo sejam mais similares quanto possível e, de forma análoga, que os diversos grupos (clusters) sejam mais diferentes o possível em sua constituição.

A abordagem nessa pesquisa foi usar os procedimentos hierárquicos e não hierárquicos em conjunto. O procedimento hierárquico permitiu a obtenção de um conjunto de soluções iniciais, indicando a quantidade mais apropriada de clusters, enquanto o procedimento não-hierárquico proporcionou a formação final de clusters.

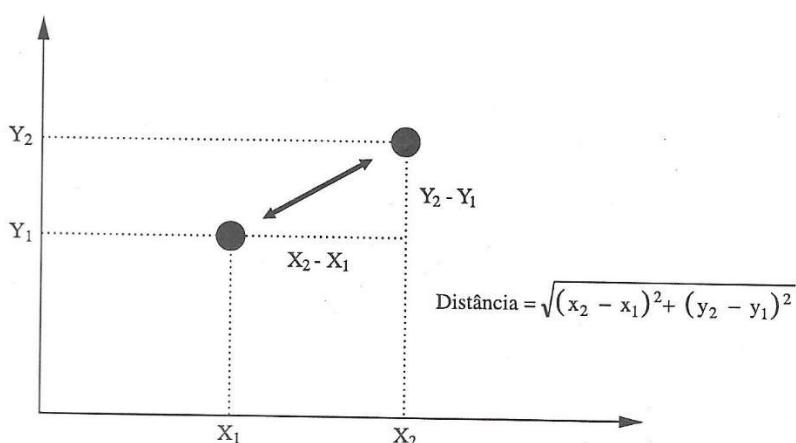
Para o procedimento hierárquico inicialmente é necessário definir uma matriz de distâncias. Uma das mais utilizadas medidas de dissimilaridade da literatura, a *distância euclidiana*, é dada pela Equação 5, representada também na figura 10.

$$L_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (5)$$

onde:

- L_2 = é a distância Euclidiana
 x_i = posição no eixo x
 y = posição no eixo y

Figura 10 – Distância Euclidiana



Fonte: <http://www.estatisticaclascica.com/ea/tecnicas-de-agrupamento.html>

A técnica de agrupamento hierárquico se inicia considerando cada objeto como um agrupamento. Os agrupamentos se unem para dar origem a novos agrupamentos de acordo com as suas características. O processo é repetido até que se forme um único agrupamento, chamado de dendograma.

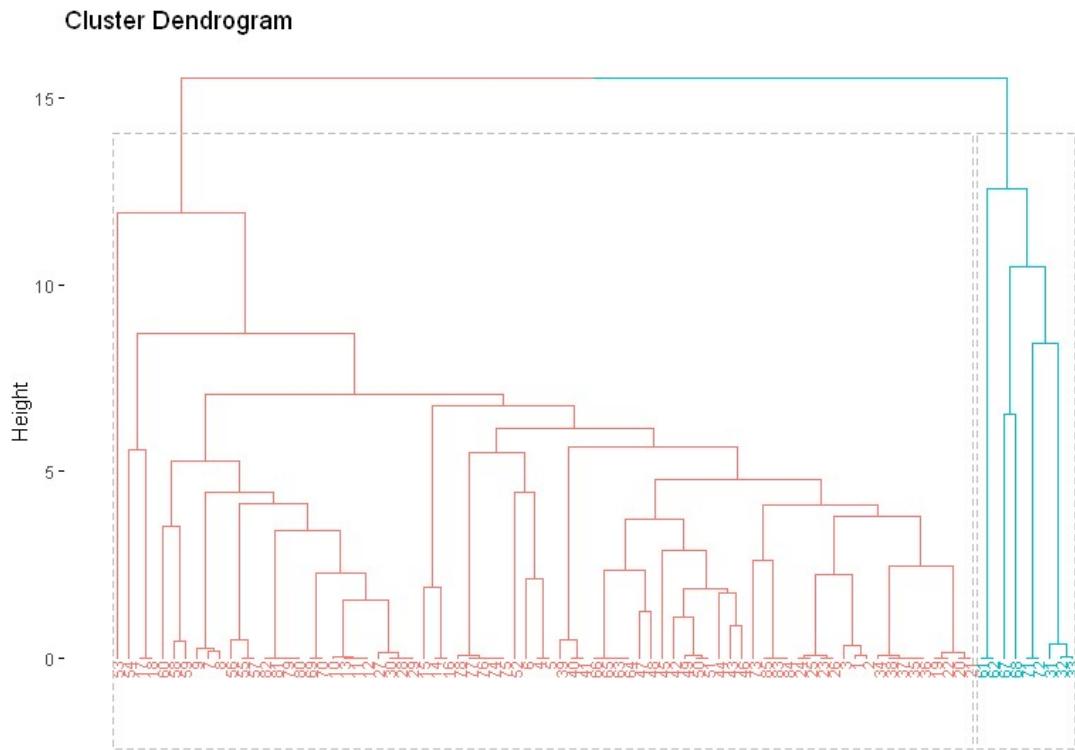
Os valores no eixo y, intitulados *height*, são as chamadas distâncias cofenéticas. Quanto maior for seu valor, mais dissimilar são os elementos comparados. Correlação elevada entre as distâncias calculadas e as distâncias cofenéticas sugere um bom agrupamento.

Foram testadas 4 formas de agrupamento. As duas primeiras formas contendo o banco de dados de áreas das edificações, com e sem os outliers identificados pelo teste de mahalanobis. Os dois seguintes testes com os dados da quantidade de ambientes de cada amostra, também com e sem outliers.

A figura 11, representa uma distribuição em dois agrupamentos, considerando o

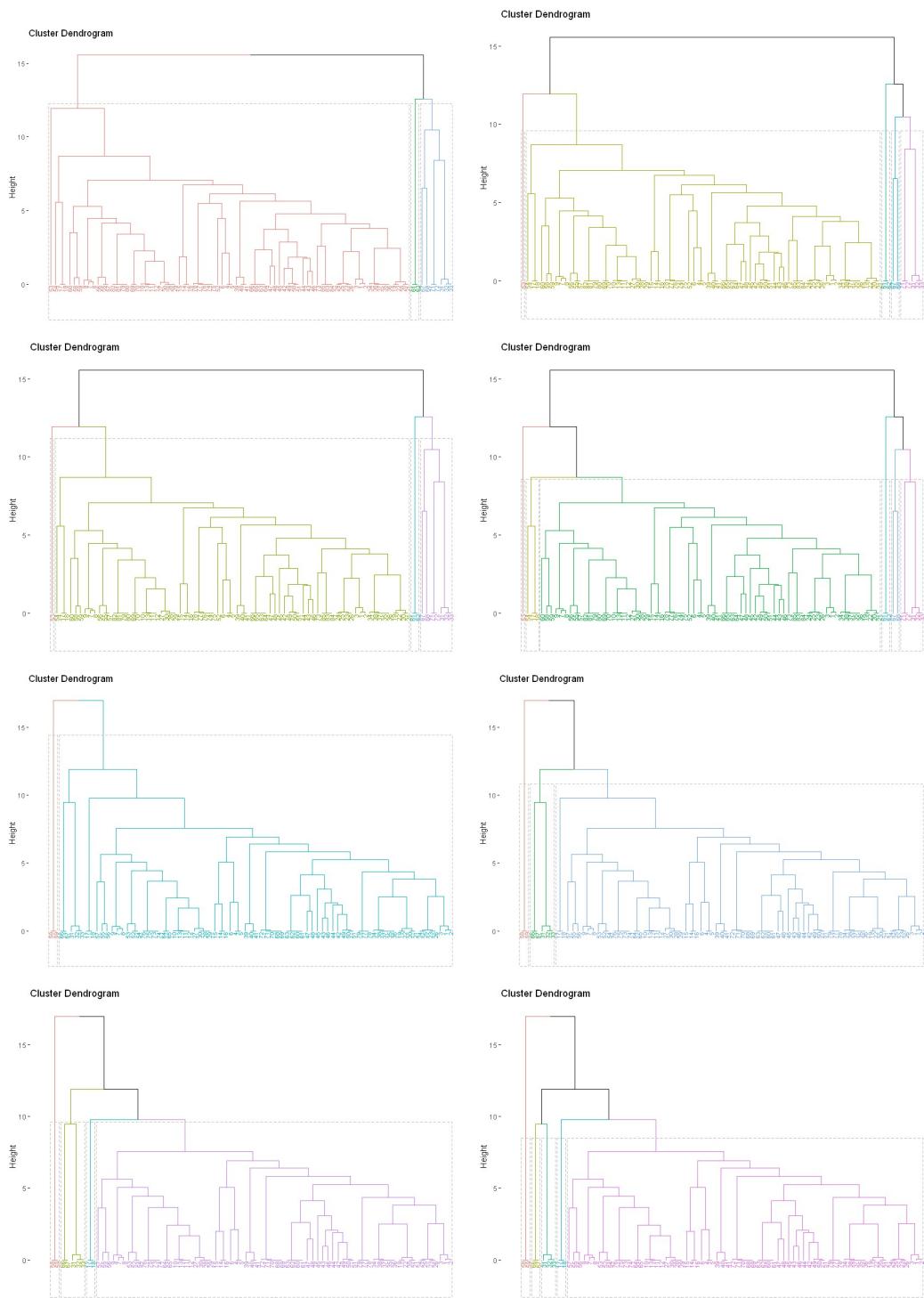
critério de áreas, sem exclusão de outliers. A figura 12 mostra o agrupamento de clusters com os dados das áreas com e sem exclusão de outliers, e a figura 13 os critérios por ambientes.

Figura 11 – Agrupamento inicial



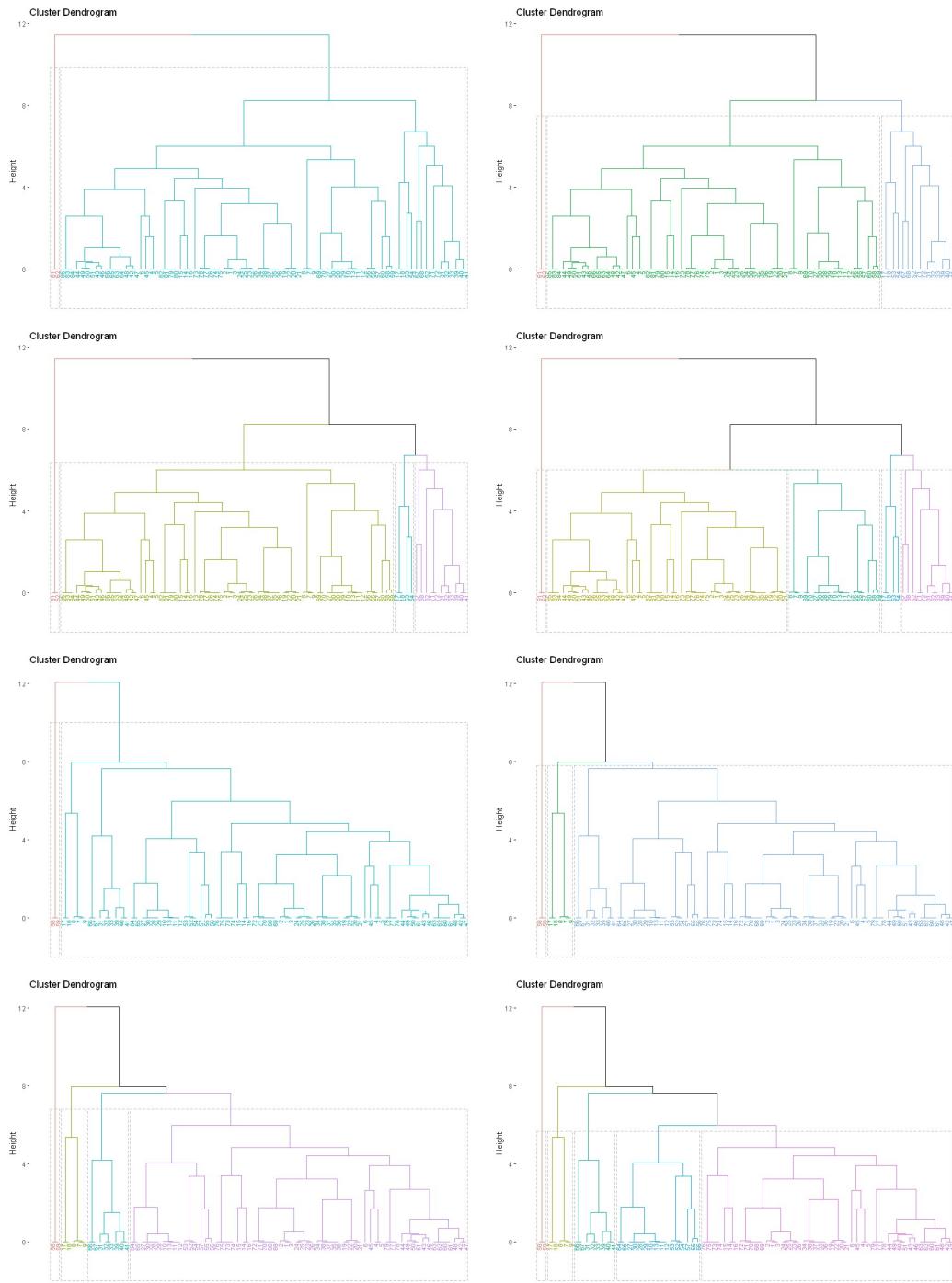
Fonte: o autor (2020)

Figura 12 – Agrupamento por área



Fonte: o autor (2020)

Figura 13 – Agrupamento por ambientes

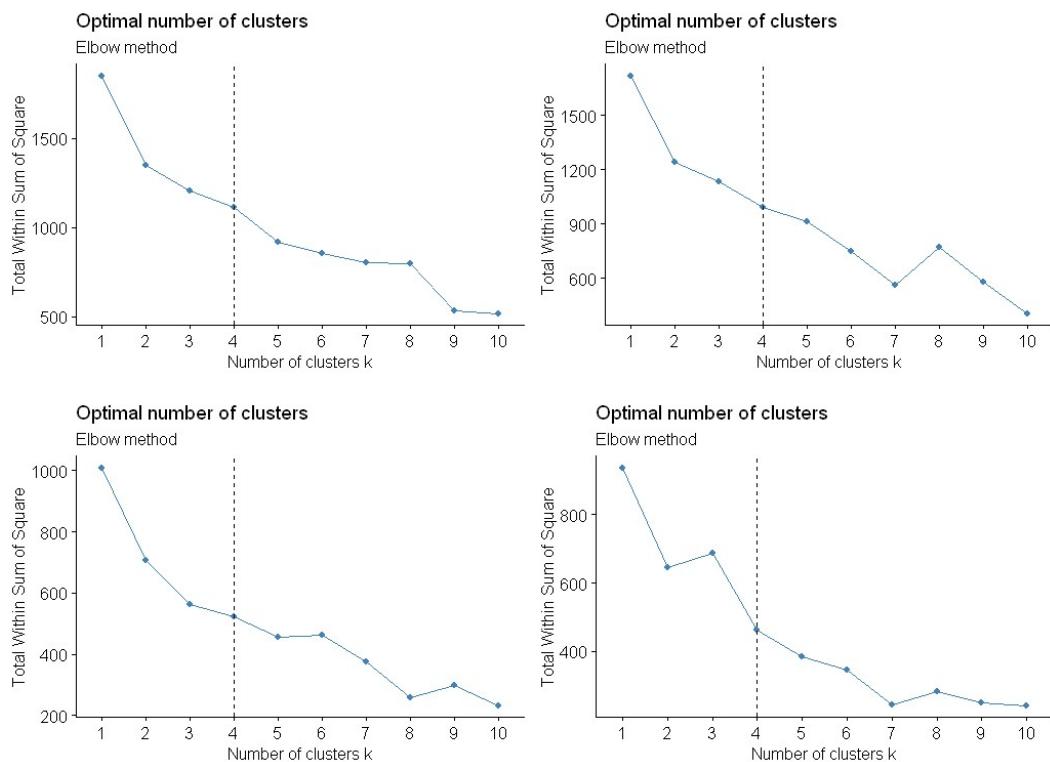


Fonte: o autor (2020)

Para definição do número ideal de clusters foi utilizado o método do cotovelo (*elbow method*) que considera a SQM (soma dos quadrados mínimos) total como uma função do número de clusters: deve-se escolher um número de clusters para que a adição de outro

cluster não melhore muito melhor o SQM total. A figura 15 mostra os resultados obtidos para cada um dos bancos de dados analisados. Os resultados encontrados foram os mesmos, o ideal são 4 clusters.

Figura 14 – Algoritmo cotovelo (Elbow)



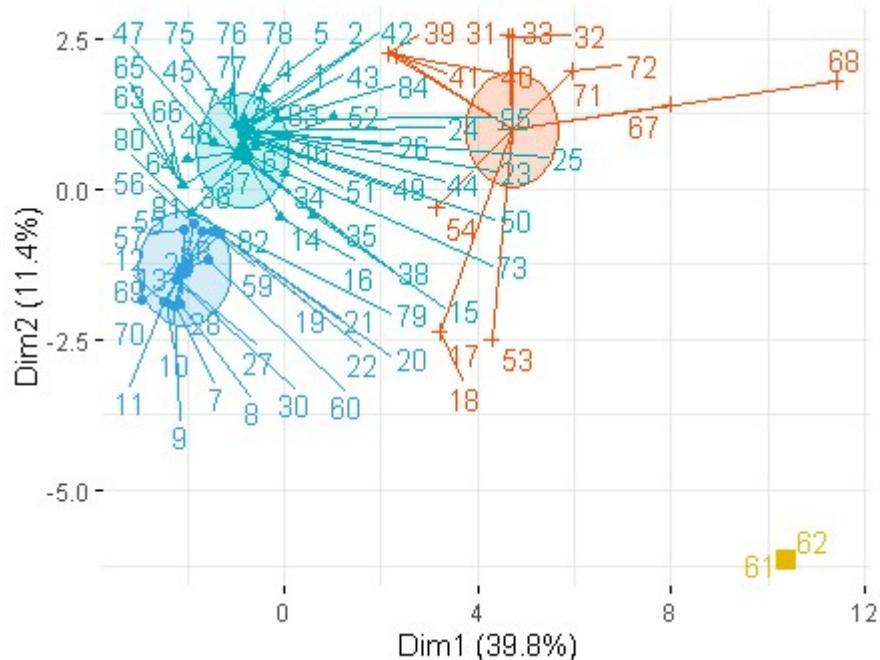
Fonte: o autor (2020)

A partir da definição do número de clusters é iniciado o método de agrupamento conhecido como K-means (não hierárquico). A ideia básica é encontrar grupos similares, de maneira a minimizar a soma de distâncias euclidianas ao quadrado. As distâncias são calculadas entre os pontos e as médias de cada um dos k grupos, chamadas *centróides*.

Uma partição inicial é dada de forma arbitrária, onde se definem k centróides. Calcula-se a distância euclidiana ao quadrado entre as observações e os k centróides. O centróide mais próximo define o grupo ao qual uma observação pertence. Recalculam-se os novos centróides, e novas partições são obtidas com a alternância dos objetos entre os grupos. O algoritmo encerra quando nenhuma comutação adicional reduz a soma de quadrados intra-grupo, ou quando outro critério de parada é atingido.

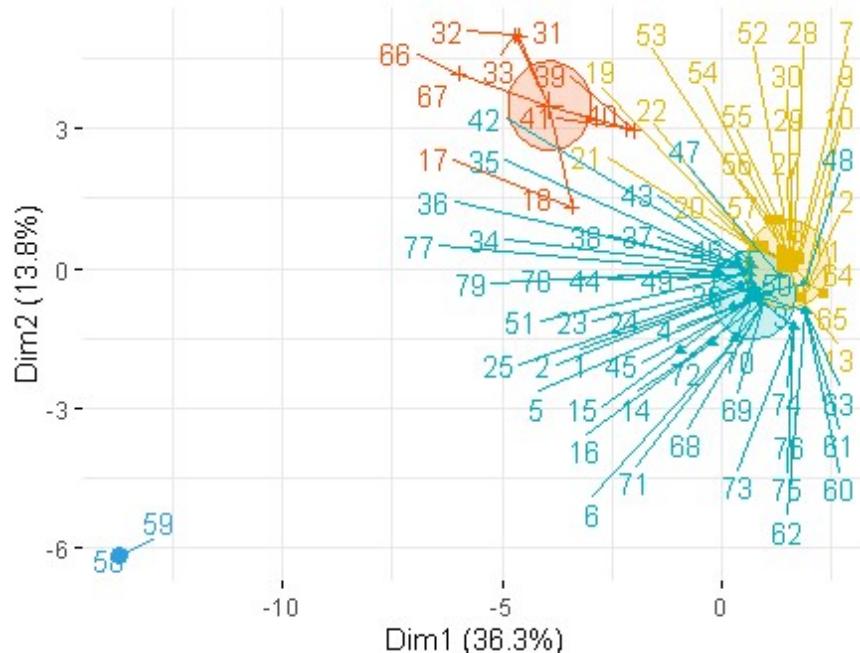
Os resultados de cada agrupamento foram representados em gráficos (8, 9, 10 e 11) das proximidades dos objetos e seus grupos.

Gráfico 8 – Clusters pelo banco de dados CAR_AREA



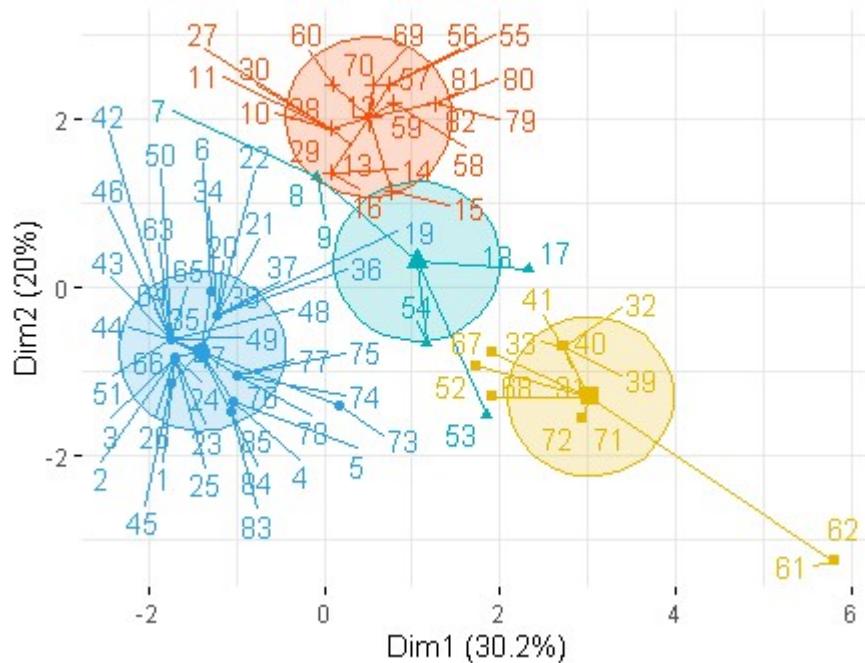
Fonte: o autor (2020)

Gráfico 9 – Clusters pelo banco de dados CAR_AREA, sem outliers



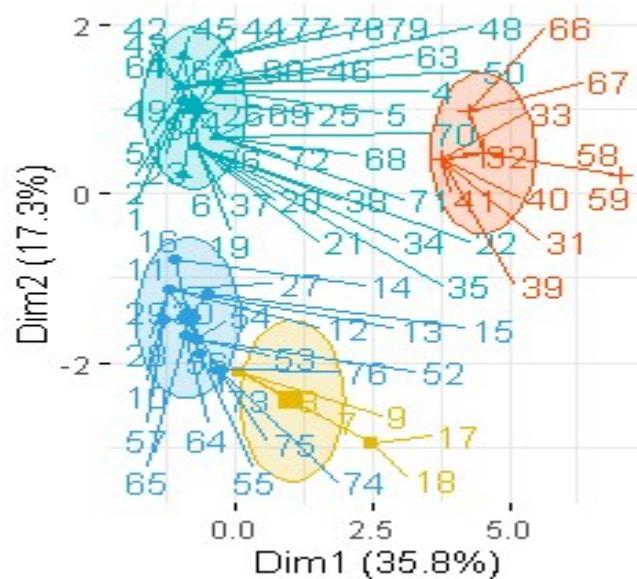
Fonte: o autor (2020)

Gráfico 10 – Clusters pelo banco de dados CAR_QTD



Fonte: o autor (2020)

Gráfico 11 – Clusters pelo banco de dados CAR_QTD, sem outliers



Fonte: o autor (2020)

Os resultados da formação dos clusters estão descritos na tabela 9. Em 22 amostras o agrupamento resultou em clusters diferentes, o que também é esperado, visto que os objetos próximos dependendo do banco de dados podem ser agrupados em mais de uma opção. O gráfico 12 demonstra a quantidade total de vezes que cada cluster é o escolhido em cada banco de dados.

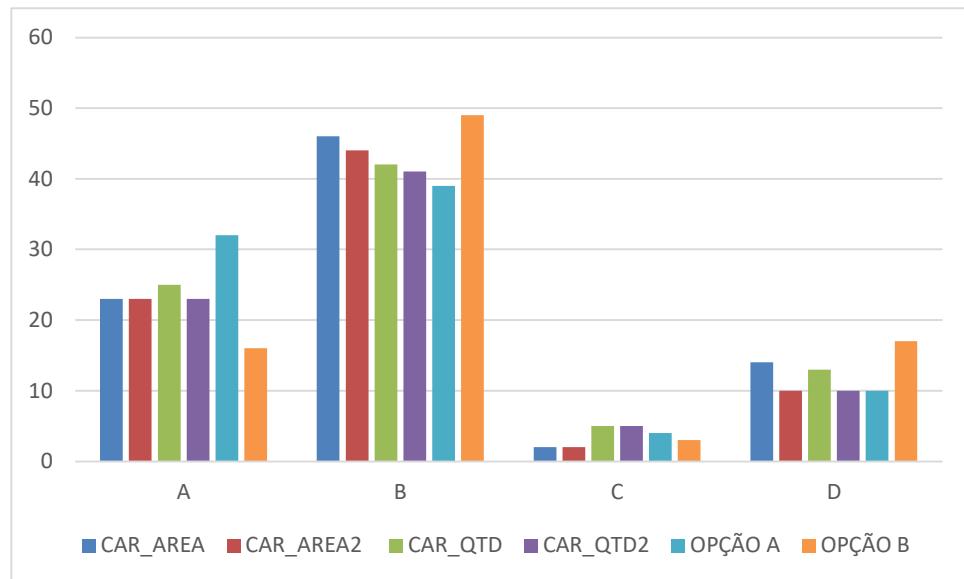
Tabela 9 – Formação final dos grupos

AMOSTRA	CLUSTER EM CADA BANCO DE DADOS					CLUSTERS FINAIS	
	AREA	AREA 2	QTB	QTB2	OPÇÃO (A)	OPÇÃO (B)	
1	2	2	2	2	2	2	
2	2	2	2	2	2	2	
3	2	2	2	2	2	2	
4	2	2	2	2	2	2	
5	2	2	2	2	2	2	
6	2	2	2	2	2	2	
7	1	1	3	3	1	3	
8	1	1	3	3	1	3	
9	1	1	3	3	1	3	
10	1	1	1	1	1	1	
11	1	1	1	1	1	1	
12	1	1	1	1	1	1	
13	1	1	1	1	1	1	
15	2	2	1	1	1	2	
16	2	2	1	1	1	2	
17	2	2	1	1	1	2	
18	4	4	3	3	3	4	
19	4	4	3	3	3	4	
20	1	1	2	2	1	2	
21	1	1	2	2	1	2	
22	1	1	2	2	1	2	
23	1	1	2	2	1	2	
24	2	2	2	2	2	2	
25	2	2	2	2	2	2	
26	2	2	2	2	2	2	
27	2	2	2	2	2	2	
28	1	1	1	1	1	1	
29	1	1	1	1	1	1	
30	1	1	1	1	1	1	
31	1	1	1	1	1	1	
33	4	4	4	4	4	4	
34	4	4	4	4	4	4	
35	4	4	4	4	4	4	
36	2	2	2	2	2	2	
37	2	2	2	2	2	2	
38	2	2	2	2	2	2	
39	2	2	2	2	2	2	
40	2	2	2	2	2	2	
42	4	4	4	4	4	4	

43	4	4	4	4	4	4
44	4	4	4	4	4	4
45	2	2	2	2	2	2
46	2	2	2	2	2	2
47	2	2	2	2	2	2
48	2	2	2	2	2	2
49	2	2	2	2	2	2
50	2	2	2	2	2	2
51	2	2	2	2	2	2
52	2	2	2	2	2	2
53	2	2	2	2	2	2
54	2	2	2	2	2	2
55	2	s/n	4	s/n	2	4
56	4	s/n	1	s/n	1	4
57	4	s/n	1	s/n	1	4
58	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1
64	3	3	4	4	3	4
65	3	3	4	4	3	4
66	2	2	2	2	2	2
67	2	2	2	2	2	2
68	2	2	2	2	2	2
69	2	2	2	2	2	2
70	4	s/n	4	s/n	4	4
71	4	s/n	4	s/n	4	4
72	1	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1	1
74	4	4	4	4	4	4
75	4	4	4	4	4	4
76	2	s/n	2	s/n	2	2
78	2	2	2	2	2	2
79	2	2	2	2	2	2
80	2	2	2	2	2	2
81	2	2	2	2	2	2
82	2	2	2	2	2	2
83	2	2	1	1	1	2
84	2	2	1	1	1	2
85	2	2	1	1	1	2
86	2	2	1	1	1	2
87	2	2	2	2	2	2
88	2	2	2	2	2	2
89	2	2	2	2	2	2

Fonte: o autor (2020)

Gráfico 12 – Resumo da quantidade de amostras x banco de dados



Fonte: o autor (2020)

3.6 MONTAGEM DA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

A partir da formação dos clusters, foi escolhido o agrupamento nº 2 como o mais representativo por conter o maior número de vezes em que foi o escolhido para representar o conjunto de edificações. A tabela 10 resume todas as características observadas, inclusive por cada cluster.

Tabela 10 – Resumo das características

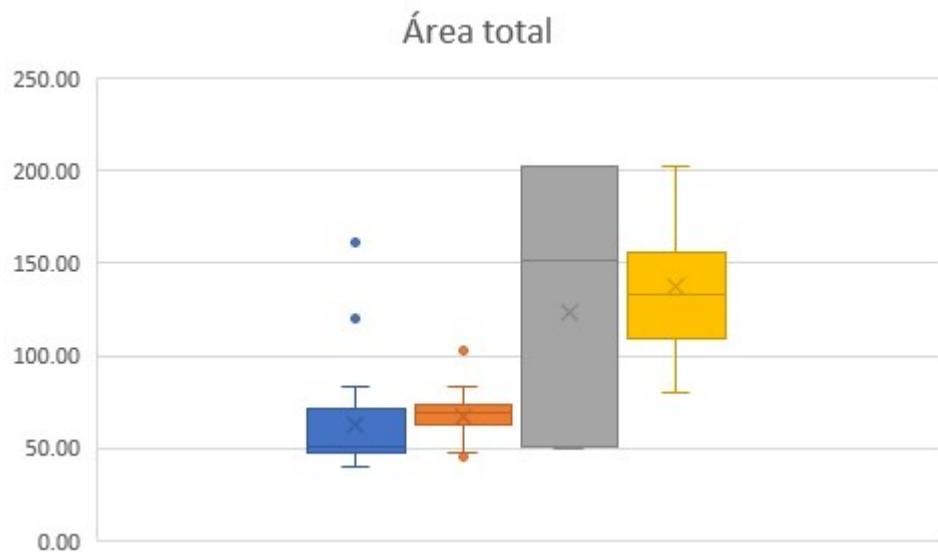
NOME	ATRIBUTO	Min.	Máx.	Média	Mediana	SD	Cluster	Cluster	Cluster	Cluster
							1	2	3	4
ID	N. de identificação	1.00	85.00	-	-	-	48.00	85.00	7.00	27.00
QTD	N. de casas	1.00	7.00	3.56	3	1.474	3.63	4.74	2.43	2.47
PE	Pé direito	2.65	3.02	2.78	2.80	0.069	2.80	2.78	2.83	2.77
ESP	Espessura da parede	0.1	0.2	0.1	0.1	0.015	0.117	0.122	0.129	0.129
ALT	Altura da cobertura	0.60	2.80	1.29	1.2	0.465	1.38	1.28	1.11	1.09
AB	Abertura	2.80	9.70	4.20	3.8	1.229	4.01	3.65	6.16	5.97
PISO	Quantidade de pisos	40.35	202.24	77.30	69.56	35.280	1.28	1.92	1.29	1.88
TOTAL	Área total da casa	22.56	119.15	46.37	37.26	21.645	62.54	66.82	122.82	136.83
INF	Área do piso inferior	0.00	83.09	30.93	35.72	20.733	47.50	32.82	79.98	79.10
SUP	Área do piso superior	2.65	3.02	2.78	2.8	0.069	15.04	34.00	42.84	57.73
QTD_A	Quantidade de quartos	2.00	4.00	2.20	2	0.458	2.06	2.02	2.86	3.00
A1	Área do quarto 1	6.90	22.04	10.94	10.88	2.798	9.73	10.62	13.29	14.28
JA1	Área de janela q1	1.00	4.20	2.76	3.15	0.913	2.31	3.02	2.69	3.41
A2	Área do quarto 2	5.40	16.16	8.91	8.54	1.769	8.42	8.73	9.37	10.59
JA2	Área de janela q2	1.00	3.57	1.92	1.5	0.814	1.42	1.86	1.92	1.69
A3	Área do quarto 3	0.00	13.30	1.93	0	3.974	0.47	0.16	4.88	9.67
JA3	Área de janela q3	0.00	3.15	0.29	0	0.644	0.07	0.04	0.89	1.92

A4	Área do quarto 4	0.00	10.73	0.25	0	1.636	0.00	0.00	3.07	1.26
JA4	Área de janela q4	0.00	1.92	0.05	0	0.293	0.00	0.00	0.55	0.23
QTD_B	Quantidade de bwcs	1.00	3.00	1.48	1	0.629	1.38	1.28	2.14	2.35
B1	Área do bwc 1	2.22	5.22	3.11	3.12	0.529	2.97	2.99	3.12	3.63
JB1	Área de janela do bwc 1	0.00	2.40	0.21	0.16	0.383	0.14	0.12	0.82	0.53
B2	Área do bwc 2	0.00	10.08	1.78	0	2.658	1.20	1.51	1.89	3.65
JB2	Área de janela do bwc 2	0.00	2.40	0.23	0	0.496	0.11	0.20	0.82	0.58
B3	Área do bwc 3	0.00	4.56	0.25	0	0.927	0.00	0.00	1.89	1.26
JB3	Área de janela do bwc 3	0.00	2.40	0.08	0	0.375	0.00	0.00	0.82	0.39
QTD_C	Quantidade de salas	1.00	2.00	1.08	1	0.277	1.16	1.00	1.71	1.24
C1	Área da sala 01	6.28	33.02	13.19	11.2	5.909	12.26	11.30	20.10	22.20
JC1	Área de janela s1	0.00	6.42	2.09	1.92	1.226	1.86	2.31	2.52	3.12
C2	Área da sala 02	0.00	10.79	8.93	7.2	1.758	0.00	0.00	8.93	2.42
JC2	Área de janela s2	0.00	3.15	0.07	0	0.480	0.00	0.00	0.90	0.37
QTD_D	Quantidade de cozinhas	1.00	1.00	1.00	1	0.000	1.00	1.00	1.00	1.00
D1	Área da cozinha 01	6.28	27.28	12.08	11.34	4.469	9.84	10.95	11.84	17.74
JD1	Área de janela c1	0.00	5.40	2.30	2.73	1.769	1.37	2.28	2.75	3.61
QTD_E	Quantidade de lav.	0.00	1.00	0.72	1	0.453	0.91	0.58	1.00	0.94
E1	Área da lavanderia	0.00	6.63	2.32	2.7	1.795	2.61	1.61	4.07	4.08
JE1	Área de janela l1	0.00	9.80	2.94	1.44	3.290	3.03	2.96	2.37	3.32
QTD_F	Quantidade de sacadas	0.00	2.00	1.02	1	0.462	0.91	1.14	1.29	1.06
F1	Área da sacada 01	0.00	13.06	2.63	2.26	2.009	1.78	2.52	3.37	4.77
F2	Área da sacada 02	0.00	4.19	0.33	0	0.957	0.39	0.40	0.69	0.46
QTD_G	Quantidade de corr.	0.00	2.00	0.98	1	0.577	0.72	1.18	1.00	0.71
G1	Área do corredor 01	0.00	10.50	2.82	2.35	2.102	3.06	2.53	3.37	3.43
G2	Área do corredor 01	0.00	3.17	0.43	0	0.912	0.13	0.68	0.00	0.14
QTD_H	Quantidade de lavabos	0.00	1.00	0.62	1	0.487	0.19	0.82	0.00	0.71
H1	Área do lavabo	0.00	2.70	1.09	1.35	0.931	0.27	1.30	0.00	1.63
QTD_I	Quantidade de churr.	0.00	2.00	0.13	0	0.402	0.03	0.00	0.57	0.41
I1	Área da churr 01	0.00	36.83	1.34	0	5.013	1.15	0.08	0.57	5.47
I2	Área da churr 02	0.00	0.00	0.00	0	0.000	0.00	0.04	4.34	0.00
QTD_J	Quantidade de garagens	0.00	1.00	0.15	0	0.362	0.00	0.02	0.29	0.76
J1	Área da garagem	0.00	30.86	3.07	0	7.668	0.00	0.21	7.14	15.35

Fonte: o autor (2020)

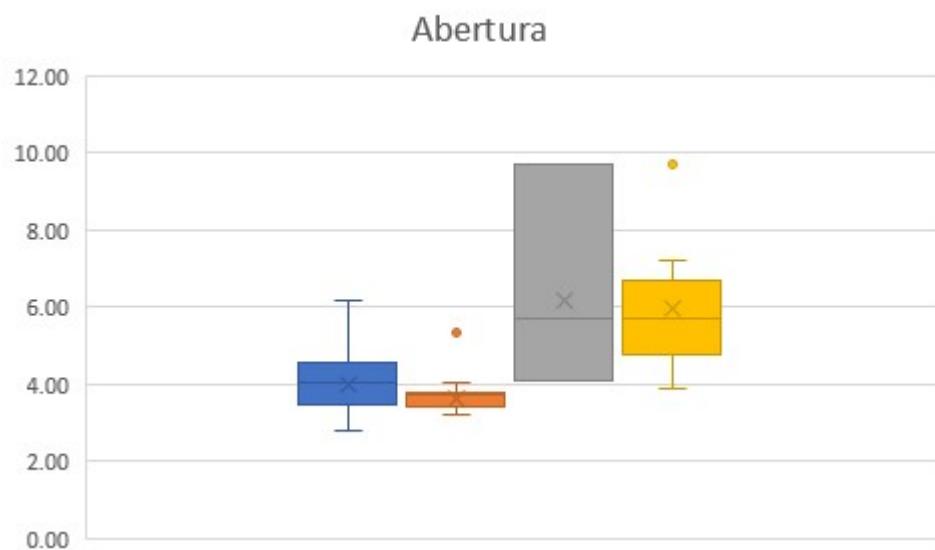
Uma tentativa de classificação dos clusters pode ser feita pela análise de boxplot das áreas totais e das aberturas de cada cluster, gráficos 13 e 14. Verifica-se que o grupo 2 é bem homogêneo quanto ao tamanho da abertura entre muros, com média de 3,65m, sendo a menor das médias dentre todos os clusters. Entretanto este grupo apresenta ao mesmo tempo média ligeiramente superior de área total com 66,82m², bem como quase todo o grupo é composto por 2 pavimentos (sobrado), enquanto o grupo 1 são boa parte casas térreas geminadas.

Gráfico 13 – Boxplot da área total por cluster



Fonte: o autor (2020)

Gráfico 14 – Boxplot da abertura por cluster



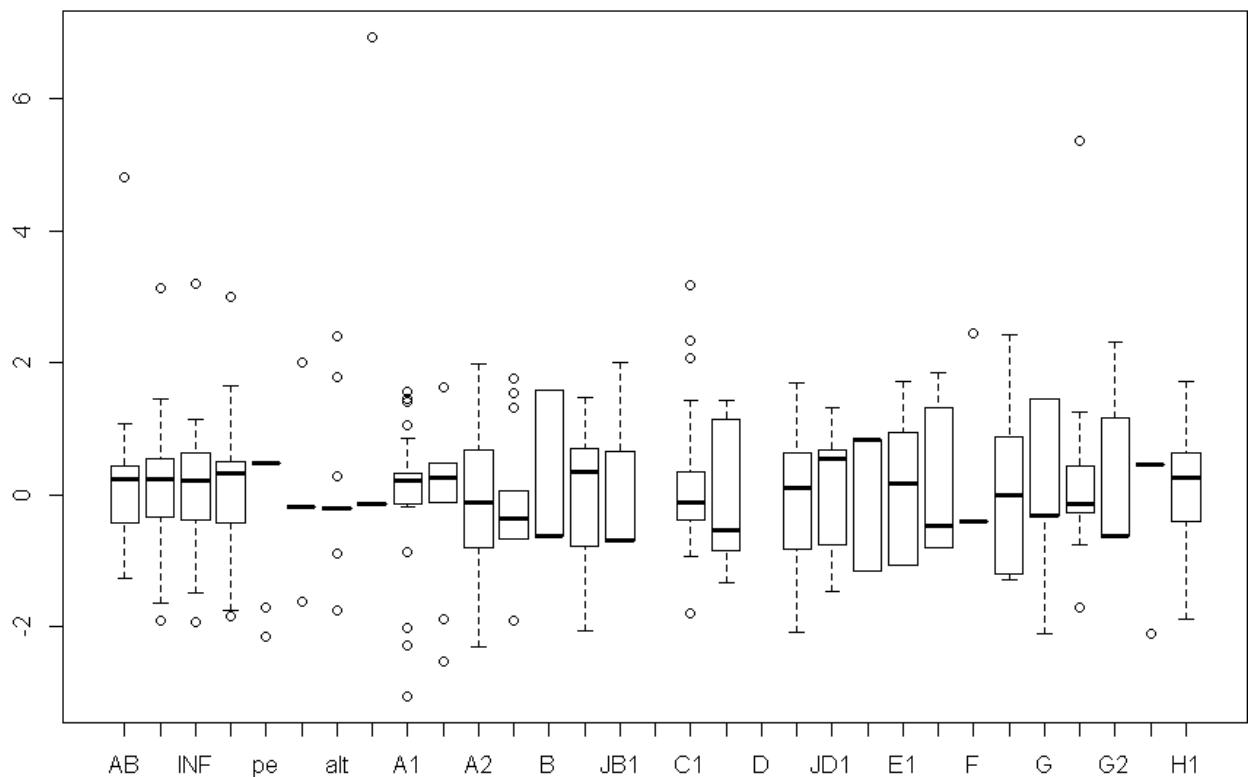
Fonte: o autor (2020)

3.6.1 Desenvolvimento de modelo – seleção de variáveis explicativas

Com a separação do banco de dados apenas para o cluster 2, foi inicialmente verificada a distribuição das variáveis, através do gráfico 15 – boxplot. Como são várias as variáveis explicativas, é importante simplificar o modelo. São realizadas duas operações

para isso. Inicialmente criados dois modelos de regressão linear multivariada. O primeiro modelo contempla a variável resposta (Área Total), em função das independentes relacionadas a quantidades de ambientes, (nº de quartos, banheiros, sala, cozinha, lavanderia, corredores e lavabo). E o segundo modelo proposto contendo a variável dependente (Área Total), em função das áreas de cada ambiente.

Gráfico 15 – Boxplot variáveis do cluster 2



Fonte: o autor (2020)

Equação 4 – Modelo nº 1 (função da quantidade de ambientes)

$$TOTAL = A * x1 + B * x2 + C * x3 + D * x4 + E * x5 + F * x6 + G * x7 + Int. \quad (4)$$

onde:

Total = é a área total da edificação;

A = número de quartos;

B = número de banheiros;

C = número de salas;

D = número de cozinhas;

E = número de lavanderias;

F = número de sacadas;
 G = número de corredores;
 $Int.$ = Intercepto

Equação 5 – Modelo nº 2 (função da área dos ambientes)

$$TOTAL = A1 * x1 + A2 * x2 + B1 * x3 + C1 * x4 + D1 * x5 + E1 * x6 + F1 * x7 + G1 * x8 + G2 * x9 + Int. \quad (5)$$

onde:

$Total$ = é a área total da edificação;
 $A1, A2$ = área dos quartos 1 e 2
 $B1$ = área do banheiro;
 $C1$ = área da sala;
 $D1$ = área da cozinha;
 $E1$ = área das lavanderias;
 $F1$ = área da sacada frontal;
 $G1, G2$ = áreas de corredores 1 e 2;
 $Int.$ = Intercepto

O procedimento para seleção ou exclusão de variáveis é baseado em um algoritmo que checa a importância das variáveis, incluindo ou excluindo-as do modelo se baseando em uma regra de decisão. A importância da variável é definida em termos de uma medida de significância estatística do coeficiente associado à variável para o modelo.

Para aplicação no R, foi utilizado o algoritmo *Stepwise*. Ele utiliza um teste F para avaliar a importância de variáveis quando utilizados modelos de regressão linear. Assim, em cada passo do procedimento a variável mais importante, em termos estatísticos, é aquela que produz a maior mudança no logaritmo da verossimilhança em relação ao modelo que não contém a variável. (PORTAL ACTION, 2020).

O 1º modelo tem uma equação ajustada, (com P-valor <0.05) para a equação 6, com R^2 de 0,5209 e R^2 ajustado de 0,4897:

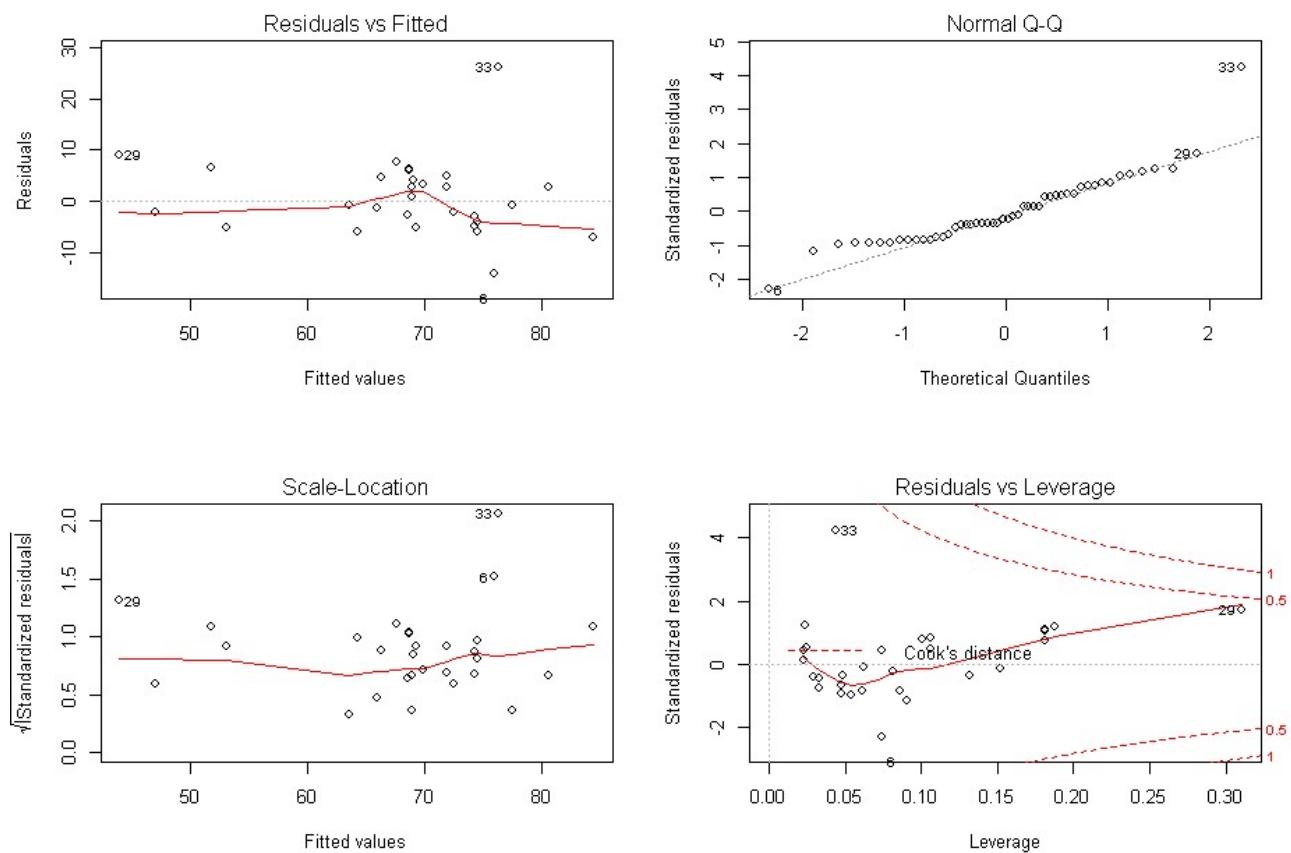
$$TOTAL = 32,004 * A + 5,627 * E + 9,412 * G \quad (6)$$

E o 2º modelo tem uma equação ajustada, (com P-valor <0.05) para a equação 7, com R^2 de 0,7134 e R^2 ajustado de 0,6947:

$$TOTAL = 5,2283 * A1 + 6,1744 * B1 + 8,2479 * F1 - 28,008 \quad (7)$$

Essas equações mostram correlação entre a área total e algumas variáveis explicativas, especialmente número e quantidade de quartos. Serve especialmente como forma de validação da edificação de referência e indica os pontos mais sensíveis a serem observados na construção do modelo. O gráfico 16, demonstra alguns parâmetros de análise dos resíduos da equação 7.

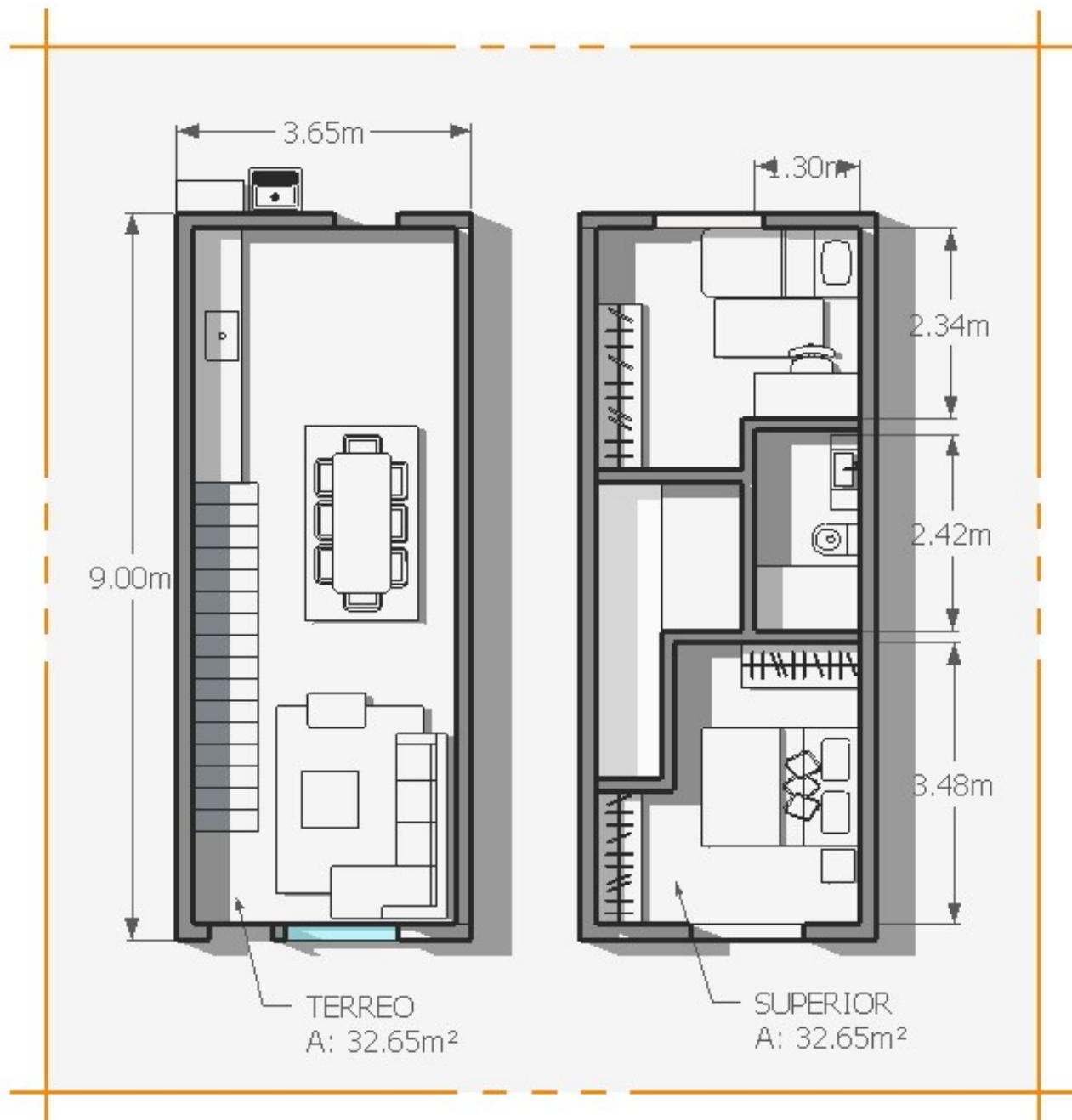
Gráfico 16 – Medidas de resumo da equação característica (7)



Fonte: o autor (2020)

Com base nas médias das observações do cluster 2, foi proposta a seguinte planta baixa que represente todo o grupo de referência (Figura 15). O geminado de referência contém as seguintes características (Tabela 11).

Figura 15 – Planta baixa da edificação de referência



Fonte: o autor (2020)

Tabela 11 – Resumo das características da edificação de referência

Variáveis	Valores da amostra			Valor adotado	
	Min.	Max.	Média	Valor do projeto	dif para média
Pé-direito	2.65	2.88	2.78	2.80	-0.57%
Espessura paredes	0.10	0.12	0.12	0.12	1.96%
Altura da cobertura	0.60	1.47	0.87	1.00	-15.61%
Abertura	3.20	5.35	3.65	3.65	-0.03%
Área Total	44.95	102.64	66.82	65.30	2.27%
Área Inferior	22.56	49.80	32.82	32.65	0.52%
Área Superior	22.39	52.84	34.00	32.65	3.97%
Quantidade de quartos	2.00	3.00	2.02	2.00	0.99%
Área do quarto 1	7.02	12.47	10.62	9.57	9.89%
Área do quarto 2	5.40	11.62	8.73	8.78	-0.57%
Área da janela do quarto 1	1.20	4.20	3.01	3.01	0.00%
Área da janela do quarto 2	0.00	3.57	1.85	1.62	12.43%
Quantidade de banheiros	1.00	2.00	1.28	1.00	21.88%
Área do banheiro	2.20	3.54	2.99	3.22	-7.69%
Área da janela do banheiro	0.00	0.12	0.15	-	-
Área da sala	6.28	20.12	11.30	13.98	-23.67%
Área da janela da sala	1.32	3.36	2.30	2.10	8.70%
Área da cozinha	6.28	14.73	11.21	13.98	-24.67%
Área da janela da cozinha	0.00	4.35	2.27	0.85	62.56%
Área da lavanderia	0.00	4.22	1.61	2.92	-81.37%
Área da janela da lavanderia	0.00	9.80	2.96	-	-
Área da sacada	1.91	3.68	2.52	2.92	-15.87%
Área do corredor	0.00	10.50	2.53	1.83	27.67%
Área do lavabo	0	2.5	1.48	-	-

Fonte: o autor (2020)

3.7 PARÂMETROS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

3.7.1 Parâmetros principais

Foram realizadas simulações computacionais de eficiência energética do modelo padrão com o auxílio do software *Energy Plus*. O objetivo foi caracterizar a eficiência energética dos modelos, e quais melhores representam o sistema tradicional de construção de geminados em Joinville.

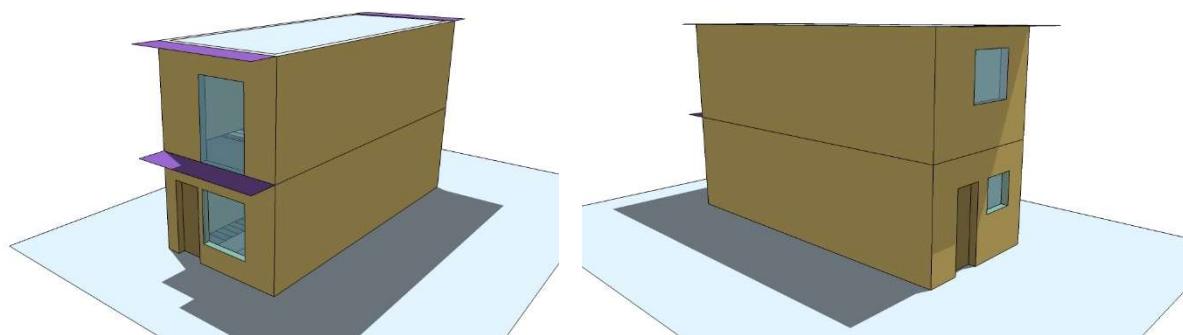
A modelagem da envoltória da edificação considerou cada ambiente modelado como uma única zona térmica, exceto nos casos onde esses ambientes são muito similares,

podendo os mesmos serem considerados um ambiente único, por não haver variabilidade nos resultados, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação. No caso, foram consideradas apenas 2 zonas térmicas, piso inferior e piso superior.

O clima de Joinville foi considerado pelo arquivo climático de Joinville – aeroporto, pois apresentou as maiores temperaturas durante o ano, já descritos no capítulo 2. A modelagem do protótipo no programa *Energy Plus* foi feita da seguinte forma:

- As trocas de calor entre o piso e o solo são calculadas pelo objeto *Ground Domain:Slab*.
- 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 essa troca.
- O controle da ventilação é realizado pela variável *Temperature*, juntamente com as rotinas de abertura de portas e janelas. Essa variável funciona da seguinte forma, quando a temperatura interna é menor que o valor da temperatura de *setpoint* (neste caso, 18°C) as aberturas se fecham, quando a edificação não está sendo utilizada, as aberturas também estão fechadas, nos demais casos as janelas permanecem abertas.
- A geometria dos modelos é configurada com auxílio do plugin *Euclid*, dentro do programa *SketchUp*. Foram modeladas as zonas térmicas, as aberturas, o sombreamento e a orientação solar. A figura 17, representa a envoltória da edificação simulada.

Figura 17 – Visualização tridimensional do projeto



Fonte: o autor (2020)

3.7.2 Parâmetros da envoltória - construtivos

Os valores de propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos (*constructions*) foram retirados da biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *Energy Plus*, elaborada por Weber et. al, 2017 no LabEEE – Laboratório de Eficiência energética da UFSC, sendo uma revisão das propriedades construtivas constantes na NBR 15.220. A tabela 12, resume os dados utilizados e as camadas dos componentes de cada sistema. Os sistemas foram construídos considerando sempre da camada externa para a camada interna o sentido do fluxo térmico solar.

Tabela 12 – Resumo das propriedades dos componentes construtivos

		Espessura (m)	Condutividade (W/m*K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg*K)	Absortância térmica	Resistência térmica (m ² *K/W)
Laje concreto (Chão)	concreto	0.15	1.75	2400	1000	0.9	
Laje concreto	concreto	0.04	1.75	2400	1000	0.9	
	EPS	0.07	0.223	373	1000	0.3	
Paredes (blocos de tijolo)	Reboco externo	0.025	1.15	2000	1000	0.5	
	Tijolo	0.12	0.9	1600	920	0.8	
	Espaço de ar (tijolo)	-	-	-	-	-	0.56
	Reboco interno	0.015	1.15	2000	1000	0.3	
Telhado cerâmico	Telha cerâmica	0.01	1.05	1900	840	0.8	
	Espaço de ar	-	-	-	-	-	0.21
	concreto	0.04	1.75	2400	1000	0.9	
	EPS	0.07	0.223	373	1000	0.3	
Janelas	Vidro	0.003	0.9	2600	670	0.87	
Portas	Madeira	0.03	0.29	800	1340	0.7	

Fonte: o autor (2020)

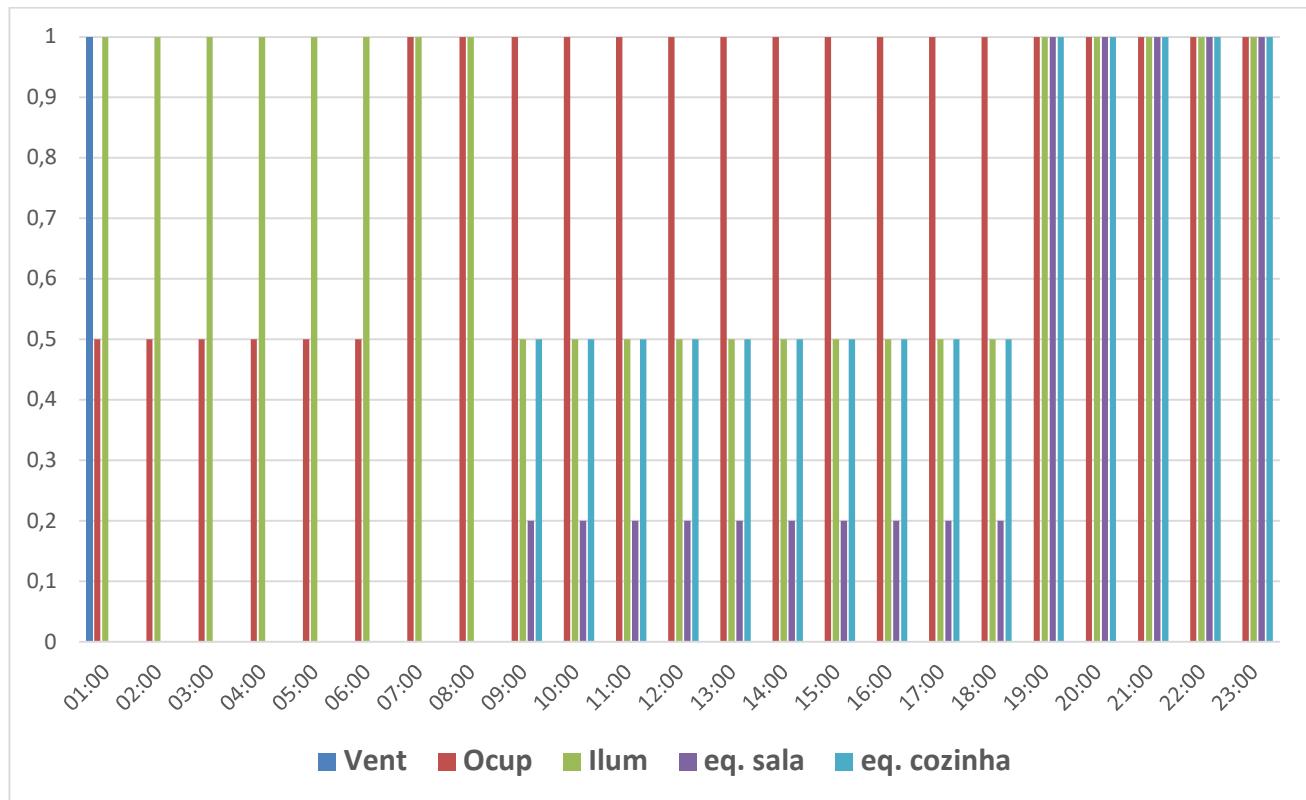
3.7.3 Parâmetros da ocupação

Os parâmetros de ocupação foram definidos para uma família de 3 pessoas (2 adultos e 1 criança), considerando uma atividade metabólica de 90W. O gráfico 17, concentra os valores de ocupação do objeto schedule, utilizado na simulação. Este objeto é o multiplicador para cálculo das cargas térmicas internas.

Para o cálculo das cargas elétricas foram considerados:

- Iluminação: 5 W/m²;
- Equipamentos sala e quartos: 150 W, para cada zona térmica;
- Equipamentos constantes (sempre ligados): 100 W;
- Equipamentos cozinha: 200 W.

Gráfico 17 – Resumo dos horários de funcionamento - schedules



Fonte: o autor (2020)

4 RESULTADOS

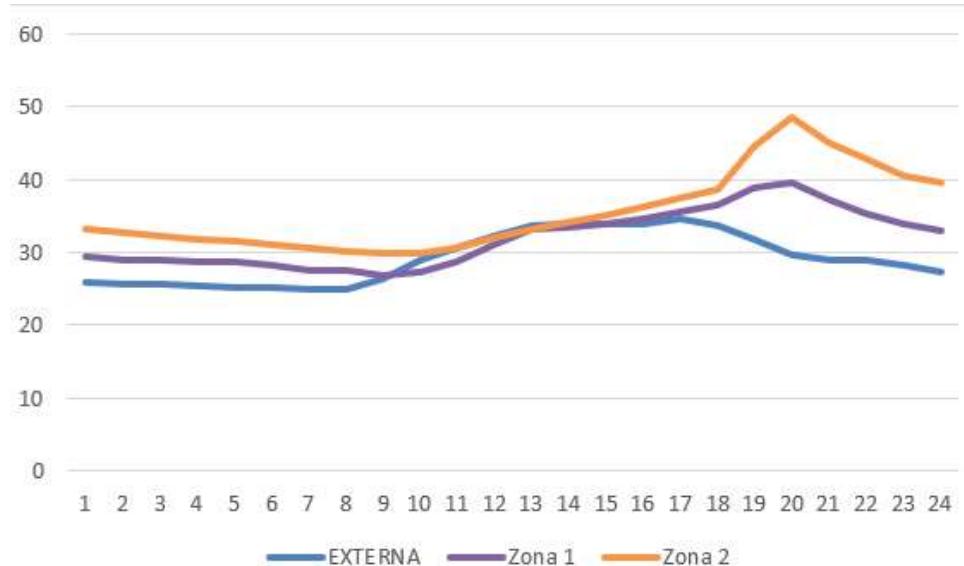
Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações de desempenho energético, e alguns mapas com objetivo de caracterizar o padrão de ocupação de geminados na cidade de Joinville.

O principal parâmetro utilizado é de graus hora. Ele é a soma da diferença de temperatura que está fora de uma faixa de conforto pré-determinada (18° a 26°), podendo ser acima de uma determinada temperatura (graus-hora de resfriamento), abaixo de uma determinada temperatura (graus-hora de aquecimento) ou o somatório dos dois parâmetros, sendo chamado de graus-hora total.

Para o dia típico de verão, foi considerada a data de 27/jan que apresenta temperatura média de $29,18^{\circ}\text{C}$, com máxima de $34,63^{\circ}\text{C}$ as 13:00h. O gráfico mostra as temperaturas das zonas térmicas e externa dessa data durante as 24:00h do dia. Foram simulados 4 casos. Considerando a variação na orientação da fachada para norte, sul, leste e oeste.

O pior cenário, foi com a fachada frontal para oeste. Neste caso, houve uma média de $3,52^{\circ}\text{C}$ de temperatura interna na zona térmica 2 (piso superior), acima da temperatura externa. Mas observa-se que este é um caso extremo.

Gráfico 18 – Variação de temperaturas ao longo de 27/jan. – dia típico verão



Fonte: o autor (2020)

Já para o dia típico extremo de inverno 10/jun, cujas temperaturas médias são de 12,38º e mínima de 6,75ºC. As temperaturas internas sempre se mantiveram acima das temperaturas externas.

Gráfico 19 – Variação de temperaturas ao longo de 10/jun. – dia típico inverno



Fonte: o autor (2020)

Conforme a NBR 15.575 que trata do desempenho das edificações, na parte tocante ao desempenho térmico deve ser garantido que os valores máximos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada sejam sempre menores ou iguais ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior para o dia típico de verão (Nível Mínimo de desempenho). Para os Níveis Intermediário e Superior, devem ser observados os limites assinalados na figura 18.

Verifica-se que as temperaturas no dia típico de verão estão bem superiores aos limites impostos pela norma. Neste caso pode ser simulado não pelo dia extremo de verão ou inverno, mas pela média dos dias típicos. O arquivo climático de Joinville – aeroporto informa que o dia típico médio de verão é 10/fev. e de inverno 22/jun.

Para o dia típico médio de verão em 16/fev., as temperaturas médias são de 26,62°C com máxima de 30,00 °C ao meio dia. Constatase que a temperatura interna ultrapassa em 1,77°C as temperaturas das zonas térmicas. Porém, isso é devido a erros na redação e metodologia da norma. Logicamente que a temperatura interna dos ambientes poderá

estar mais alta que as temperaturas externas no período noturno.

Considerando o período mais quente do dia 10:00h até as 18:00h, as temperaturas externas (T_{ext}) estão maiores que as temperaturas internas (T_{int}), em uma média de 2,2°C. Pode-se classificar estas edificações como desempenho intermediário, segundo a NBR 15.575.

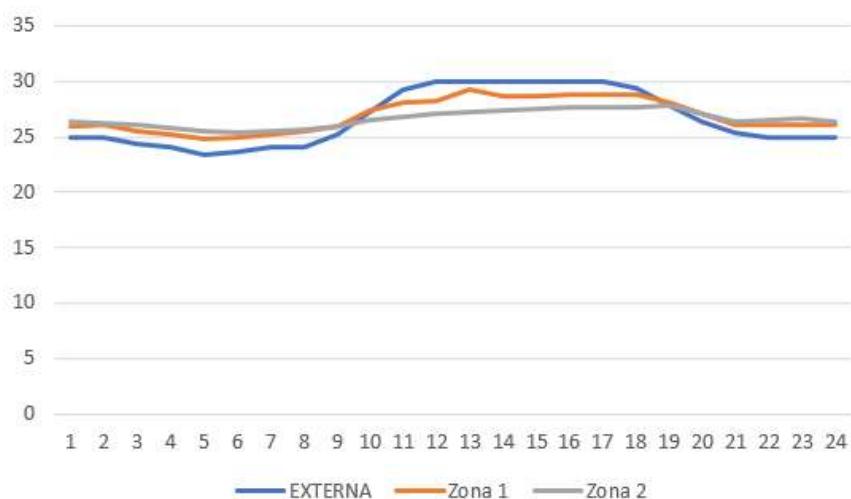
Figura 17 – Resumo da NBR 15.575 com faixas de desempenho térmico

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2°C)$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1°C)$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4°C)$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2°C) \text{ e } T_{i,mín.} \leq (T_{e,mín.} + 1°C)$

$T_{i,máx.}$ É o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,máx.}$ É o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 $T_{i,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín.}$ É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
Nota Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3, Figura 16 do presente guia.

Fonte: CBIC (2015)

Gráfico 20 – Variação de temperaturas ao longo de 16/fev. – dia típico médio de verão

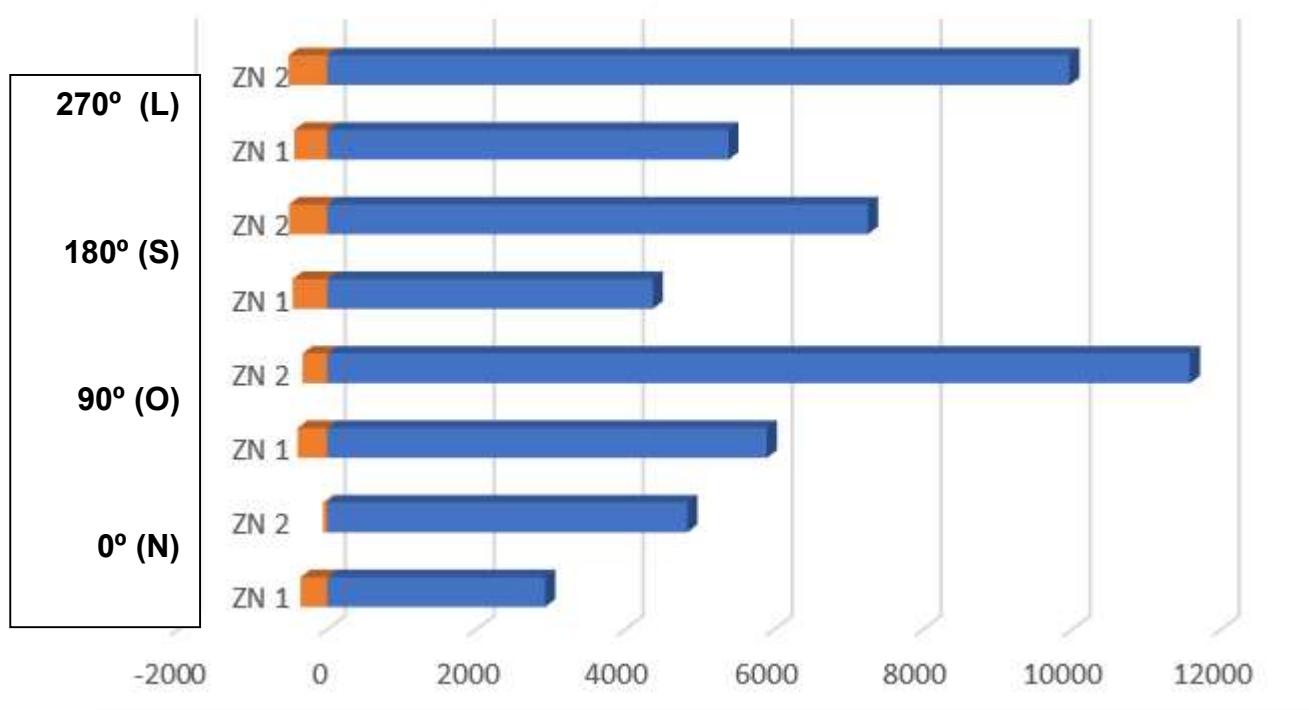


Fonte: o autor (2020)

4.1 GRAUS HORA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

A análise de graus-hora total, ou seja, a somatória dos graus-hora para resfriamento e aquecimento permite ter uma compreensão de como a edificação se comporta ao longo de todo o ano (Gráfico 21 e tabela 13).

Gráfico 21 – Graus hora de resfriamento e aquecimento



Fonte: o autor (2020)

Tabela 13 – Graus hora de resfriamento e aquecimento

0°C		90°C		180°C		270°C	
ZN 1	ZN 2	ZN 1	ZN 2	ZN 1	ZN 2	ZN 1	ZN 2
2923	4832	5899	11579	4369	7256	5383	9960
-361	-57	-399	-332	-465	-513	-445	-522

Fonte: o autor (2020)

O conceito de graus hora é o utilizado atualmente pelo RTQ-R. Já estão em vistas finais a nova proposta para avaliação de eficiência energética. Nesta nova classificação, a utilização de graus hora será substituído por um parâmetro mais simples. Trata-se do percentual de horas ocupadas em conforto, um parâmetro mais palpável. Também se pretende classificar a edificação com base no consumo de energia primária.

Energia primária é a forma de energia disponível na natureza que não foi submetida a qualquer processo de conversão ou transformação. É a energia contida nos combustíveis ainda brutos (primários). Pode ser proveniente de fontes renováveis ou não renováveis. Quando não utilizada diretamente, pode ser transformada em fontes de energia secundárias (eletricidade, calor, etc.).

O novo conceito é que para avaliar a eficiência de dois equipamentos, ou sistemas, utilizados para o mesmo uso final de energia, como por exemplo consumo de chuveiro elétrico *versus* aquecedor de passagem, não se pode apenas considerar o consumo energético do aparelho. É necessário considerar a energia consumida em toda a cadeia de transformação desde a fonte de energia primária até a energia final.

O selo de eficiência energética do RTQ-R, será similar a figura 18. A proposta é que a utilização de energia elétrica nas residências utilize um fator de correção, multiplicador de 1,5, enquanto as fontes de gás natural ou GLP de 1,1.

Figura 18– Novo selo RTQ-R

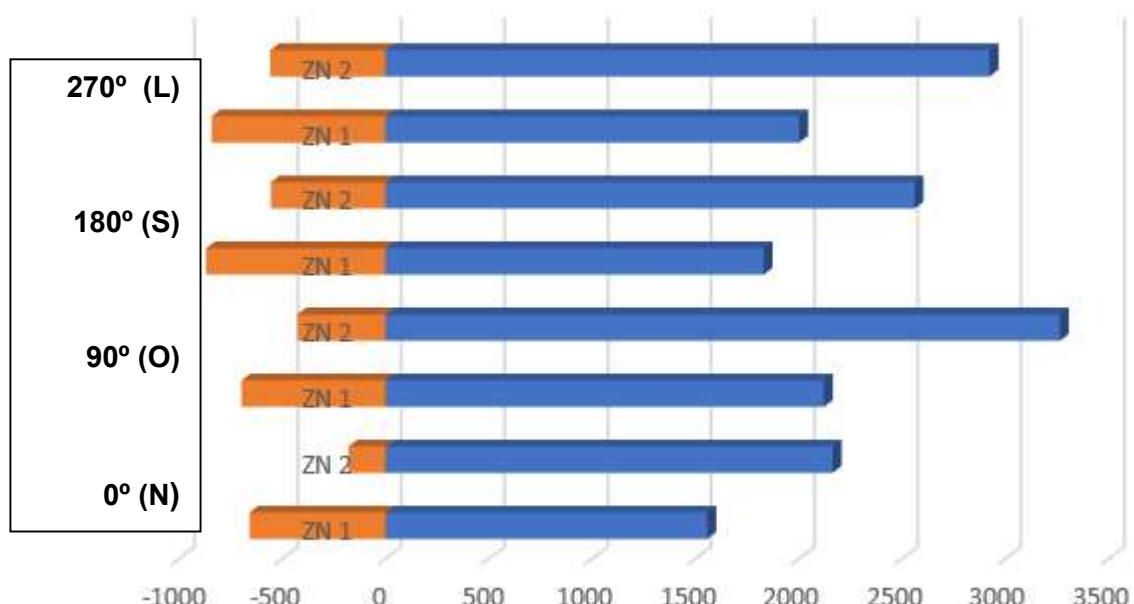


Fonte: CB3E (2017)

Esta pesquisa não tem por objetivo avaliar a energia primária consumida, pois seria necessário adicionar uma modelagem de sistema de refrigeração e aquecimento. Optou-se por apenas a simulação por ventilação natural. Assim, os resultados de horas de desconforto estão apresentados no gráfico 22.

Os resultados de percentual em conforto, já em conformidade com o novo selo são de 74,0% para edificação com fachada principal a norte (0°); 62,9% a oeste (90°); 66,8% a sul (180°) e 63,9% a leste (270°). O pior dos cenários é quando as maiores áreas de abertura, correspondendo a superfícies translúcidas estão com suas orientações a oeste. No caso de geminados, as paredes laterais são adiabáticas, ou seja, não recebem carga térmica, por isso um quase espelhamento entre os resultados de 90° e 270°.

Gráfico 22 – Horas de desconforto devido a temperatura



Fonte: o autor (2020)

4.2 ANÁLISE DAS EDIFICAÇÕES COM BASE NA GEO-LOCALIZAÇÃO

A localização de edificações geminadas é bastante frequente em localidades de renda mais baixa, e nas periferias da cidade, visto que é uma forma bastante simples e barata de se construir. Foi verificado que podem sim, existirem geminados de alto padrão, com aberturas de quase 10m entre casas e até com 4 quartos. Porém estes são minoria dos casos. Localizando as unidades pesquisadas no mapa fornecido pela prefeitura municipal no guia cidade em dados, verifica-se estes pontos.

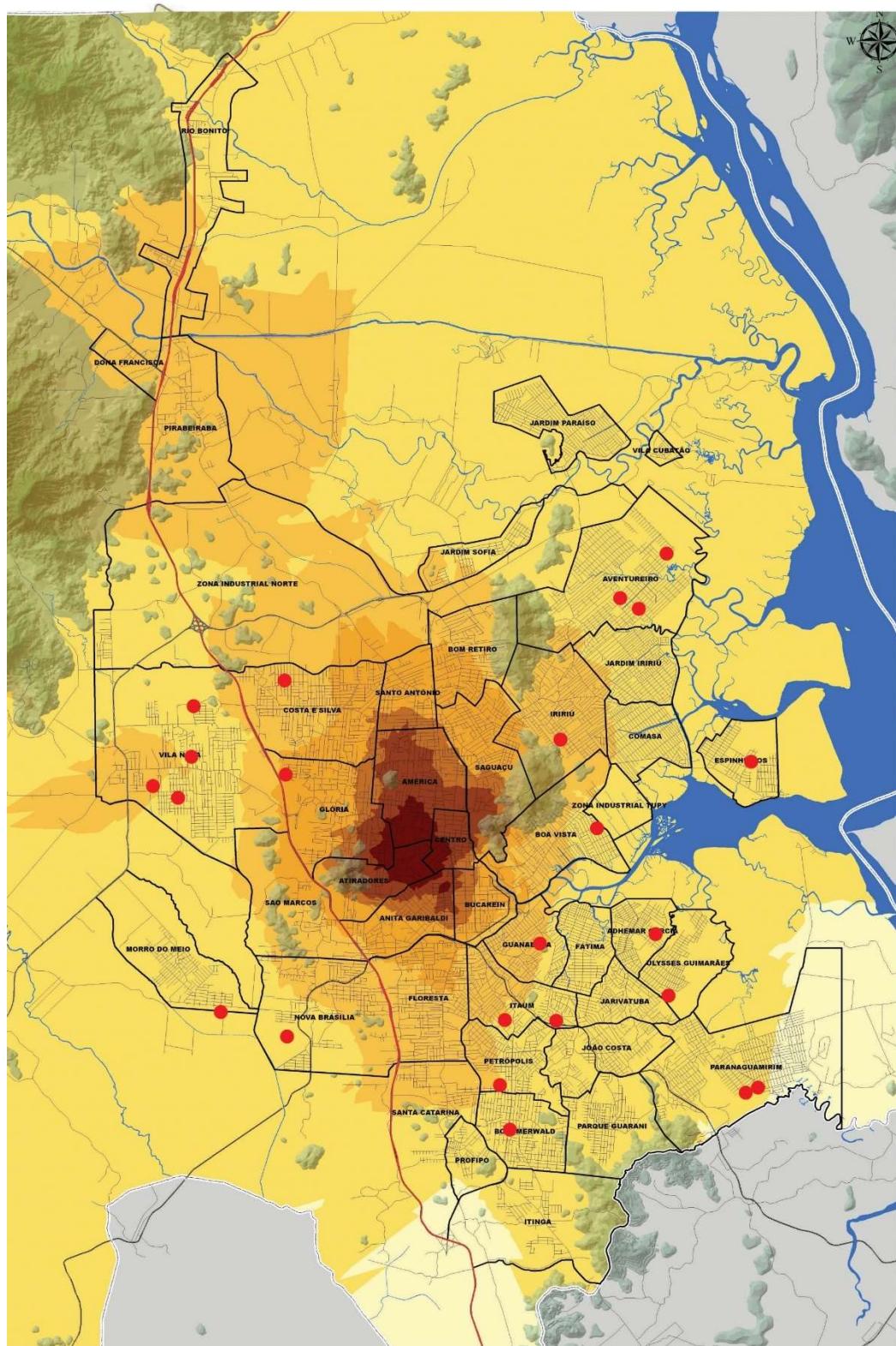
O primeiro dos mapas mostra a renda média da população de cada bairro. São criadas 5 escalas de tons de amarelo. As edificações pesquisadas encontram-se, exceto em um caso nas faixas mais claras (1 e 2), correspondendo aos menores valores de renda.

O segundo mapa reflete a densidade demográfica. Visualmente não é possível verificar correlação entre regiões populosas a construções geminadas. Uma das explicações é que bairros com loteamentos novos e afastados, apresentam baixa densidade e grande quantidade de unidades, como o caso do bairro Vila Nova.

Entretanto é nítido que as edificações orbitam o centro da cidade. Conclui-se que esta tipologia é relativamente recente, justificando o porquê desta pesquisa. É de grande relevância para a sociedade e para os construtores poder avaliar rapidamente que a tipologia geminada pode atender aos parâmetros térmicos estabelecidos em normas. Isto contribui para o debate qualificado sobre o zoneamento das cidades, onde constantemente se discute a presença desse tipo de edificação, e com qual qualidade se está construindo.

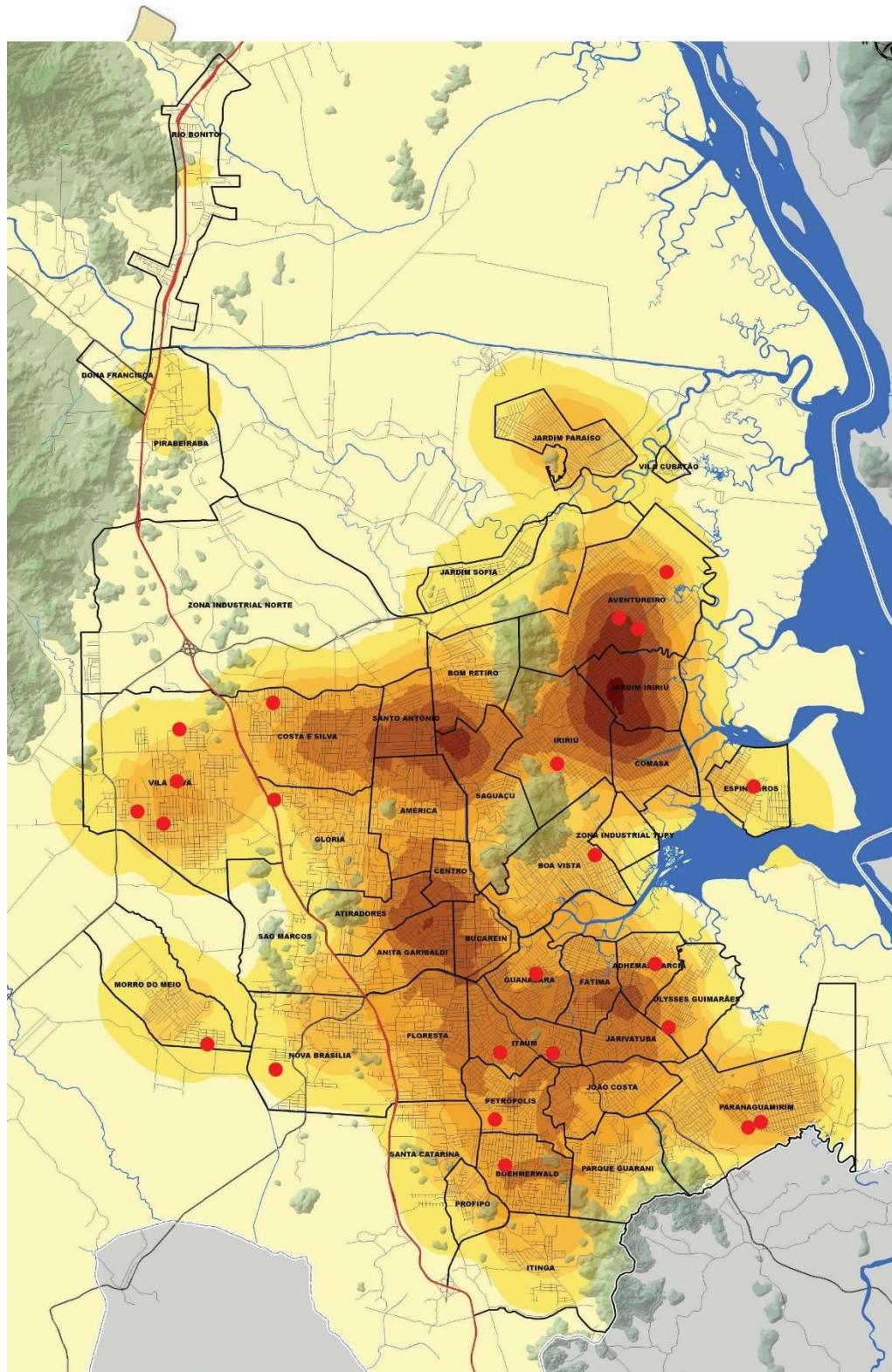
Para uma cidade com boa parte da população de classe operária, é importante que edificações baratas estejam sendo construídas, e que consigam atender a expectativa de conforto dos seus ocupantes.

Figura 19 – Renda por região e localização das unidades



Fonte: Joinville em dados (2016)

Figura 20 – Densidade demográfica e localização das unidades



Fonte: Joinville em dados (2016)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a eficiência energética, juntamente com o conforto térmico de uma edificação geminada típica da cidade de Joinville.

Primeiramente, através de uma revisão de literatura, identificaram-se quais são os parâmetros físicos que exercem influência sobre o desempenho termo energético das edificações. Os estudos e as normas apontaram que esses são: as propriedades termo físicas dos materiais, o contato da edificação com o solo, a absorção das paredes e coberturas, a orientação solar da edificação e das aberturas, a forma da edificação, a área das fachadas e aberturas, o tamanho dos ambientes, a área de abertura para ventilação, o sombreamento, a disposição das aberturas e a forma como ocorre a ventilação.

O arquivo climático a ser utilizada nas simulações também foi escrutinado. Ele deve representar da melhor forma possível o microclima local. Desta forma, foram verificados os arquivos de 3 localidades. Duas em Joinville, e uma da cidade com referência em normas mais próximas, que é Itapoá. Verificou-se diferenças significativas entre os arquivos, especialmente na ventilação. Optou-se pelo arquivo climático do aeroporto, especialmente pelo motivo de que o arquivo de Joinville – UDESC foi realizado por alunos de graduação e ainda não foi publicado em forma de artigo, ou outra fonte. Já o arquivo do aeroporto, desenvolvido por Roriz possui mais credibilidade.

A ventilação é bastante influente no conforto térmico da edificação, pois retira o calor armazenado durante o dia e quando bem dimensionada pode impactar de forma positiva em climas quentes e úmidos, como é o caso do clima em estudo, que apesar de apresentar desconforto por frio, o desconforto por calor age de forma mais intensa.

A partir disso, foram levantadas informações de projetos de 89 unidades geminadas. Esses dados foram simplificados e resultaram em uma matriz de todas as unidades com os parâmetros mais relevantes. Dessa forma, foi possível conhecer melhor as características dessas edificações.

A partir do banco de dados realizou-se a análise de agrupamentos., utilizando técnicas que identificassem os outliers, no caso a distância de Mahalanobis, o método de Ward para a formação de dendogramas que auxiliassem com evidências dos melhores particionamentos e pôr fim a partição em torno de clusters, através do algoritmo não hierárquico K-means.

Obtiveram-se então, quatro agrupamentos e a partir das médias das características do cluster mais representativo, o 2 foi construído um projeto que melhor representava a maioria das edificações, tanto pelo seu agrupamento, quanto pelo seu tamanho e características.

A utilização da análise de agrupamento mostrou-se uma técnica eficaz, objetiva e que possui embasamento na literatura para o estudo de um estoque de edificações, por meio de modelos de referência. No entanto, por essa ser uma técnica exploratória e não inferencial é primordial que o

pesquisador tenha domínio das variáveis que irão compor a matriz de dados, de forma que essas sejam relevantes ao problema, não aumentando os ruídos devido aos excessos de informações coletadas.

A análise dos resultados deu-se por meio dos graus-hora de resfriamento e aquecimento e horas ocupadas em conforto. Utilizou-se como temperatura base a temperatura de conforto adaptativo mais corrente na literatura que é de 18º a 26ºC.

A partir do trabalho apresentado, concluiu-se que o objetivo geral deste estudo foi alcançado. O modelo de referência de edificações geminadas de Joinville foi determinado. A edificação foi simulada e os parâmetros construtivos foram analisados do ponto de vista do conforto térmico e da contribuição para o desempenho da edificação.

Limitações quanto à etapa de levantamento dos dados:

- O tempo para coleta de dados foi escasso. Porém foi coletado um número aceitável de informações que permitiram o desenvolvimento da pesquisa. Para pesquisas futuras recomenda-se a ampliação da quantidade de unidades pesquisadas.
- Existe algum grau de imprecisão dos levantamentos de algumas variáveis como o material das paredes. Esses materiais foram aferidos por projetos, não havendo validação in loco das edificações construídas, por sua impossibilidade prática.
- A inclusão de dados em relação aos equipamentos e gasto com energia deixaria o trabalho mais completo, visto que esses são importantes para o desempenho termo energético da edificação. devido ao tempo hábil para realização do trabalho, não foram realizados.
- Também não foram realizadas simulações das edificações com aparelhos condicionadores de ar e com ventilação híbrida (parte ventilação, parte ar-condicionado), o que seria o caso mais próximo à realidade encontrada.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:**

Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 23 p., 2005.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. Atlanta, 140 p., 2011.

ASSUNÇÃO, Fernando. **Estratégias para tratamento de variáveis com dados faltantes durante o desenvolvimento de modelos preditivos**. Dissertação (Mestrado em matemática e estatística). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BALLARINI, Ilaria; CORGNATI, Stefano Paolo; CORRADO, Vincenzo. **Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project**. Energy Policy, v.68, p.273 284, 2014.

BORGSTEIN, E.H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J.L.M. **Evaluating energy performance in non- domestic buildings: A review**. Energy and Buildings, v- 128, p- 734 755, 2016.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de planejamento e desenvolvimento energético. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

BRASIL. **LEI N. 10.295**, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 23 jan. 2020.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CASTAÑO, Héctor Fabián Marín. **Impacto de dispositivos de sombreamento externo e muro na ventilação natural e desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Carlos, 178p., 2017.

CECHINEL, Rodrigo Jensen. **Avaliação dos requisitos mínimos do programa minha casa minha vida para habitações multifamiliares em Joinville**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 152p., 2017.

COCHRAM, Willian G. **Sampling Techniques**. John Willey and Sons Inc. New York, 442 p., 1977

DOE. **Programa Energy Plus versão 8.8.0**. 2018 Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

ELETROBRÁS PROCEL. Resultados Procel 2014, ano base 2013 [S.I], 2013

FAGUNDES, Renata M. **Aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de edificações multifamiliares de interesse social para as zonas bioclimáticas brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FOSSATI, Michele; SCALCO, Veridiana Atanasio; LINCUK, Vinícius Cesar Cadena; LAMBERTS, Roberto. **Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 65 (2016) 1216–1231

FONSECA, Ingrid Chagas Leite; ALMEIDA, Carla Cristina da Rosa; LOMARDO, Louise Land Bittencourt; MELLO, Estefânia Neiva. Avaliações de conforto ambiental

e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 41-58, abr./jun. 2010.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. FGV dados. **Renda domiciliar**, 2014. Disponível em:<<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92C493F131B2>>. Acesso em: 09 set. 2017.

GHISI, Enedir; TINKER, John A.; IBRAHIM, Siti Halipah. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GRIGOLETTI, G. de C.; LINCK, G. I. **Análise de comportamento térmico de HIS térreas unifamiliares em Santa Maria, RS**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 109-123, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

GRÜNBERG, Paula R. M.; TAVARES, Sérgio F. Carta bioclimática para localidade de Joinville / SC. **ELECS - ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS**, Curitiba, out. 2013.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the Adaptive Relation Between Climate and Comfort Indoors: new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, p. 40-55, 2013

HACKEMBERG, Ana M; RAMOS, Doalcey. Caracterização de micro climas urbanos de Joinville.

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

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua. **Renda domiciliar per capita**, 2017. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pnad_continua/default_renda_per capita.shtm>. Acesso em: 09 set. 2017.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais** (RTQ-R). 2013. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>>. Acesso em 09 set. 2018.

INVIDIATA, Andrea; GHISI, Enedir. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings** V. 130, P. 20-32 · Out / 2016

KAPSALAKIA, M.; LEALA, V.; SANTAMOURISB, M. A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. **Energy and Buildings** V. 55, P. 765-778, dez/ 2012

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Arquivo climático INMET de Itapoá**. Florianópolis, SC, 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético. **UFSC – LABEEE**, Florianópolis, v.4, 53 p., 2010.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, Andrea; FOSSATI, Michele; BATISTA, Juliana Oliveira. Sustentabilidade nas edificações: Contexto internacional e algumas referências na área. **UFSC – LABEEE**, Florianópolis, 28 p., s.d.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 3^a edição, Rio de Janeiro, **Eletrobrás Procel edifica**, 366 p., s.d.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Revisada. São Paulo: Ed. Pro Livros, 2014.

MATOS, Michele. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis, 2007.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José A. Bellini da. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MICHELS, Caren; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. Theoretical/experimental comparison of heat flux reduction in roofs achieved through the use of reflective thermal insulators. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 438–444, 2008a.

MICHELS, Caren; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 445–451, 2008b.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME; **Guia para eficientização energética nas edificações públicas**, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, 229 p., out. 2014.

NATURESA, Jim Silva. **Eficiência energética, política industrial e inovação tecnológica**. Tese (Doutorado). UNICAMP, Campinas, SP, 2011.

PEREIRA, Cláudia Donald. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico das edificações**. Tese (doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, 185 p., 2014

MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitações de interesse social considerando mudanças climáticas**. Tese (doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, 473 p., 2016

RAMSDELLA, Jeffrey E.; BURKETTA, Lena W.; DAVISA, Chelsea R.; NERIB, Robin DeLarm; JACOBSC, Esti; VERSTERC J.J.P. **Value of energy efficiency for low-income housing in developing countries**. Energy Procedia, v. 78, p. 1021 – 1026, 2015

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. 2017. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>

RORIZ, M. **Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC.** São Carlos: ANTAC, 2012. Disponível em: <<http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Correcoes%20nos%20arquivos%20EPW%20-%20ANTAC.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2016.

RUPP, Ricardo Forgiarini; GHISI, Enedir. What is the most adequate method to assess thermal comfort in hybrid commercial buildings located in hot-humid summer climate? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 449 – 462, 2014

SANTOS, Ísis Portolan. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura.** Tese (doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, 278 p., 2013

SCHAEFER, Aline; GHISI, Enedir. Method for obtaining reference buildings. **Energy and Buildings**, v-128, p-660-672, 2016.

SORGATO, Márcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** Tese (doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, 260 p., 2015

SILVA, A. S.; GHISI, E. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

TEIXEIRA, C. A, et al. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros.** Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianópolis, 87 p., 2015

TIAN, W. **A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 20, p.411 419, 2013.

TONDO, Gabriela Hanna. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edificações escolares.** Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 199 p., 2017.

VERSAGE, R. S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande**, MS. Dissertação (mestrado em engenharia civil). 2009. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VIALI, Lori. **Material didático – estatística multivariada**. – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 22 p.

WALLS, Margaret; GERARDEN, Todd; PALMER, Karen; BAK, Xian Fang. Is energy efficiency capitalized into home prices? Evidence from three U.S. cities. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 82, p. 104-124, 2017.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. The use of simplified weather data to estimate thermal loads of non-residential buildings **Energy and Buildings** v. 36, p. 847–854, 2008.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese (doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina UFSC. Florianópolis. Santa Catarina, 147 p., 2007.

YOSHIDA, Rosana. **DAS NORMAS EM CONFORTO TÉRMICO AO PROJECTO DE ARQUITECTURA Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil**. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal, 277 p., 2006.

ANEXO A

RELAÇÃO DOS ALVARÁS EMITIDOS

Período: 01/09/2017 à 31/05/2018

Detalhe: Alvarás de construção, ampliação e reforma com projeto.

Data	Uso	Endereço da Obra	Insc. Imobiliária	Área (m2)
10/04/2018	R1.2	RONDONIA,142 - ANITA GARIBALDI	13.20.03.57.0377.000	12.96
20/02/2018	R1.2	PRESIDENTE NEREU,94 - VILA NOVA	09.23.24.18.1972.000	27.47
02/10/2017	R1.2	AMERICANA,196 - JARDIM IRIRIU	13.31.12.54.0378.000	42.90
13/09/2017	R1.2	ELLY SOARES,528 - FLORESTA	13.10.34.32.0770.000	46.34
05/09/2017	R1.2	MANUEL DE ABREU,175 - NOVA BRASILIA	13.10.41.25.1150.000	52.10
08/02/2018	R1.2	ANGRA DOS REIS,115 - JARDIM IRIRIU	13.31.11.96.0490.000	55.80
16/05/2018	R1.2	JOSE LEOPOLDO GORGES,93 - VILA NOVA	09.33.04.12.0310.000	80.70
17/04/2018	R1.2	MARINHO GARCIA,220 - VILA NOVA	09.33.04.22.0347.000	85.00
23/05/2018	R1.2	EMERSON BRANDAO - PARANAGUAMIRIM	13.11.25.64.0138.000	96.00
25/09/2017	R1.2	MENSA,395 - JARDIM PARAISO	12.11.11.62.0100.000	97.20
05/03/2018	R1.2	SERVIDAO CONRADO KUEHNE,183 - ITAUM	13.10.44.68.0483.000	97.70
08/11/2017	R1.2	DIVINA PROVIDÊNCIA,284 - COMASA	13.31.03.10.0305.000	103.70
29/09/2017	R1.2	ARARA,904 - AVENTUREIRO	12.01.31.21.2180.000	117.53
10/04/2018	R1.2	DIONEIA - JARDIM PARAISO	12.10.25.54.0406.000	124.76
23/02/2018	R1.2	EUGENIO MOREIRA,984 - ANITA GARIBALDI	13.20.03.48.0506.000	127.77
04/05/2018	R1.2	SEBASTIAO MARIANO DOS SANTOS - PARANAGUAMIRIM	13.11.23.21.5861.000	129.26
05/02/2018	R1.2	MARIA LUCIMAR FRITZ - PARANAGUAMIRIM	13.11.13.92.0118.000	129.45
09/05/2018	R1.2	ANTONIO JOAO DE BORBA,495 - PARANAGUAMIRIM	13.11.24.82.0189.001	130.18
11/10/2017	R1.2	ANTONIO CRESCENCIO ONOFRE,48 - ADHEMAR GARCIA	13.21.02.16.0048.001	135.26
05/01/2018	R1.2	JOAO DE SOUZA MELO - PARANAGUAMIRIM	13.11.25.39.0083.000	138.92
09/10/2017	R1.2	PAULO BOHN,245 - BOEHMERWALD	13.10.05.62.3388.000	150.45
29/05/2018	R1.2	ARNALDO DAVET,460 - ESPINHEIROS	13.21.43.77.0228.000	154.20
15/01/2018	R1.2	EVANILDO DE OLIVEIRA,80 - JARDIM IRIRIU	13.31.12.97.0247.000	159.39
08/12/2017	R1.2	DOM GREGORIO WARMELING,969 - JARDIM PARAISO	12.11.20.06.0197.000	162.59
14/03/2018	R1.2	NICOLAU JOSE DE SOUZA,179 - ESPINHEIROS	13.21.35.59.1190.000	167.63
04/01/2018	R1.2	LUCIDIO FERREIRA NEVES,279 - MORRO DO MEIO	09.13.33.20.5252.000	169.00
21/11/2017	R1.2	MANOEL DE SOUZA,369 - PETROPOLIS	13.10.25.30.6333.000	169.98
12/12/2017	R1.2	PUPPIS,657 - JARDIM PARAISO	12.11.21.14.0151.000	171.14
09/01/2018	R1.2	JOSE MARTINHO BERNARDINO - ESPINHEIROS	13.21.44.49.0048.000	171.36
23/01/2018	R1.2	CARLOS GUILHERME JERKE,867 - VILA NOVA	09.23.33.39.0047.000	174.12
15/01/2018	R1.2	SAO VIRGILIO,155 - VILA NOVA	09.23.44.10.1200.000	174.36
14/11/2017	R1.2	CONSTANCIO VISENTAINER - AVENTUREIRO	12.01.32.20.3019.000	174.75
14/11/2017	R1.2	OSCAR ROSAS,438 - COSTA E SILVA	09.30.10.84.0181.000	179.09
04/05/2018	R1.2	DOS CORREA,142 - AVENTUREIRO	12.11.02.29.0434.000	184.58
24/11/2017	R1.2	PATASUS(PEGASO),9 - JARDIM PARAISO	12.11.11.73.0322.000	191.10
14/11/2017	R1.2	MARIA SANTA CORREA,226 - VILA NOVA	09.23.44.09.0834.000	192.46
19/04/2018	R1.2	PREFEITO JOAO ACACIO GOMES DE OLIVEIRA,119 -	13.01.40.49.0103.000	195.72
21/03/2018	R1.2	MINAS GERAIS,5137 - MORRO DO MEIO	09.10.30.45.3110.000	197.83
23/03/2018	R1.2	UBIRAJARA ARAUJO - AVENTUREIRO	12.01.32.88.0240.000	201.21
22/02/2018	R1.2	MARTINHO VAN BIENE,1859 - AVENTUREIRO	12.01.21.40.6900.000	201.70
22/09/2017	R1.2	RIO NEGRINHO,380 - SAGUACU	13.20.45.60.0097.000	207.56

14/11/2017	R1.2	JOSE MARTINHO BERNARDINO,387 - ESPINHEIROS	13.21.43.50.2886.000	207.97
09/02/2018	R1.2	VUPECULA,293 - JARDIM PARAISO	12.11.20.19.0699.000	208.00
05/10/2017	R1.2	NARA LEAO,786 - ULISSES GUIMARAES	13.11.43.06.0188.000	209.66
23/10/2017	R1.2	SAO FELIPE,116 - ITAUM	13.11.30.62.1195.000	210.99
16/02/2018	R1.2	CORVETA,435 - BOA VISTA	13.21.21.83.0263.000	211.53
15/01/2018	R1.2	PLINIO SEIFFERT,352 - AVENTUREIRO	12.01.30.20.2722.000	211.57
05/01/2018	R1.2	OSVALDO VALCANAIA,58 - PARANAGUAMIRIM	13.11.22.00.5556.000	213.86
05/01/2018	R1.2	ALADIO MICHELS - SANTA CATARINA	13.10.14.31.0371.000	219.20
07/02/2018	R1.2	IVONE CARAZZAI GIULIARI - ADHEMAR GARCIA	13.21.02.60.0100.000	220.48
26/01/2018	R1.2	JURUEBA,263 - GUANABARA	13.20.05.45.0082.000	222.00
23/05/2018	R1.2	CONSTANTE ROTTINI,185 - PARANAGUAMIRIM	13.11.23.21.5513.000	222.93
23/05/2018	R1.2	ANTONIO AUGUSTO DO LIVRAMENTO,313 - ESPINHEIROS	13.21.35.56.0440.000	225.14
25/10/2017	R1.2	LAERCIO HOFFMANN,369 - NOVA BRASILIA	09.10.30.45.2185.000	225.38
09/11/2017	R1.2	DOUTOR EVANDRO PETRY,50 - ADHEMAR GARCIA	13.11.42.08.0226.000	225.59
24/11/2017	R1.2	JOAO A. MOREIRA,319 - ITAUM	13.11.30.54.0580.000	227.21
11/01/2018	R1.2	DANIEL BECKER,82 - JARDIM IRIRIU	13.31.02.87.0155.000	228.00
18/09/2017	R1.2	WILLY A. JACOB,62 - COSTA E SILVA	09.23.45.68.7389.000	234.48
13/09/2017	R1.2	AILTON JOSE DA CRUZ,50 - ADHEMAR GARCIA	13.21.02.35.0047.000	235.04
23/03/2018	R1.2	ALOIS FINDER - AVENTUREIRO	12.01.21.08.0120.000	239.21
30/01/2018	R1.2	JAO - COSTA E SILVA	09.30.00.72.3261.000	239.98
23/05/2018	R1.2	CUBA,278 - JARDIM SOFIA	12.00.45.42.5737.000	240.07
08/12/2017	R1.2	JACOB DO BANDOLIN,214 - COMASA	13.31.01.26.2504.001	241.71
09/04/2018	R1.2	APUCARANA,90 - COMASA	13.21.42.44.0091.000	242.19
05/09/2017	R1.2	RUDOLF BAUMER,487 - VILA NOVA	09.23.34.52.0110.000	245.16
04/05/2018	R1.2	CANOAS,475 - JARDIM IRIRIU	13.31.12.34.0163.000	245.28
18/04/2018	R1.2	EMILIO LANDMANN,764 - AVENTUREIRO	12.01.31.21.1974.001	245.88
15/12/2017	R1.2	TRIANGULUM,195 - JARDIM PARAISO	12.11.11.91.0464.000	249.32
30/01/2018	R1.2	TRIANGULUM,207 - JARDIM PARAISO	12.11.11.91.0452.000	249.32
12/09/2017	R1.2	ANGELINA - ITAUM	13.10.25.82.0749.000	250.03
06/12/2017	R1.2	RIO NEGRO,139 - COMASA	13.21.42.44.0403.000	250.28
05/02/2018	R1.2	SERVIDAO AUGUSTO ROHDEN,40 - BOM RETIRO	13.30.13.07.0993.000	250.46
10/04/2018	R1.2	OSMAR GALDINO FAGUNDES,144 - PARANAGUAMIRIM	13.11.23.21.4291.000	252.00
12/12/2017	R1.2	AQUARIUS,544 - JARDIM PARAISO	12.11.10.78.0878.000	252.20
02/03/2018	R1.2	GUSTAVO AUGUSTO HENRIQUE KUHL - VILA NOVA	09.23.44.29.9902.000	253.19
05/01/2018	R1.2	ITUZAIGO,23 - PETROPOLIS	13.10.35.28.0122.000	253.68
04/10/2017	R1.2	GUILHERME KLEIN - AVENTUREIRO	12.01.30.20.9570.000	254.40
23/10/2017	R1.2	DEPUTADO JOTA GONCALVES,375 - IRIRIU	13.31.00.08.0290.000	254.55
15/01/2018	R1.2	DOS SERVENTUARIOS,87 - PETROPOLIS	13.10.25.28.0075.000	255.24
04/10/2017	R1.2	TRIANGULUM - JARDIM PARAISO	12.11.11.91.0567.000	255.60
14/09/2017	R1.2	VALDEMAR MEDEIROS - AVENTUREIRO	12.01.30.20.5350.000	255.82
07/02/2018	R1.2	LUCIDIO FERREIRA NEVES,652 - MORRO DO MEIO	09.13.34.40.5891.000	259.20
25/10/2017	R1.2	GUARAPARI - JARIVATUBA	13.11.31.87.1702.000	260.12
10/05/2018	R1.2	AVENIDA EVANGELISTA JUSTINO ESPINDULA,81 - PARQUE	13.11.01.72.0304.000	261.60
29/09/2017	R1.2	HERMANN HUHN,62 - JARDIM IRIRIU	13.31.12.21.0189.000	262.65
08/12/2017	R1.2	ARARAQUARA,57 - AVENTUREIRO	12.01.20.45.0259.002	263.35
14/11/2017	R1.2	JOAO LEUSCHNER - MORRO DO MEIO	09.13.35.23.0241.000	263.56
06/03/2018	R1.2	CAPISTRANO DE ABREU,137 - GUANABARA	13.21.00.04.0036.000	264.00
09/11/2017	R1.2	FLORIANOPOLIS,1437 - GUANABARA	13.10.45.35.1956.000	264.46
06/12/2017	R1.2	SERVIDAO OTTO LUDOVICO SCHUTZLER,13055 - PIRABEIRABA	08.13.04.59.3767.000	264.85
20/09/2017	R1.2	REZENDE,138 - BOM RETIRO	13.30.14.23.0888.000	264.96

19/03/2018	R1.2	CIDADE DE DAMASCO - ITAUM	13.10.35.20.3971.000	266.38
10/04/2018	R1.2	ROCHA POMBO,1910 - JARDIM IRIRIU	13.31.11.89.0135.000	268.55
14/11/2017	R1.2	PARANAVAI,892 - COMASA	13.31.02.10.0298.000	270.76
29/05/2018	R1.2	DEPUTADO LAURO CARNEIRO DE LOYOLA,1102 - IRIRIU	13.21.40.89.1883.000	271.42
04/01/2018	R1.2	FRANCISCO SAID,268 - GLORIA	09.20.30.05.5508.000	272.95
09/11/2017	R1.2	TOBIAS BARRETO,119 - FLORESTA	13.10.43.64.0583.000	273.16
17/11/2017	R1.2	JOAO MANOEL MARTINS,142 - PARANAGUAMIRIM	13.11.23.21.0702.000	273.60
28/09/2017	R1.2	ELARIO GASTAO BAUMER,66 - VILA NOVA	09.23.44.29.0555.000	274.32
07/02/2018	R1.2	PADRE BERNARDO,153 - NOVA BRASILIA	13.10.41.57.0232.000	275.80
11/01/2018	R1.2	ERNESTO BACHTOLD - AVENTUREIRO	12.01.21.40.5516.000	276.88
21/02/2018	R1.2	JACOB FORBICE,53 - AVENTUREIRO	12.01.41.22.3329.000	277.66
27/03/2018	R1.2	CIDADE DE OROS,41 - ITAUM	13.11.30.54.0240.000	279.52
11/10/2017	R1.2	ESTÂNCIA - FLORESTA	13.10.33.72.2170.000	279.55
26/03/2018	R1.2	WALDEMIRO ROSA - ADHEMAR GARCIA	13.11.23.30.9721.000	279.73
10/05/2018	R1.2	HAROLD CARLOS MIERS,301 - VILA NOVA	09.23.44.09.9972.000	282.57
16/02/2018	R1.2	TABATINGA,1709 - JARDIM IRIRIU	13.31.11.89.0637.000	283.30
05/09/2017	R1.2	REGENTE FEIJO,97 - GLORIA	13.20.32.02.0871.000	284.63
23/03/2018	R1.2	PIXINGUINHA,599 - COMASA	13.21.42.88.0521.000	285.52
07/02/2018	R1.2	LONDRINA,708 - SAO MARCOS	09.10.41.70.0502.000	286.72
05/01/2018	R1.2	SANTO AMARO DA PURIFICACAO,3050 - PARQUE GUARANI	13.11.01.76.0368.000	287.44
23/01/2018	R1.2	LORIVAL TABBERT - AVENTUREIRO	12.01.30.20.9732.000	289.80
06/03/2018	R1.2	BELEM DO PARA,358 - AVENTUREIRO	13.31.10.17.0772.000	291.00
13/03/2018	R1.2	MARGARIDA TRAPP,33 - VILA NOVA	09.23.44.09.0415.000	291.48
26/09/2017	R1.2	SANTA IZABEL,1204 - JOAO COSTA	13.11.31.01.9510.000	292.78
22/11/2017	R1.2	JABOATAO,34 - IRIRIU	13.21.40.92.0245.000	293.55
27/02/2018	R1.2	WILLIBALDES SILVEIRA DE SOUZA - JARDIM SOFIA	12.00.23.56.0155.000	294.06
22/02/2018	R1.2	JOAO BERTOLI - BOEHMERWALD	13.10.05.62.0952.000	294.48
01/12/2017	R1.2	MIGUEL VOGELSANGER,109 - VILA NOVA	09.23.35.31.0443.000	295.13
17/10/2017	R1.2	EDGARD EUGENIO ROSENSTOCK - PIRABEIRABA	08.13.23.27.1694.000	295.92
02/05/2018	R1.2	LYNX,77 - JARDIM PARAISO	12.11.11.43.0293.000	295.92
05/09/2017	R1.2	BARBALHO,413 - BOA VISTA	13.20.25.37.0647.000	296.16
28/09/2017	R1.2	MATOS COSTA,878 - COMASA	13.31.02.11.0056.000	296.17
08/02/2018	R1.2	BENEDITO NOVO,165 - ITAUM	13.10.35.50.0216.000	296.80
07/12/2017	R1.2	ATAULFO ALVES,892 - COMASA	13.31.02.35.0070.000	296.90
14/11/2017	R1.2	DUARTE SCHUTTEL,216 - COSTA E SILVA	09.30.10.24.0202.000	297.10
27/03/2018	R1.2	ARTHUR ZOEFELD,338 - IRIRIU	13.31.00.26.0079.000	297.49
23/02/2018	R1.2	FREDERICO LANGE,94 - COSTA E SILVA	13.30.12.56.0393.000	297.85
10/01/2018	R1.2	DAS VIOLETAS,700 - BOA VISTA	13.20.25.55.0050.000	297.97
20/09/2017	R1.2	FRANCISCA KLEIN SALFER,243 - IRIRIU	13.31.00.00.1020.000	298.20
26/09/2017	R1.2	DANTE NAZATO,410 - VILA NOVA	09.23.44.09.2302.000	298.24
14/03/2018	R1.2	COMANDANTE HASSEL - IRIRIU	13.31.00.08.0630.000	299.89
08/05/2018	R1.2	MARACUJA,715 - COMASA	13.21.41.77.0370.000	301.76
13/03/2018	R1.2	JOSE KOERBEL JUNIOR - ANITA GARIBALDI	13.20.13.08.0220.000	301.82
31/10/2017	R1.2	GUARAPARI,134 - JARIVATUBA	13.11.31.87.0524.000	302.40
04/10/2017	R1.2	AVENIDA URANO,361 - JARDIM PARAISO	12.11.11.85.0163.000	303.00
05/09/2017	R1.2	PROFESSOR AVELINO MARCANTE,200 - ULISSES GUIMARAES	13.11.42.81.0092.000	303.20
20/02/2018	R1.2	DOS CARUARAS,507 - PETROPOLIS	13.10.25.31.0056.000	303.78
05/09/2017	R1.2	CARMEM MIRANDA,1064 - COMASA	13.31.02.43.0070.000	304.96
21/02/2018	R1.2	BENITO LUIZ BENINCA,33 - VILA NOVA	09.23.24.53.0460.000	306.71
19/01/2018	R1.2	ANTONIO JORGE CECYN,253 - AVENTUREIRO	12.01.41.12.0392.000	307.20

07/02/2018	R1.2	MATOS COSTA,905 - COMASA	13.31.02.10.0098.001	307.30
27/11/2017	R1.2	FRANCISCO MASSANEIRO,65 - NOVA BRASILIA	13.10.41.28.0368.000	308.00
16/02/2018	R1.2	SOUZA LOBO,125 - COSTA E SILVA	09.30.10.29.4268.000	308.14
04/01/2018	R1.2	JORGE PARUCKER JUNIOR,141 - BOEHMERWALD	13.11.00.25.0165.000	309.50
05/02/2018	R1.2	AMANDO GERMANO ALFREDO TANK,395 - ADHEMAR GARCIA	13.21.02.29.0356.000	309.55
02/04/2018	R1.2	ALTAIR,933 - COMASA	13.31.02.23.0129.000	310.34
19/04/2018	R1.2	AMANDUS PENSKI,640 - VILA NOVA	09.23.34.26.2420.000	310.64
05/09/2017	R1.2	VEREADOR EVILASIO VICENTE DOS SANTOS JR.,128 - ADHEMAR	13.21.02.38.0155.000	313.20
04/05/2018	R1.2	SAO LEOPOLDO,945 - BOA VISTA	13.21.21.25.0536.001	315.00
01/02/2018	R1.2	JOAO REINHOLD,406 - IRIRIU	13.31.00.47.0290.000	319.48
28/09/2017	R1.2	HEDWIG REISS,157 - GLORIA	09.20.20.42.6552.000	322.20
29/05/2018	R1.2	JOAO DIPPE,73 - IRIRIU	13.30.05.57.0702.000	322.68
19/10/2017	R1.2	URSA MAIOR,490 - GUANABARA	13.20.05.28.0143.000	325.30
27/02/2018	R1.2	ATAULFO ALVES,918 - COMASA	13.31.02.47.0066.000	326.53
01/03/2018	R1.2	LIDIA RODRIGUES TEIXEIRA,411 - AVENTUREIRO	12.01.30.20.2387.000	328.66
10/01/2018	R1.2	HERVAL D OESTE,167 - SAGUACU	13.20.44.17.0584.000	328.76
12/09/2017	R1.2	MARIA NEVES NIEMEYER,597 - NOVA BRASILIA	13.10.22.92.3324.000	330.00
17/04/2018	R1.2	PRESIDENTE VARGAS - PIRABEIRABA	08.13.34.02.0318.000	330.43
27/03/2018	R1.2	FRANCISCO SAID,196 - GLORIA	09.20.30.05.5436.000	333.63
05/01/2018	R1.2	ALVINO BOLDT - AVENTUREIRO	12.01.21.32.0143.000	333.93
27/02/2018	R1.2	ARLINDO ANTONIO PEREIRA - PARQUE GUARANI	13.11.00.87.0634.000	337.36
16/05/2018	R1.2	BARRA DO PIRAI,37 - JARDIM IRIRIU	13.31.02.87.0225.000	338.60
17/11/2017	R1.2	ROCHA POMBO,997 - JARDIM IRIRIU	13.31.11.43.0809.000	338.80
26/02/2018	R1.2	MARACUJA,638 - COMASA	13.21.41.69.0405.000	339.00
27/02/2018	R1.2	DANTE NAZATO,1075 - VILA NOVA	09.23.24.83.0018.002	339.50
25/05/2018	R1.2	SOL - GLORIA	13.20.12.83.4939.000	346.65
06/04/2018	R1.2	DOUTOR FRANCISCO MASCARENHAS,34 - IRIRIU	13.21.41.52.0056.000	349.50
26/09/2017	R1.2	PLINIO SEIFFERT,253 - AVENTUREIRO	12.01.30.20.2734.000	352.00
06/09/2017	R1.2	RUDOLPHO BRUSKE,118 - ANITA GARIBALDI	13.10.42.90.0924.000	352.70
27/02/2018	R1.2	PISCIS AUSTRINUS,584 - JARDIM PARAISO	12.11.21.14.0498.000	354.47
22/09/2017	R1.2	ISMAEL CARLOS CORREIA,39 - SAGUACU	13.30.04.43.0093.000	361.67
16/02/2018	R1.2	LIRIO DO CAMPO,123 - FLORESTA	13.10.43.37.0478.000	365.47
28/02/2018	R1.2	MODELO,202 - FLORESTA	13.10.34.64.0093.000	366.74
01/02/2018	R1.2	DALCIO BORTOLUZZI - VILA NOVA	09.23.44.20.0220.000	374.82
16/02/2018	R1.2	OCEANO PACÍFICO,235 - BOEHMERWALD	13.11.00.33.0416.000	376.10
08/12/2017	R1.2	SAO VIRGILIO,311 - VILA NOVA	09.23.44.10.1245.000	377.20
20/02/2018	R1.2	JOAO RAMALHO,223 - BOEHMERWALD	13.10.05.62.0426.000	383.82
06/12/2017	R1.2	FELIX HEINZELMANN,105 - SANTO ANTONIO	13.30.12.17.0434.000	385.06
26/09/2017	R1.2	DR FABIO MAURICIO DE AGUIAR - JOAO COSTA	13.11.20.12.3278.000	387.26
15/05/2018	R1.2	JOAO KRISCH,742 - GLORIA	09.20.20.42.7061.000	390.06
27/03/2018	R1.2	HENRIQUE SCHNEIDER JUNIOR,220 - IRIRIU	13.31.01.61.0991.000	391.61
14/11/2017	R1.2	TABATINGA,962 - JARDIM IRIRIU	13.31.11.34.0151.000	394.92
16/02/2018	R1.2	DESEMBARGADOR HERACLITO RIBEIRO,55 - GUANABARA	13.10.45.68.0549.000	396.16
23/01/2018	R1.2	RUDOLFO SCHMALZ,236 - GLORIA	09.20.30.05.4922.000	400.34
09/05/2018	R1.2	FRAIBURGO,60 - IRIRIU	13.31.00.01.0404.000	401.45
15/01/2018	R1.2	RUDOLFO SCHMALZ,165 - GLORIA	09.20.30.05.6062.000	401.59
15/05/2018	R1.2	FREDERICO MIERS,155 - GLORIA	09.20.30.05.4980.000	402.72
22/05/2018	R1.2	EUGENIO ERNESTO KUNDE,645 - PIRABEIRABA	08.13.23.23.0928.000	403.91
03/05/2018	R1.2	DOS BANDEIRANTES,363 - GLORIA	09.20.30.74.0100.000	405.04
02/10/2017	R1.2	JOAO PINHEIRO,227 - FLORESTA	13.10.44.49.0435.000	414.30

11/05/2018	R1.2	MARIO ARINS CALDEIRAS - SANTA CATARINA	13.10.22.49.0975.000	416.00
30/11/2017	R1.2	SILVA JARDIM,386 - GLORIA	13.20.32.01.1204.000	417.37
15/03/2018	R1.2	PEDRO ALVARO SCHMOELLER,121 - COSTA E SILVA	09.33.05.79.0111.000	420.69
28/05/2018	R1.2	SANHACU,139 - COSTA E SILVA	13.30.01.63.0180.001	421.45
27/11/2017	R1.2	SAUDADES,421 - SAGUACU	13.20.44.47.0442.000	425.62
08/05/2018	R1.2	DOUTOR FRANCISCO MASCARENHAS,46 - IRIRIU	13.21.41.52.0058.000	430.68
24/04/2018	R1.2	DOS SERVENTUARIOS - PETROPOLIS	13.10.25.27.0392.000	432.60
12/12/2017	R1.2	SOLEDADE,401 - IRIRIU	13.21.40.84.0066.000	436.69
05/01/2018	R1.2	TENENTE PAULO LOPES - IRIRIU	13.31.01.02.2028.000	439.66
17/11/2017	R1.2	EVARISTO JOAO HECK - ESPINHEIROS	13.21.44.69.0349.000	445.50
12/09/2017	R1.2	AUGUSTO SALFER,262 - JOAO COSTA	13.11.10.71.0354.000	449.27
11/05/2018	R1.2	MARTINHO VAN BIENE,1530 - AVENTUREIRO	13.31.10.58.2350.000	450.04
15/01/2018	R1.2	REZENDE,208 - BOM RETIRO	13.30.14.23.0169.000	470.08
31/10/2017	R1.2	WILLY TILP,69 - NOVA BRASILIA	09.10.40.44.1825.000	472.33
12/12/2017	R1.2	PARTICULAR HOLZ,71 - AMERICA	13.20.33.83.0637.000	478.92
30/01/2018	R1.2	CONSTANCIO VISENTAINER - AVENTUREIRO	12.01.32.20.2964.000	479.17
15/03/2018	R1.2	JOAO RAMALHO,758 - PETROPOLIS	13.11.00.02.5048.000	487.12
22/02/2018	R1.2	MARIA MARQUES LEANDRO,693 - PARANAGUAMIRIM	13.11.25.38.0175.000	487.65
27/02/2018	R1.2	ANTONIO WRONSKI - PARANAGUAMIRIM	13.11.25.47.0417.000	487.75
10/01/2018	R1.2- S2.1	EUZEBIO DE QUEIROZ,91 - GLORIA	13.20.22.35.0874.000	488.23
30/01/2018	R1.2	AQUINO MANOEL QUINTINO,505 - FLORESTA	13.10.32.18.0279.000	491.03
09/11/2017	R1.2	GENY PEIXER,368 - COSTA E SILVA	13.20.42.80.1137.000	492.12
23/05/2018	R1.2	DANTE NAZATO,257 - VILA NOVA	09.23.44.88.0321.000	493.90
15/12/2017	R1.2	PARACATU - ESPINHEIROS	13.21.43.63.0288.000	499.20
04/10/2017	R1.2	JOAO RAMALHO - PETROPOLIS	13.10.15.67.0181.000	500.56
15/03/2018	R1.2	IRMA ELTRUDES - GLORIA	13.20.31.84.0240.000	502.04
05/09/2017	R1.2	VICENTE CELESTINO,228 - COMASA	13.21.42.74.0843.000	504.48
08/12/2017	R1.2	DESEMBARGADOR TAVARES SOBRINHO,299 - BOA VISTA	13.21.31.02.0120.000	517.69
02/05/2018	R1.2	CLAUDIO LOPES - JARDIM IRIRIU	12.01.21.38.0223.000	518.54
06/04/2018	R1.2	NACAR - GUANABARA	13.10.45.30.0930.000	520.76
05/03/2018	R1.2	MANOEL FREDERICO MEDEIROS,287 - AVENTUREIRO	12.01.32.30.0275.000	525.20
28/09/2017	R1.2	JOAO HENRIQUE FERREIRA,466 - ESPINHEIROS	13.21.35.53.2582.000	526.72
15/01/2018	R1.2	CARLOS ROBERTO VILPERT,475 - IRIRIU	12.01.21.65.0378.000	533.50
10/05/2018	R1.2	DOS HOLANDESES,328 - PIRABEIRABA	08.13.24.42.0427.000	545.94
13/12/2017	R1.2	ALCIDES L. DE MEDEIROS,534 - ESPINHEIROS	13.21.43.77.0216.001	547.04
29/05/2018	R1.2	RUDOLFO SCHMALZ,277 - GLORIA	09.20.30.05.5952.000	549.20
03/04/2018	R1.2	DALVINA LIBANIA PROCHNOW,335 - NOVA BRASILIA	09.10.40.44.1178.000	549.36
15/03/2018	R1.2	GUILHERME - COSTA E SILVA	13.20.41.39.0474.000	589.40
09/02/2018	R1.2	PARANAGUA,549 - NOVA BRASILIA	13.10.41.25.1063.000	599.44
30/05/2018	R1.2	OLARIA,937 - FLORESTA	13.10.42.28.1717.000	601.09
23/05/2018	R1.2	FIRMINO DA SILVA,731 - PARQUE GUARANI	13.11.00.00.8227.000	607.08
10/01/2018	R1.2	HERVAL D OESTE,215 - SAGUACU	13.20.44.27.0780.000	763.08
20/02/2018	R1.2	CARLOS SCHROEDER,301 - FLORESTA	13.10.43.45.0041.000	798.40
05/01/2018	R1.2	ÁGUA MARINHA,125 - SAGUACU	13.20.45.22.1040.000	831.00