

ADRIANA RODRIGUES PEREIRA

**Análise do conforto térmico para usuários
de uma moradia universitária e do
desempenho térmico de sua envoltória**

Dissertação de Mestrado

Departamento de Engenharia Civil

Adriana Rodrigues Pereira

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO PARA USUÁRIOS DE UMA
MORADIA UNIVERSITÁRIA E DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
SUA ENVOLTÓRIA**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Simone Queiroz da Silveira Hirashima

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a Raquel Diniz Oliveira

Belo Horizonte, fevereiro de 2019

Pereira, Adriana Rodrigues

P436a Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória / Adriana Rodrigues Pereira. – 2019.

153 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.

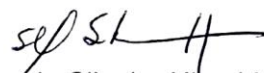
Orientadora: Simone Queiroz da Silveira
Hiraschima. Coorientadora: Raquel Diniz
Oliveira.

Bibliografia: f. 109-120.

ADRIANA RODRIGUES PEREIRA

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO PARA USUÁRIOS DE
UMA MORADIA UNIVERSITÁRIA E DO DESEMPENHO
TÉRMICO DE SUA ENVOLTÓRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil



Simone Queiroz da Silveira Hirashima
Orientadora
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Raquel Diniz Oliveira
Co-Orientadora
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Conrado de Souza Rodrigues
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Camila Carvalho Ferreira
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, DAU/UFV

Belo Horizonte, 05 de fevereiro de 2019.

*À minha mãe Zilvane,
por sempre estar ao meu lado,
por toda a dedicação e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Simone Queiroz da Silveira Hirashima e à minha coorientadora Raquel Diniz Oliveira, por toda a atenção dispensada, por todo o apoio e ensinamentos, fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

À professora Eleonora Sad de Assis pelos ensinamentos transmitidos dentro e fora da sala de aula.

À banca examinadora pelas correções e valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Prof.^a Me. Grace Cristina Roel Gutierrez pela orientação sobre procedimentos para a realização do ensaio para obtenção da absorvância solar de superfícies.

Ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON) pelo empréstimo dos equipamentos Hobo e espectrômetro Alta II.

À Fundação Universitária Mendes Pimentel, pela oportunidade de desenvolvimento profissional e acadêmico.

A todos os professores que passaram pela minha vida e que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Juliano pelo apoio e ensinamentos durante a realização desta pesquisa.

Aos amigos do curso de mestrado, pelos cafés e conversas compartilhadas.

Ao Igor, pelo apoio e compreensão às horas dedicadas a este trabalho.

À minha família, pela educação e apoio.

RESUMO

As edificações devem atender a critérios de desempenho e conforto térmico de modo a minimizar o uso de sistemas de condicionamento de ar e a fornecer condições de habitabilidade satisfatórias. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as condições de conforto térmico vivenciadas pelos usuários de uma moradia estudantil, naturalmente ventilada, localizada em Belo Horizonte - MG, e analisar o desempenho térmico de sua envoltória. Para realizar a avaliação referente ao conforto térmico, procedeu-se à análise de um quarto, localizado no último pavimento, considerando a situação mais desfavorável termicamente. A metodologia para avaliação do conforto térmico foi desenvolvida em três abordagens: (1) avaliação baseada no modelo adaptativo da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010); (2) avaliação baseada no modelo estático por meio dos índices PMV (voto médio estimado) e PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) da ISO 7730 (2005); e (3) avaliação da percepção e preferência dos usuários mediante a aplicação de questionários. Para realizar a avaliação do desempenho térmico da envoltória, foram selecionados 7 quartos da moradia universitária, distintos em relação à orientação de suas aberturas e à localização em relação aos pavimentos. Um modelo computacional representativo da edificação foi elaborado com auxílio do *software SketchUp* e *EnergyPlus* e os quartos selecionados foram simulados. Foram investigadas possíveis modificações na envoltória, norteadas pelas recomendações da NBR 15220. Os dados obtidos para avaliação do conforto térmico apontaram correspondência entre as respostas dos usuários para a sensação térmica e os resultados obtidos utilizando o modelo adaptativo. Não houve aderência das respostas dos usuários com os resultados obtidos mediante a aplicação do modelo estático de conforto térmico. Em relação ao desempenho térmico, as simulações demonstraram a influência da envoltória no desempenho térmico da edificação avaliada e foi possível mensurar a diferença de desempenho entre as alternativas analisadas. Espera-se que os resultados obtidos neste trabalho possam nortear a elaboração de projetos de edificações que promovam o conforto térmico para os usuários e o desempenho de sua envoltória.

Palavras-chave: Conforto térmico; Ventilação natural; Simulação computacional; Desempenho térmico.

ABSTRACT

Buildings must meet criteria of performance and thermal comfort in order to provide satisfactory habitability conditions. Thus, it is essential to understand the factors affecting the building thermal performance and its thermal comfort. The present work aims to evaluate the thermal comfort conditions experienced by users of a student accommodation, naturally ventilated, located in Belo Horizonte, and analyze the thermal performance of its envelope. In order to to assess thermal comfort, it was chosen a room considered the most critical in relation to its thermal performance. The methodology for assessing thermal comfort was developed in three approaches: (1) evaluation based on the adaptive model of ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010); (2) Evaluation based on the static model using the indices PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) of ISO 7730 (2005); and (3) Assessment of users' perception and preference through the application of questionnaires. To carry out the thermal performance evaluation, 7 rooms were selected, distinct in relation to the orientation of its openings and the location. A representative computational model was elaborated in EnergyPlus and SketchUp softwares and the selected rooms were simulated. Possible modifications were investigated in the envelope, guided by the recommendations of NBR 15220 for the Bioclimatic Zone 3, in which is Belo Horizonte. Thus, it was possible to analyze the influence of some design parameters on the thermal behavior of the building. The results for thermal comfort indicated correspondence between the users' thermal sensation and the adaptive model. There was no adherence between users' thermal sensation and the static model for thermal comfort. Concerning the thermal performance, the simulations demonstrated the influence of the envelope on the thermal performance of the building. It is expected that the results obtained in this work guide projects that promote thermal comfort for the users and the thermal performance of the envelope.

Keywords: Thermal comfort; Natural ventilation; User's perception; Building simulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Justificativa e relevância	16
1.3	Restrições e limitações	17
1.4	Estrutura do trabalho.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Balanço termo fisiológico do corpo humano	20
2.2	Conforto térmico	22
2.3	Parâmetros que influenciam o conforto térmico	25
2.3.1	Variáveis ambientais.....	25
2.3.2	Variáveis pessoais	27
2.3.3	Variáveis subjetivas	29
2.4	Conforto adaptativo.....	29
2.5	ASHRAE Standard 55.....	33
2.6	Índices de conforto térmico	36
2.6.1	Voto médio predito (PMV).....	36
2.6.2	Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD)	37
2.6.3	Índices AMV e APD	38
2.6.4	Temperatura operativa (TO)	39
2.7	Arquitetura Bioclimática	39
2.8	NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações	41
2.9	EnergyPlus	44
3	METODOLOGIA	48
3.1	Métodos de abordagem	48
3.2	Métodos de procedimentos	48
3.3	Estudo de caso	50
3.3.1	Caracterização do clima de Belo Horizonte.....	51
3.3.2	Caracterização da moradia universitária	52
3.4	Avaliação do conforto térmico	56
3.4.1	Amostragem	57

3.4.2	Medição das variáveis ambientais	58
3.4.3	Obtenção das variáveis pessoais.....	61
3.4.4	Avaliação de acordo com o modelo estático	64
3.4.5	Avaliação de acordo com o modelo adaptativo	65
3.5	Avaliação do desempenho térmico	65
3.5.1	Arquivo climático.....	66
3.5.2	Elaboração do modelo computacional	66
3.5.2.1	Materiais	67
3.5.2.2	Determinação da temperatura do solo	68
3.5.2.3	Ganhos internos de calor	69
3.5.2.4	Ventilação.....	70
3.5.3	Calibração do modelo computacional	70
3.5.4	Alternativas de simulação	75
3.5.5	Análise do desempenho térmico da edificação	76
4	RESULTADOS.....	77
4.1	Conforto térmico	77
4.1.1	Variáveis ambientais.....	77
4.1.2	Variáveis pessoais	78
4.1.3	Modelo adaptativo.....	79
4.1.4	Modelo estático.....	80
4.1.5	Respostas subjetivas referentes à percepção e ao conforto térmico	82
4.1.6	Comparação entre as respostas dos usuários e os resultados obtidos nos modelos de avaliação do conforto térmico	88
4.1.6.1	Comparação entre a sensação térmica relatada e o modelo estático	88
4.1.6.2	Comparação entre a sensação térmica relatada e o modelo adaptativo	92
4.2	Desempenho térmico	92
4.2.1	Modelo final calibrado	93
4.2.2	Simulações	96
4.2.3	Indicadores de conforto anuais para os modelos	103
4.2.3.1	Estudo de caso	104

4.2.3.2	Envoltória alternativa	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
6	REFERÊNCIAS	109
ANEXO A -	Pranchas do projeto arquitetônico do estudo de caso	121
ANEXO B –	Esquadrias utilizadas na moradia universitária	124
ANEXO C –	Certificado de calibração do medidor de stress térmico	125
ANEXO D –	Certificado de calibração do anemômetro	127
ANEXO E –	Certificado de calibração do termo-higrômetro	129
APÊNDICE A -	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	131
APÊNDICE B -	Questionário aplicado na pesquisa	135
APÊNDICE C –	Estudo piloto.....	139
APÊNDICE D –	Cálculo da absorvância mediante a utilização do Espectrômetro Alta II.....	142
APÊNDICE E:	Variáveis ambientais medidas durante a aplicação dos questionários.....	148
APÊNDICE F:	Variáveis pessoais coletadas durante a aplicação dos questionários 151	
APÊNDICE G:	Temperatura neutra mensal para Belo Horizonte	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.	21
Figura 2: Isolamento térmico estimado em clo	28
Figura 3: As três categorias de adaptação	31
Figura 4: Carta bioclimática adotada no Brasil	40
Figura 5: Zoneamento bioclimático brasileiro	42
Figura 6: a) Zona bioclimática 3 e b) Características da zona bioclimática 3	44
Figura 7: Metodologia utilizada para a calibração	50
Figura 8: Velocidades predominantes do vento por direção para Belo Horizonte.	51
Figura 9: Implantação das moradias universitárias	53
Figura 10: Croqui de implantação. Sem escala.	54
Figura 11: Planta da unidade habitacional tipo. Sem escala.	55
Figura 12: Localização do quarto em que foram conduzidas as entrevistas	56
Figura 13: Orientação das paredes do quarto em estudo.....	56
Figura 14: Implantação das moradias universitárias.....	58
Figura 15: a) Posicionamento do termo-higrômetro na área externa; b) Posicionamento dos equipamentos no interior do quarto	60
Figura 16: Posicionamento em planta dos equipamentos utilizados durante a realização das entrevistas.....	61
Figura 17: Fases referentes à aplicação dos questionários.....	62
Figura 18: Aplicação dos questionários.....	63
Figura 19: Calculadora online utilizada para a obtenção dos índices PMV e PPD64	
Figura 20: Modelo 3D da edificação, fachada principal. Sem escala.	67
Figura 21: Modelo 3D da edificação, fachada posterior. Sem escala.	67
Figura 22: a) Fachada principal com o quarto monitorado em destaque; b) monitoramento do quarto para fins de calibração do modelo computacional	71
Figura 23: Localização do equipamento (medidor de stress térmico) no quarto ...	72

Figura 24: Fachadas correspondentes ao Bloco I	121
Figura 25: Planta do primeiro pavimento, Bloco I	122
Figura 26: Planta de cobertura do Bloco I	123
Figura 27: Posicionamento dos equipamentos durante o estudo piloto	139
Figura 28: Incidência de radiação solar direta no interior do ambiente analisado	140
Figura 29: Espectrômetro a) Face inferior do equipamento; b) Face superior do equipamento	142
Figura 30: Medição da refletância espectral em campo utilizando o Alta II.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Zona de conforto térmico para ambientes internos em Belo Horizonte, 23	
Tabela 2: Características requerida e desejável dos instrumentos de medição para avaliação do conforto térmico	26
Tabela 3: valores para o coeficiente A	34
Tabela 4: Escala de sensação térmica.....	37
Tabela 5: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico	43
Tabela 6: Características dos instrumentos utilizados na pesquisa.....	59
Tabela 7: Propriedades térmicas dos materiais.....	68
Tabela 8: Estratégias recomendadas para Belo Horizonte.....	75
Tabela 9: Variabilidade das condições ambientais internas e externas	78
Tabela 10: Descrição estatística das variáveis pessoais obtidas nas entrevistas. 79	
Tabela 11: Temperatura neutra e limites de aceitabilidade - estudo de campo	79
Tabela 12: Resultados obtidos para os índices PMV e PPD	80
Tabela 13: Descrição estatística dos índices PMV e PPD calculados	81
Tabela 14: Valores médios obtidos para os índices PMV e PPD nos períodos manhã e tarde.....	81
Tabela 15: Índices AMV e APD obtidos durante as entrevistas.....	86
Tabela 16: Comparação entre os índices PMV, PPD, AMV e APD para os turnos manhã e tarde.....	88
Tabela 17: Resumo das simulações durante a fase de calibração	94
Tabela 18: Propriedades térmicas da envoltória referente ao estudo de caso e limites apresentados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b).....	96
Tabela 19: Propriedades térmicas referentes às envoltórias simuladas	97
Tabela 20: Resultados das simulações para o somatório de graus-hora por aquecimento e resfriamento.....	99
Tabela 21: Ordenação dos quartos pelo critério de desempenho térmico	102

Tabela 22: Tabela com esquadrias utilizadas na moradia universitária	124
Tabela 23: Média das medições, em milivolts, das três leituras em cada comprimento de onda, para cada uma das superfícies ensaiadas	146
Tabela 24: Resultados obtidos para as superfícies ensaiadas em campo.....	147
Tabela 25: Variáveis ambientais coletadas durante a aplicação dos questionários	148
Tabela 26: Variáveis pessoais coletadas durante a aplicação dos questionários	151
Tabela 27: Limites para a temperatura neutra obtidos para Belo Horizonte, de acordo com as Normais Climatológicas (1981-2010)	153

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: intervalos aceitáveis para a temperatura operativa em espaços naturalmente ventilados	35
Gráfico 2: Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD)	38
Gráfico 3: Variação da zona de conforto térmico na carta de Givoni	40
Gráfico 4: Gráfico climatológico (1981-2010) para a temperatura média mensal em Belo Horizonte	51
Gráfico 5: Gráfico climatológico (1981-2010) para a umidade relativa do ar compensada mensal em Belo Horizonte	52
Gráfico 6: Gráfico climatológico (1981-2010) para a precipitação acumulada mensal em Belo Horizonte	52
Gráfico 7: Dados dos usuários das moradias de Belo Horizonte: a) idade; e b) sexo:	58
Gráfico 8: Padrão de ocupação - porcentagem por horas	70
Gráfico 9: Padrão de iluminação - porcentagem por horas	70
Gráfico 10: Variação das temperaturas do ar internas e externas durante a realização das entrevistas.....	78
Gráfico 11: Valores para a temperatura operativa e os limites para a temperatura neutra.....	80
Gráfico 12: Correlação linear entre a temperatura operativa e o índice PMV	82
Gráfico 13: Histograma do PMV durante a realização das entrevistas (20/10/18)	82
Gráfico 14: Respostas para a percepção térmica.....	84
Gráfico 15: Respostas para o conforto térmico	84
Gráfico 16: Respostas para a preferência térmica	84
Gráfico 17: Respostas para a aprovação do ambiente térmico	84
Gráfico 18: Respostas para a tolerância em permanecer no local	85
Gráfico 19: Respostas para a preferência em relação ao vento	85
Gráfico 20: Respostas para a preferência em relação à temperatura.....	85

Gráfico 21: Respostas para a preferência em relação à umidade do ar	85
Gráfico 22: Sensação térmica relatada pelos sexos feminino e masculino.....	86
Gráfico 23: Correlação linear entre a temperatura operativa e o índice AMV	87
Gráfico 24: Correlação linear entre os índices AMV e PMV	89
Gráfico 25: PMV x AMV	91
Gráfico 26: Dispersão entre as variáveis AMV e temperatura externa	92
Gráfico 27: Variação da temperatura com o tempo para versão 1 (sem ocupação e sem ventilação)	93
Gráfico 28: Variação da temperatura com o tempo para o modelo inicial (sem ocupação e com ventilação), quarto 1.....	95
Gráfico 29: Diagrama de dispersão do modelo final.....	96
Gráfico 30: Comparação entre as temperaturas médias internas horárias para as envoltórias real e alternativa durante o solstício de verão	102
Gráfico 31: Comparação entre as temperaturas médias internas horárias para as envoltórias real e alternativa durante o solstício de inverno	103
Gráfico 32: Variação da temperatura neutra mensal para Belo Horizonte, considerando as normais climatológicas (1981-2010).....	103
Gráfico 33: Variação da temperatura neutra (T_n) e temperatura predominante externa (T_{pe}) para um intervalo de 30 dias	104
Gráfico 34: Análise horária da ocorrência de conforto para o estudo de caso, quarto 1.....	105
Gráfico 35: Análise mensal da ocorrência de conforto para o estudo de caso, quarto 1.....	105
Gráfico 36: Análise horária da ocorrência de conforto para a envoltória alternativa, quarto 1.....	106
Gráfico 37: Análise mensal da ocorrência de conforto para a envoltória alternativa, quarto 1.....	106
Gráfico 38: Temperatura de bulbo seco durante a aplicação dos questionários.	140

Gráfico 39: Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m ²	143
Gráfico 40: Refletância das amostras, para cada comprimento de onda (%)	147

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ICL	Isolamento térmico básico das vestimentas
ISO	International Organization for Standardization
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
PPD	Percentage of Dissatisfied
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TMY	Typical Meteorological Year

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
°C	Graus Celsius
c	Calor específico
C	Capacidade térmica
clo	Unidade de medição da resistência térmica da roupa
ε	Emissividade do globo
FS _o	Fator solar
kJ/m ² .K	Kilojoule por metro quadrado kelvin
met	Unidade utilizada para descrever a energia produzida por unidade de área de uma pessoa em repouso
U	Transmitância térmica de um componente
W/m ² .K	Watt por metro quadrado kelvin
α	Absortância à radiação solar
ρ	Densidade de massa aparente do material
φ	Atraso térmico
T _a	Temperatura do ar
T _n	Temperatura neutra
T _o	Temperatura operativa
T _{rm}	Temperatura radiante média
T _g	Temperatura de globo

1 INTRODUÇÃO

A satisfação dos usuários em relação ao ambiente térmico das edificações é um dos fatores fundamentais para promover bem-estar, saúde e produtividade. Nesse contexto, verifica-se a importância em realizar estudos sobre conforto térmico, uma vez que as pessoas passam mais que 90% do tempo no interior de edifícios (KLEPEIS et al., 2001).

Diversas variáveis influenciam as condições de conforto térmico para os usuários no ambiente construído. Variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar), pessoais (aspectos fisiológicos, taxa metabólica e vestimenta) e subjetivas (aspectos psicológicos, sociais e culturais) influenciam a sensação de conforto. Assim, a avaliação também deve considerar, além das sensações térmicas dos usuários, suas preferências, expectativas, rotinas e hábitos, resultando em uma variedade de respostas térmicas entre os indivíduos.

Wang et al. (2018) analisaram a influência de aspectos individuais para o conforto térmico, mediante revisão bibliográfica. Segundo os autores, o sexo e a idade são as duas maiores fontes de diferenças individuais e acredita-se que alguns grupos (mulheres e idosos) são mais sensíveis aos desvios de temperatura em um ambiente do que outros. Diferenças em vestimentas e respostas fisiológicas (taxa metabólica, vasoconstrição e vasodilatação, etc.) são as causas mais prováveis para essas diferenças individuais para os critérios de conforto térmico.

As normas nacionais e internacionais relacionadas ao conforto térmico estabelecem que apenas parâmetros ambientais e físicos mensuráveis devem ser considerados para avaliar as condições de conforto térmico dos usuários. Dessa forma, fatores não mensuráveis como o sociopsicológico, fisiológicos e médicos não são sistematicamente considerados atualmente (CASTALDO et al., 2018).

De acordo com Nicol (2004), é importante realizar pesquisas de campo para auxiliar decisões de projeto que representem o clima e a cultura local. Nesse contexto, surgem os questionários a serem aplicados aos usuários, de modo a avaliar a preferência e a percepção térmica individual.

O estudo do conforto térmico pode ser dividido em duas abordagens distintas: modelos estáticos e modelos adaptativos. As normas internacionais ASHRAE Standard 55 (2010) e ISO 7730 (2005) abordam o modelo estático como metodologia para avaliação do conforto térmico em edificações, representada por meio dos índices PMV (Voto Médio Estimado) e PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas). Esse modelo foi apresentado por Fanger (1970), após a realização de estudos sobre conforto térmico em câmaras climatizadas na Dinamarca. A partir da realização de novos estudos, foram verificadas algumas limitações em relação ao modelo proposto por Fanger (1970), principalmente no que se refere ao conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1998; NICOL; HUMPHREYS, 2002; NICOL, 2004).

Nesse contexto, surgiu o modelo adaptativo, que considera que os usuários, quando submetidos a situações de desconforto, podem tomar medidas para se adaptarem melhor ao ambiente. Essa adaptação ocorre em três âmbitos: psicológico, comportamental e fisiológico (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). A ASHRAE Standard 55 (2010) apresenta um método de avaliação do conforto térmico conforme o modelo adaptativo, para edificações naturalmente ventiladas.

O conforto térmico para usuários das edificações também é influenciado pelo desempenho térmico de sua envoltória. Dessa forma, é importante realizar estudos que promovam soluções construtivas de acordo com o clima local. A norma brasileira de Desempenho de Térmico de Edificações - NBR 15220 (ABNT, 2005) – apresenta oito zonas bioclimáticas para o Brasil baseadas na faixa de conforto estabelecida pelo Diagrama de Givoni. A norma apresenta recomendações de projeto de acordo com a zona bioclimática, estabelecendo limites para as propriedades termo físicas de paredes e coberturas e para a dimensão das aberturas.

Uma das maneiras de avaliar o desempenho térmico de uma edificação é por meio de mecanismos de simulação computacional (GONÇALVES, 2015). Tais mecanismos permitem simular alternativas de envoltória durante a fase de projeto e alterações pós-ocupação, de modo a otimizar o comportamento térmico do ambiente construído.

Ainda que sejam atendidos os critérios estabelecidos em normas para o desempenho térmico, a edificação pode não apresentar condições de conforto térmico para os seus usuários. Nesse contexto, é de suma importância analisar conjuntamente o conforto e o desempenho térmico, de forma que sejam atendidos os critérios estabelecidos para ambos.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar as condições de conforto térmico para os usuários de uma moradia universitária em Belo Horizonte.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a percepção e a preferência térmica dos usuários por meio da aplicação de questionários aplicados simultaneamente com a medição das variáveis ambientais;
- Avaliar as condições de conforto térmico de acordo com o modelo estático da ISO 7730 (2005);
- Avaliar as condições de conforto térmico de acordo com o modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2010);
- Comparar os resultados obtidos para os modelos de conforto com a sensação térmica real dos usuários;
- Simular o efeito de modificações na envoltória norteadas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) de forma a melhorar as condições de conforto térmico da edificação.

1.2 Justificativa e relevância

Este trabalho abrange o estudo de limites e condicionantes para o conforto e desempenho térmicos de uma moradia universitária naturalmente ventilada, situada em Belo Horizonte. Para este fim, é implementado um método integrado, que abrange entrevistas com usuários para fins de coleta dados sobre sensação e preferência térmica, monitoramento de variáveis ambientais em campo e simulações computacionais.

Espera-se, mediante a metodologia e os resultados apresentados, contribuir para a concepção de projetos que promovam edificações de comportamento térmico

adequado ao clima local, propiciando um ambiente construído confortável aos seus usuários. Além disso, esta pesquisa visa contribuir para a comunidade acadêmica mediante a descrição de métodos e procedimentos para a avaliação do conforto e desempenho térmico em ambientes internos, que poderão auxiliar pesquisadores a replicarem o estudo em outras localidades.

1.3 Restrições e limitações

O presente trabalho abrange procedimentos realizados em campo para a avaliação do conforto térmico.

Existem limitações em relação ao anemômetro utilizado para a medição da velocidade do ar, coletada durante a realização da aplicação dos questionários. A ISO 7726 (1998) recomenda que a faixa de medição do instrumento para medir a velocidade do ar para condições de conforto (categoria C - conforto) seja de 0,05 a 1 m/s. Entretanto, o instrumento utilizado na pesquisa possui faixa de medição de 0,4 a 30 m/s. Tendo em vista que o índice PMV (voto médio predito) é calculado considerando a velocidade do ar como condicionante ambiental, podem ser obtidos índices com valores definidos pela escala de imprecisão mencionada, divergentes dos reais.

A avaliação referente ao modelo adaptativo de conforto térmico utilizado nessa pesquisa poderá gerar índices de conforto com desvios em relação ao valor real. Isso se deve ao fato de que o presente trabalho faz uma avaliação do conforto térmico em um quarto de uma moradia universitária com área interna reduzida (10,10 m²). Dessa forma, o posicionamento dos equipamentos no quarto influencia a mobilidade dos entrevistados no ambiente, configurando uma barreira para o deslocamento e dificultando um comportamento natural. Além disso, ainda que os entrevistados sejam deixados à vontade para abrir ou fechar portas e janelas, permanecerem sentados ou em pé, o comportamento adaptativo também será influenciado pelo fato de os mesmos estarem em um ambiente desconhecido. Huang, Yang e Newman (2015) citam que ainda não existe uma metodologia para a avaliação de conforto térmico em residências que permita aos usuários conduzir naturalmente suas rotinas diárias e exibir o comportamento adaptativo em sua totalidade. Segundo os autores, para avaliar o conforto térmico em condições

naturais, sensores e outras ferramentas usadas para coleta de dados devem ser minimamente disruptivas, adaptando-se ao cotidiano das pessoas.

Em relação à avaliação do desempenho térmico neste trabalho, uma das etapas de análise consistiu na simulação computacional da moradia universitária. O mecanismo de simulação computacional tem como escopo a representação de um modelo gerado mediante equações e hipóteses (GONÇALVES; BODE, 2015). Devido à complexidade de determinadas edificações, geralmente é necessário fazer uso de simplificações nos modelos de simulação. Em relação às propriedades térmicas dos materiais, existe a dificuldade em encontrar fabricantes que tenham realizado ensaios para a obtenção precisa das propriedades térmicas. Assim, tais parâmetros normalmente são retirados da NBR 15.220 (ABNT, 2005a) ou de bibliografias em que os materiais foram ensaiados, gerando valores genéricos para as propriedades térmicas dos materiais, que não são homogêneos. Outra simplificação utilizada neste trabalho foi a criação de zonas térmicas individuais apenas para os ambientes de interesse (sete quartos) e uma única zona térmica para os demais ambientes.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho se estrutura em 5 capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Considerações Finais.

A Introdução, apresentada no primeiro capítulo, aborda a contextualização do tema deste estudo e os objetivos a serem atingidos.

O segundo capítulo – Revisão Bibliográfica – apresenta o referencial teórico e o estado da arte que servem de embasamento para o estudo sobre conforto térmico. Nesse capítulo são apresentadas as várias abordagens do conforto térmico no ambiente construído, assim como o estado da arte. Também são abordados os índices de conforto e o conceito de conforto adaptativo.

No terceiro capítulo – Metodologia – é definido o método de abordagem e os procedimentos adotados nesta pesquisa.

No quarto capítulo – Resultados – são apresentados e discutidos os dados obtidos mediante a metodologia desenvolvida.

No último capítulo – Considerações Finais – são apontadas as conclusões e considerações sobre o estudo realizado na moradia universitária.

Por fim, tem-se os Anexos com informações complementares sobre os projetos da moradia estudantil e os certificados de calibração dos equipamentos utilizados nesta pesquisa; e os Apêndices, abrangendo os questionários, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e alguns dados da pesquisa desenvolvida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta informações e conceitos que auxiliam a compreensão dos tópicos abordados nesta pesquisa. Serão abordados conceitos e variáveis relacionadas ao conforto térmico de modo a conceber um referencial teórico que subsidie a análise do conforto para usuários de uma moradia estudantil em Belo Horizonte - MG.

2.1 Balanço termo fisiológico do corpo humano

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, independente das condições climáticas, a sua temperatura corporal tende a permanecer constante. A homeotermia é uma função do organismo humano que tem como objetivo manter a temperatura interna em aproximadamente 37°C, com a finalidade de proteger os órgãos internos (COUTINHO, 2005). Entretanto, sempre há trocas térmicas entre o ser humano e o ambiente, e elas podem ocorrer por meio de condução, convecção, radiação, evaporação e respiração. Tais trocas buscam o equilíbrio térmico entre o ser humano e o ambiente em que ele está inserido (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Segundo a ISO 7730 (2005), o equilíbrio térmico é obtido quando a produção interna de calor no corpo humano é igual à perda de calor para o ambiente. Em um ambiente moderado, o sistema de termorregulação do organismo tentará automaticamente modificar a temperatura da pele e a secreção de suor para manter o equilíbrio térmico.

Para obter esse equilíbrio, o ser humano faz uso de mecanismos termorreguladores que acionam meios de compensação no organismo, como a vasoconstrição, a vasodilatação e a sudação. Tais mecanismos interferem nas trocas térmicas do corpo humano com o meio externo de forma a preservar a temperatura interna (RUAS, 2002). Essas trocas térmicas são dadas pela transferência de calor, que é uma forma de energia e pode ser do tipo sensível¹ ou latente². O calor sensível

¹ Energia transferida entre dois materiais devido à diferença de temperatura.

² Energia necessária para gerar uma mudança de estado físico em um material.

pode ser difundido por condução, convecção ou radiação e o calor latente pode ser dissipado por meio da evaporação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Quando o ser humano entra em um ambiente quente, é acionado o mecanismo de vasodilatação, que aumenta o fluxo sanguíneo, aumentando a temperatura da pele e permitindo uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Quando a vasodilatação não é suficiente para manter o equilíbrio térmico do corpo humano, é iniciada a sudorese para que o organismo possa perder calor por meio da evaporação. Por outro lado, quando o ser humano entra em um ambiente frio, é iniciada a vasoconstrição, que restringe o fluxo sanguíneo no organismo, favorecendo a circulação no cérebro e em outros órgãos vitais. A vasoconstrição diminui a temperatura da pele e a troca de calor com o ambiente. Quando a vasoconstrição não atinge o equilíbrio térmico, o sistema termorregulador do corpo humano provoca tremores musculares com o objetivo de aumentar a produção de calor interno (RUAS, 2002).

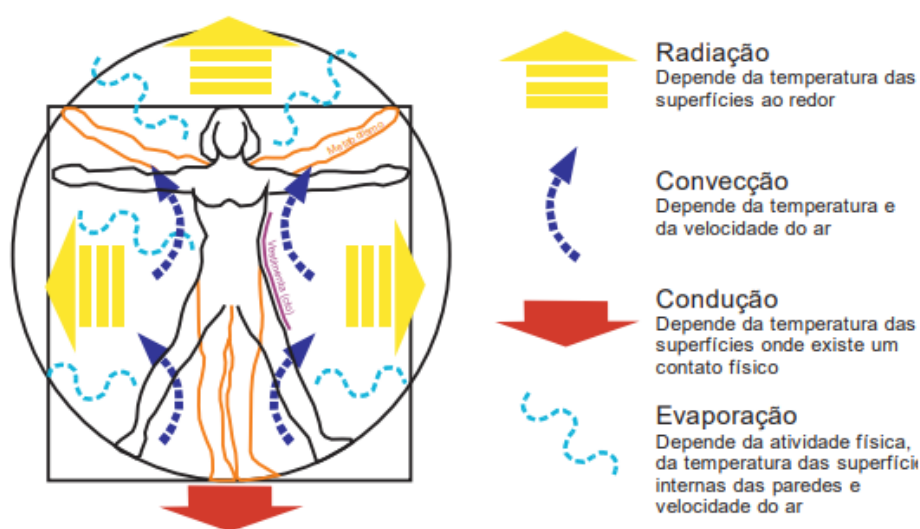


Figura 1: Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas
Fonte: LAMBERTS et al., 2011

Por meio desses mecanismos de controle, o ser humano regula os ganhos e perdas de calor do seu organismo em ambientes cujas condições termo higrométricas são variáveis. Assim, o indivíduo consegue manter a temperatura interna do organismo constante por intermédio da termorregulação. Como esse mecanismo representa um esforço extra para o ser humano, o organismo humano estará em conforto térmico quando perder para o ambiente, sem o uso da termorregulação, o calor gerado pelo metabolismo compatível com a sua atividade (FROTA; SCHIFFER, 2001).

2.2 Conforto térmico

Conforme estabelecido pela norma ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010), o conforto térmico é o “estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico”. Romero (2000) afirma que o ser humano tem a sensação de conforto térmico quando o seu organismo está em equilíbrio térmico com o meio ambiente.

Para que ocorra a sensação de conforto térmico, é necessário que o ser humano esteja em equilíbrio térmico com o ambiente. Para tal, o calor gerado pelo organismo deve ser igual ao calor transmitido para o ambiente. Entretanto, apesar desta condição ser essencial, ela não é suficiente para que ocorra o estado de conforto térmico (RUAS, 2002). Segundo Frota e Schiffer (2001), um indivíduo está sujeito ao conforto térmico quando são atendidas as seguintes considerações:

- Estado de neutralidade térmica;
- Temperatura da pele e taxa de secreção de suor atendem aos limites estabelecidos para a atividade executada;
- Ausência de desconforto térmico localizado.

Uma das condições citadas por Frota e Schiffer (2001) para a ocorrência do conforto térmico é a neutralidade térmica, que representa o equilíbrio térmico entre o ser humano e o ambiente. Entretanto, a definição de neutralidade térmica não considera, de maneira apropriada, outros fatores que influenciam a condição de conforto térmico para as pessoas. Ela é uma condição necessária, mas não é suficiente para que um indivíduo esteja em conforto térmico em relação ao ambiente, uma vez que irá depender das condições de exposição a que ele estiver submetido. Um exemplo disso é um indivíduo que está em um campo assimétrico de temperatura, que poderá estar em neutralidade térmica e em desconforto térmico simultaneamente (LAMBERTS et al., 2011). Nesse caso, ocorre um desconforto localizado que, segundo a ISO 7730 (2005), é definido como uma insatisfação térmica que pode ser gerada pelo resfriamento ou aquecimento indesejado de uma parte do corpo. Ainda segundo a ISO 7730 (2005), a causa mais comum de desconforto localizado são as correntes de ar. Entretanto, o desconforto localizado também pode causar diferenças de temperatura no sentido vertical entre

os pés e a cabeça, por um piso muito quente ou muito frio ou por elevada assimetria da radiação térmica.

No final dos anos 60 e início dos anos 70 foram apresentados dois trabalhos de grande relevância que levaram às discussões contemporâneas sobre conforto térmico: o trabalho de Fanger (1970) sobre o modelo estático e o trabalho de Humphreys (1976) sobre o modelo adaptativo (GONÇALVES; BODE, 2015). Atualmente, verifica-se, ainda, a realização de estudos focados no conforto térmico de acordo com a abordagem estática (RUPP et al., 2017; TERTOLINO, 2017) e adaptativa (MONTEIRO, L. M., ALUCCI, 2012; PEREIRA; ASSIS, 2010; NICORODRIGUES et al., 2015; MARCONDES et al., 2010; SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011; STRAUB et al., 2017). Além dessas abordagens, alguns estudiosos analisam, ainda, a sensação e a preferência térmica dos usuários mediante a aplicação de questionários em campo e comparam os resultados obtidos com aqueles determinados analiticamente (RUPP et al., 2017; GRIGOLETTI; LINCK, 2014; DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013; CHAVES et al., 2016; FINGER; GOEDERT; MELO, 2016; BUONOCORE et al., 2017).

Gonçalves, Valle, e Garcia (2001) realizaram um estudo em Belo Horizonte com a população universitária com o objetivo de obter a zona de conforto térmico para a cidade, considerando as condições climáticas da região e a adaptação dos indivíduos. O estudo foi realizado em salas de aula e foram entrevistados 570 indivíduos, no período de março a outubro de 1999. Simultaneamente às entrevistas, foram realizadas medições das variáveis ambientais. O resultado obtido para a zona de conforto nesse estudo pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1: Zona de conforto térmico para ambientes internos em Belo Horizonte,

Variável físico-ambiental	Valor ótimo	Limites de conforto
Temperatura operativa	23,1°C	21,1 - 24,9 °C
Temperatura de bulbo seco	22,7°C	20,8 - 24,7 °C
Temperatura de bulbo úmido	16,7°C	14,8 - 19,4 °C
Temperatura de Globo	21,3°C	21,3 - 25,1°C
Umidade relativa	67%	64 - 93%
Umidade absoluta	12,0g/kg	9,5 - 15,5g/kg
Velocidade do ar	1,0 m/s	0,4 - 1,7 m/s

Fonte: GONÇALVES; VALE; GARCIA, 2001

Rupp e Ghisi (2017) compararam as respostas de indivíduos para o conforto térmico em escritórios condicionados artificialmente e operando de modo misto com o intuito de comparar os modelos analítico e adaptativo para a avaliação de conforto

dispostos na ASHRAE 55-2013. Os usuários responderam a questionários online sobre a percepção térmica, simultaneamente à medição das variáveis ambientais no local. Três edificações foram avaliadas em Florianópolis: uma climatizada artificialmente e duas climatizadas em modo misto. Os votos reais de sensação e aceitabilidade térmicos foram comparados com os modelos de conforto térmico analítico e estático. Os limites de aceitabilidade de 80 e 90% em relação à temperatura operativa interna foram calculados utilizando a temperatura média externa do ar. Segundo os autores, o modelo analítico superestimou a sensação de frio para os usuários, principalmente durante o período de ventilação natural das edificações e não previu satisfatoriamente a porcentagem de usuários insatisfeitos nas edificações. Os autores relataram que, o modelo adaptativo parece ser inadequado para a aplicação em edifícios condicionados artificialmente. Durante o período de ventilação natural nos edifícios operando em modo misto, os usuários se adaptaram às alterações de temperatura, conforme previsto pelo modelo adaptativo, entretanto os resultados mostraram que os usuários tendem a ser mais tolerantes em condições mais frias.

Maykot, Rupp e Ghisi (2018) avaliaram a influência do sexo dos usuários nos requisitos de conforto térmico em edifícios de escritórios. Dados foram coletados em três edifícios situados em Florianópolis: um edifício climatizado artificialmente e dois edifícios climatizados em modo misto. Durante o estudo, foram aplicados questionários aos usuários para avaliar o conforto térmico e dados foram coletados por meio de estações microclimáticas. Segundo os autores, não houve diferença significativa nas respostas de homens e mulheres relação ao tipo de vestimenta que estavam utilizando no momento da entrevista. Não obstante, foram encontradas diferenças significativas para a sensação térmica, preferência térmica, aceitabilidade térmica e conforto térmico para o edifício condicionado artificialmente. Em relação aos edifícios operando no modo misto, foram encontradas diferenças significativas em relação à sensação térmica e preferência térmica para as respostas de homens e mulheres. Entretanto, durante a operação de ar condicionado nos edifícios operando em modo misto, houveram diferenças significativas nas respostas de homens e mulheres para a preferência e aceitabilidade térmica; e durante o período de ventilação natural desses edifícios,

foram encontradas diferenças relevantes em relação à sensação e preferência térmica entre os sexos.

2.3 Parâmetros que influenciam o conforto térmico

O conforto térmico está relacionado com o equilíbrio termo fisiológico do indivíduo e representa a interação de variáveis ambientais, individuais e pessoais.

2.3.1 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais que influenciam o conforto térmico estão relacionadas com condições termo climáticas e podem ser medidas em campo. As variáveis ambientais são obtidas por intermédio da utilização de instrumentos de medição, com exceção da temperatura radiante média, que é determinada por meio do uso de equações. Dentre as variáveis ambientais apontadas pela ISO 7730 (2005) estão a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a umidade e a velocidade do ar.

A temperatura do ar é a temperatura ao redor do corpo humano (ISO 7726, 1998).

A temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário em que a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante em um ambiente real não uniforme. A temperatura radiante média pode ser medida por meio do termômetro de globo negro, que é um dispositivo frequentemente utilizado para obter um valor aproximado da temperatura radiante média. Um valor aproximado da temperatura radiante média pode ser obtido mediante valores observados para a temperatura de globo (t_g) e para a temperatura e velocidade do ar ao redor do globo. A forma esférica do termômetro de globo pode dar uma aproximação razoável da forma do corpo humano, no caso de uma pessoa sentada. No entanto, um sensor com formato elipsoide é o que melhor representa o corpo humano na posição em pé ou sentada (ISO 7726, 1998).

A temperatura radiante média, considerando o ambiente de convecção natural, pode ser obtida por meio da Equação 1:

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 0,25 \cdot \frac{10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (1)$$

Em que:

t_{rm} – temperatura radiante média (°C)

t_g – temperatura do termômetro de globo (°C)

t_a – temperatura de bulbo seco do ambiente (°C)

ε – emissividade do globo

d – diâmetro do globo (m)

A ISO 7726 (1998) apresenta em seu texto a precisão requerida e desejada para os equipamentos utilizados para a medição das variáveis ambientais (Tabela 2).

Tabela 2: Características requerida e desejável dos instrumentos de medição para avaliação do conforto térmico

Variável	Faixa para conforto	Precisão para conforto
Temperatura do ar	10 - 40°C	Requerida: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^\circ\text{C}$
Temperatura radiante média	10 - 40°C	Requerida: $\pm 2^\circ\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^\circ\text{C}$
Velocidade do ar	0,05 - 1 m/s	Requerida: $\pm(0,05+0,05\text{m/s})$ Desejada: $\pm(0,02+0,07\text{m/s})$
Umidade absoluta	0,5 - 3,0 kPa	$\pm 0,15\text{kPa}$ ($ t_{ar}-t_{rm} < 10^\circ\text{C}$)

Fonte: ISO 7726, 1998. Modificado pela autora.

Segundo a ISO 7726 (1998), a velocidade do ar é uma variável definida pela sua magnitude e direção. Em ambientes internos, esse parâmetro costuma ser inferior a 1 m/s, e é influenciado pela ação do vento e pela diferença de temperatura no ambiente. Tais fatores geram a convecção natural, processo em que o ar quente sobe e o ar frio desce. Esse processo aumenta a sensação de conforto térmico no indivíduo, uma vez que aumenta os efeitos da evaporação do corpo humano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010) define a umidade como uma referência geral ao teor de umidade do ar, que é expressa em termos de diversas variáveis termodinâmicas, incluindo pressão de vapor, temperatura do ponto de orvalho e taxa de umidade. A umidade influencia a sensação de conforto térmico das pessoas. Quanto maior for o valor da umidade relativa, maior será a sensação de calor do indivíduo. Além disso, a umidade elevada dificulta a evaporação por meio da sudorese (CHVATAL, 1998). Para evitar o ressecamento das mucosas, a umidade relativa não deve ser inferior a 20%. O excesso de umidade também deve ser evitado, principalmente em ambientes com temperatura elevada e pouca

ventilação, uma vez que dificulta o processo de absorção e de evaporação da pele e do vestuário (ARAÚJO, 2012).

Em relação à localização dos equipamentos para a medição das variáveis ambientais em ambientes internos, tendo em vista ambientes homogêneos, a altura de 1,10m é representativa para indivíduos em pé ou sentados, segundo a ISO 7726 (1998). Em relação à localização do equipamento em planta, a ISO 7726 (1998) não faz nenhuma ponderação. Entretanto, a ASHRAE 55 (2010) recomenda que os equipamentos fiquem localizados em um ponto representativo em relação à dispersão dos usuários no ambiente ou localizados no centro do mesmo, com um afastamento mínimo de 1m de cada parede interna. A ASHRAE 55 (2010) recomenda ainda, que para qualquer um desses casos, as medições devem ser realizadas em pontos em que há a maior probabilidade de ocorrer os maiores valores para os parâmetros térmicos.

Estudos realizados em uma edificação em alvenaria indicam que a especificação da medição no centro do ambiente pode ser substituída pela medição próxima às fachadas sujeitas à menor insolação, uma vez que os dados de temperatura obtidos em ambos os casos foram semelhantes (BARBOSA; WEILLER; LAMBERTS, 2007).

2.3.2 Variáveis pessoais

As variáveis pessoais incluem a vestimenta e a taxa metabólica do indivíduo. Também abrangem as variáveis pessoais as características particulares de cada indivíduo, como sexo, idade, altura e peso.

Diferenças individuais em relação ao conforto térmico descrevem o fenômeno de que os usuários podem se sentir diferentes, mesmo quando expostos ao mesmo ambiente térmico. Devido às diferenças individuais, é desafiador encontrar um ambiente que promova a satisfação térmica para todos os ocupantes. Condições que atendam a um usuário podem ser desconfortáveis para outros (NAKANO; TANABE; KIMURA, 2002).

A vestimenta funciona como um isolante térmico para o corpo humano. As trocas de calor realizadas pela pele por convecção e por radiação são minimizadas quanto maior for a resistência térmica das roupas. Em ambientes de climas secos, roupas

adequadas podem conservar a umidade advinda da evaporação do suor, evitando maiores perdas de líquido corporal por meio da evaporação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Além disso, a roupa também reduz o aumento de calor referente à radiação solar direta e o efeito da redução da temperatura corporal por meio do suor (FROTA; SCHIFFER, 2001). A ISO 7730 (2005) estabelece a resistência térmica do vestuário, em que a unidade utilizada é clo ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$). A Figura 2 indica valores para o isolamento térmico, adaptadas da ISO 9920 (1995), por Monteiro e Alucci (2012).

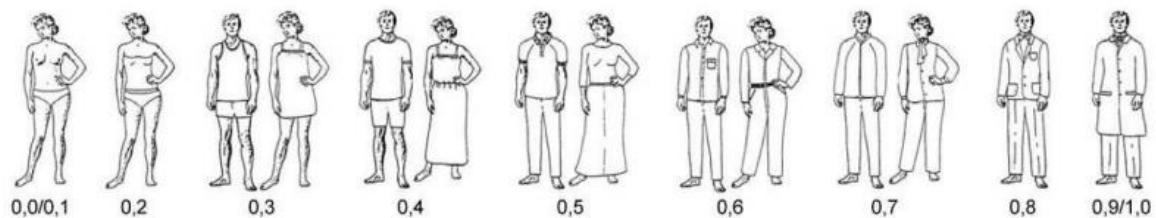


Figura 2: Isolamento térmico estimado em clo
Fonte: MONTEIRO; ALUCCI, 2012

A vestimenta é uma das seis variáveis utilizadas no método estático para a determinação dos índices PMV e PPD. Além disso, em relação ao método adaptativo, o vestuário utilizado pelo usuário é considerado um dos fatores fundamentais para a adaptação dos indivíduos ao ambiente interno (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

A atividade física desempenhada pelo indivíduo é uma variável pessoal que é responsável pelo calor gerado pelo metabolismo e que influenciará a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Como o calor produzido pelo organismo humano é um dos elementos que influenciam o conforto térmico, é essencial sua determinação. De acordo com a ISO 8996 (2004), a taxa metabólica fornece um índice numérico de atividade e pode ser determinada pelo consumo de oxigênio do indivíduo ou por meio de estimativas mediante a utilização de tabelas de referência, em função da atividade. O calor produzido pelo metabolismo é dado em met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). O anexo B da norma internacional ISO 7730 (2005) apresenta valores tabelados para a taxa metabólica referente a níveis de atividade distintos.

Vecchi, Lamberts e Candido (2017) conduziram um estudo a respeito da influência do vestuário no conforto térmico de usuários em edificações (três escritórios e duas salas de aula) inseridas em Florianópolis - SC. Segundo os autores, os resultados

indicaram que o tipo de vestuário adotado pelos usuários foi influenciado: pelo clima e estações do ano; diferentes configurações e temperaturas internas; idade e sexo dos ocupantes. Vecchi, Lamberts e Candido (2017) concluíram que, mesmo para temperaturas operativas iguais no interior dos edifícios, as vestimentas dos usuários variaram de acordo com a estação climática. Além disso, para a mesma temperatura interna dos edifícios, o isolamento térmico do vestuário também variou devido ao código de vestimenta.

2.3.3 Variáveis subjetivas

Os aspectos culturais também influenciam a sensação de conforto térmico, logo as condições de bem-estar térmico irão variar para cada pessoa (GONÇALVES; BODE, 2015). As variáveis subjetivas estão relacionadas às percepções, avaliações e preferências de conforto térmico.

Tais variáveis, assim como as variáveis pessoais, podem ser coletadas por meio da aplicação de questionários. A ISO 10551 (1995) abrange escalas de julgamento (escalas de percepção térmica, conforto térmico, preferência térmica, aceitabilidade e escala de tolerância) para geração de dados confiáveis e comparativos sobre os aspectos subjetivos do conforto ou estresse térmico.

As diferenças individuais afetam diretamente o conforto térmico e devem ser consideradas com cuidado durante a elaboração do projeto e a operação do ambiente construído (WANG et al., 2018). As diferenças individuais fazem com que os usuários percebam o conforto térmico de forma diferente, mesmo quando são expostos ao mesmo ambiente térmico. Devido às diferenças individuais é um desafio projetar um ambiente térmico que satisfaça todos os ocupantes. Um ambiente que seja adequado a um grupo ou tipo de ocupante pode ser desconfortável para outros, em alguns casos (NAKANO; TANABE; KIMURA, 2002).

2.4 Conforto adaptativo

A sensação de conforto térmico do indivíduo também é influenciada pela capacidade adaptativa em relação ao ambiente climático em que está inserido. Essa característica pode ser definida como uma aclimação fisiológica às condições climáticas em que os indivíduos estão expostos (DE DEAR; BRAGER, 2002). Tal capacidade está relacionada com a termorregulação fisiológica do

organismo, que propicia a permanência do ser humano em condições diferenciadas de temperatura, sem ocasionar desconforto térmico. Indivíduos exercem um maior controle sobre o ambiente térmico tendem a aceitar faixas mais amplas para as temperaturas internas, o que gera uma ampliação da zona de conforto térmico (NICOL; HUMPHREYS, 2002; ALBATAYNEHA et al., 2017).

Além de incluir todos os mecanismos fisiológicos de aclimação, a adaptação também abrange os aspectos comportamentais e psicológicos nos quais os usuários dos edifícios passam ajustar o clima interior às suas necessidades pessoais ou coletivas (DE DEAR, 2004).

A interação entre o ocupante e a edificação é crucial para a abordagem adaptativa de conforto térmico, uma vez que para a maioria das edificações naturalmente ventiladas há necessidade de que seus ocupantes tenham uma posição ativa em relação ao controle do seu ambiente (SANTAMOURIS, 2007).

O comportamento adaptativo é auxiliado por meios de controles que permitem que os ocupantes possam ajustar o ambiente térmico às suas próprias necessidades. “Se uma mudança ocorre e produz desconforto, pessoas reagem de maneira a restaurar o seu conforto” (NICOL; HUMPHREYS, 2009).

Segundo De Dear, Brager e Cooper (1998), a adaptação às condições climáticas internas pode ser dividida em três categorias: comportamentais, fisiológicas e psicológicas.

As adaptações comportamentais incluem quaisquer alterações que o indivíduo possa fazer consciente ou inconscientemente de modo a alterar o fluxo de calor e massa no balanço térmico do corpo humano. Tais ajustes podem ser divididos em três subcategorias: adaptação pessoal (ajuste ao ambiente alterando variáveis pessoais como vestuário, atividade, postura, beber bebidas quentes ou frias, se mover para outro local); adaptação tecnológica ou ambiental (ajuste do ambiente quando possível, como abrir e fechar as janelas ou cortinas, ligar ou desligar sistemas de condicionamento de ar, ligar ou desligar ventiladores, entre outros); e adaptação cultural (inclui agendamento de atividades, *siestas*, códigos de vestimenta, entre outros) (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

As adaptações fisiológicas incluem todas as mudanças que resultam de exposição a fatores térmicos ambientais, e que levam à diminuição gradual do desconforto causado por essa exposição. A adaptação fisiológica pode ser dividida em duas subcategorias: adaptação genética (alterações advindas da herança genética de indivíduos ou grupos de indivíduos e que se desenvolvem ao longo do tempo) e aclimatação (alterações na configuração do sistema de termorregulação fisiológica durante um período de dias ou semanas, em resposta à exposição aos agentes de estresse térmicos isolados ou combinados) (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

As adaptações psicológicas estão relacionadas a uma alteração da percepção e reação a informações sensoriais. Percepções térmicas são diretamente e significativamente atenuadas pelas experiências e expectativas do clima interior. Esta forma de adaptação envolve a construção de "pontos de ajuste de conforto" dos ocupantes da edificação e pode variar no tempo e no espaço (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1998).

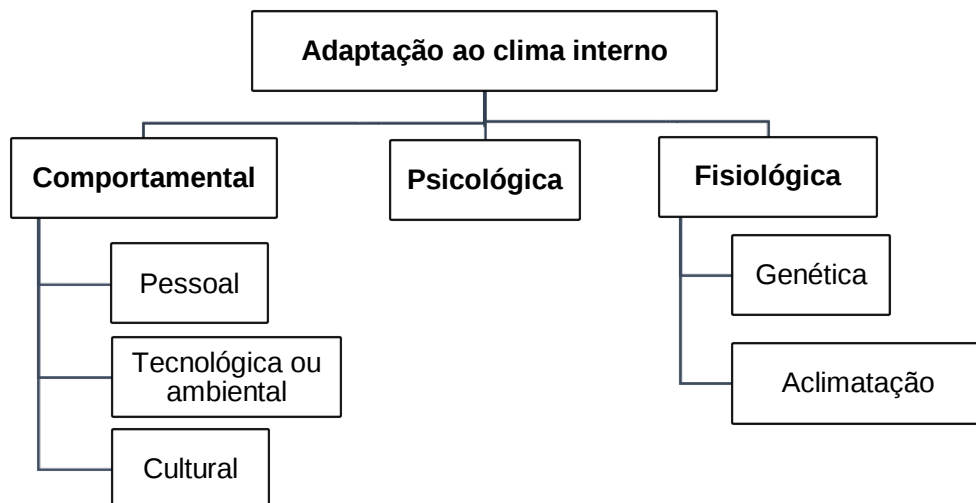


Figura 3: As três categorias de adaptação
Fonte: De Dear; Brager; Cooper, 1998. Adaptado pela autora.

De Dear e Brager (2002) concluíram em seus estudos que indivíduos expostos a ambientes naturalmente ventilados possuem uma maior tolerância às variações de temperatura do que aquelas definidas pelos índices estabelecidos por Fanger (1970). Assim, surgiu o conceito de conforto adaptativo, que engloba variáveis que não eram consideradas nos índices de conforto tradicionais, como os fatores fisiológicos, comportamentais e psicológicos (FIGUEIREDO; FROTA, 2008). Exemplo disso, é o fato de que os limites para ambientes termicamente aceitáveis

podem ser estendidos em espaços que podem ser controlados pelos ocupantes, em regiões de clima quente ou durante períodos quentes, em que as condições térmicas do espaço são reguladas principalmente por meio da abertura e fechamento de janelas (ISO 7730, 2005).

Muitas vezes a adaptação do indivíduo pode influenciar o conforto térmico em ambientes quentes ou frios. Além do vestuário, formas de adaptação como a postura corporal e a diminuição da atividade física, que são difíceis de quantificar, podem resultar na aceitação de temperaturas internas mais elevadas. Pessoas acostumadas a trabalhar e a viver em climas quentes podem facilmente aceitar e manter um desempenho superior em ambientes quentes do que aqueles que vivem em climas mais frios (ISO 7730, 2005).

Em termos fisiológicos, a aclimatação é definida como um processo fisiológico no qual o organismo do indivíduo se torna adaptado a um novo ambiente térmico (ANDREASI, 2009). A aclimatação está relacionada a alterações no sistema de termorregulação fisiológica, em resposta a um ou mais fatores de estresse térmico (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Um indivíduo aclimatado às condições ambientais possui menores tensões ou disfunções fisiológicas quando comparado a um indivíduo não aclimatado. Isso se deve à capacidade de adaptação fisiológica do organismo (LAMBERTS et al., 2011). Auliciems e Szokolay (2007) citam dois tipos de aclimatação: de curto prazo e de longo prazo. Segundo os autores, a aclimatação de curto prazo ocorre no intervalo entre 20 a 30 minutos e a aclimatação de longo prazo, em que são necessários ajustes endócrinos, pode ir além de seis meses.

De Dear, Brager e Cooper (1998) constataram em seus estudos que a aclimatação fisiológica de curto prazo não é tão relevante para a adaptação térmica em condições relativamente moderadas encontradas nos edifícios, enquanto que o comportamento adaptativo e o fator psicológico têm uma influência muito maior. Uma das descobertas mais importantes desse estudo foi a distinção entre respostas de conforto térmico em edifícios com ar condicionado e edifícios naturalmente ventilados, provavelmente resultantes de uma combinação das experiências térmicas dos indivíduos nos edifícios e diferenças nos níveis de percepção de controle no ambiente.

Monteiro (2008) verifica em sua pesquisa que a região de origem do indivíduo e o tempo de exposição do mesmo a novas condições climáticas influenciam a sensação e preferência térmicas. Em estudo realizado em São Paulo – SP, o autor considerou para a aplicação dos questionários: aclimatadas as pessoas que estavam residindo em São Paulo há mais de um ano, de forma ininterrupta; não aclimatadas as pessoas que estavam residindo em São Paulo a menos de um mês. Os questionários das pessoas que residiam em São Paulo no período superior a um mês e inferior a um ano foram descartados da pesquisa.

O nível de conforto térmico não depende apenas do limite que o corpo humano consegue suportar, mas também do que o indivíduo está disposto a alterar em relação ao seu comportamento de forma a alcançar o conforto térmico no ambiente. Isso influencia a maneira que o usuário interage com o meio, como por exemplo, a opção de fechar as persianas em certos momentos do dia em vez de ligar o sistema de condicionamento de ar; colocar um agasalho em momentos em que a temperatura estiver mais baixa em vez de ligar um sistema de aquecimento; ou ainda se mover para locais de maior conforto térmico no ambiente. Nesse cenário, explica-se o conceito de conforto adaptativo, que é aplicável em edificações que utilizam estratégias passivas ou ativas de conforto térmico.

Por meio das práticas de adaptação, é possível obter economia de energia elétrica e, também, uma edificação mais sustentável, uma vez que o uso de sistemas de condicionamento artificial é reduzido ou eliminado (GONÇALVES; BODE, 2015).

2.5 ASHRAE Standard 55

A norma internacional ASHRAE 55 - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”, em sua versão publicada em 2004, incluiu os conceitos do modelo adaptativo proposto por De Dear e Brager (2002) para determinar as condições de conforto em ambientes ventilados naturalmente (FIGUEIREDO; FROTA, 2008).

A ASHRAE 55 (2010) será utilizada nesta pesquisa em relação à sua abordagem de conforto adaptativo, conforme definição abordada no Capítulo 2.4.

Em relação ao modelo adaptativo, essa norma especifica condições térmicas aceitáveis para usuários saudáveis, submetidos a uma pressão atmosférica equivalente a uma altitude de até 3000 m e em ambientes internos ocupados por

pelo menos 15 minutos. Além disso, a aplicabilidade dessa norma em relação ao modelo adaptativo é limitada para edificações ventiladas naturalmente com temperaturas externas entre 10°C e 33,5°C, taxa metabólica dos indivíduos entre 1,0 met e 1,3 met e limite de vestuário entre 0,5 clo e 1,0 clo (os usuários devem ser livres para adaptar o vestuário às condições do ambiente). Ademais, esse método só pode ser aplicado em ambientes equipados com janelas operáveis que abrem para o ambiente externo e que podem ser facilmente ajustadas pelos ocupantes do espaço.

A metodologia adaptativa é baseada em estudos de campo. O conforto térmico dos usuários é avaliado em função da temperatura operativa no interior do ambiente e a temperatura externa média (definida como a média aritmética das temperaturas máximas e mínimas diárias durante os 30 dias anteriores à medição). Para ambientes naturalmente ventilados, a temperatura operativa pode ser obtida por meio da Equação 2.

$$t_{op} = (A \times t_a) + (1-A) \times t_{rm} \quad (2)$$

Onde: t_{op} é a temperatura operativa

t_{rm} é a temperatura radiante média

t_a é a temperatura do ar

A variável A é obtida em função dos valores obtidos para a velocidade do ar.

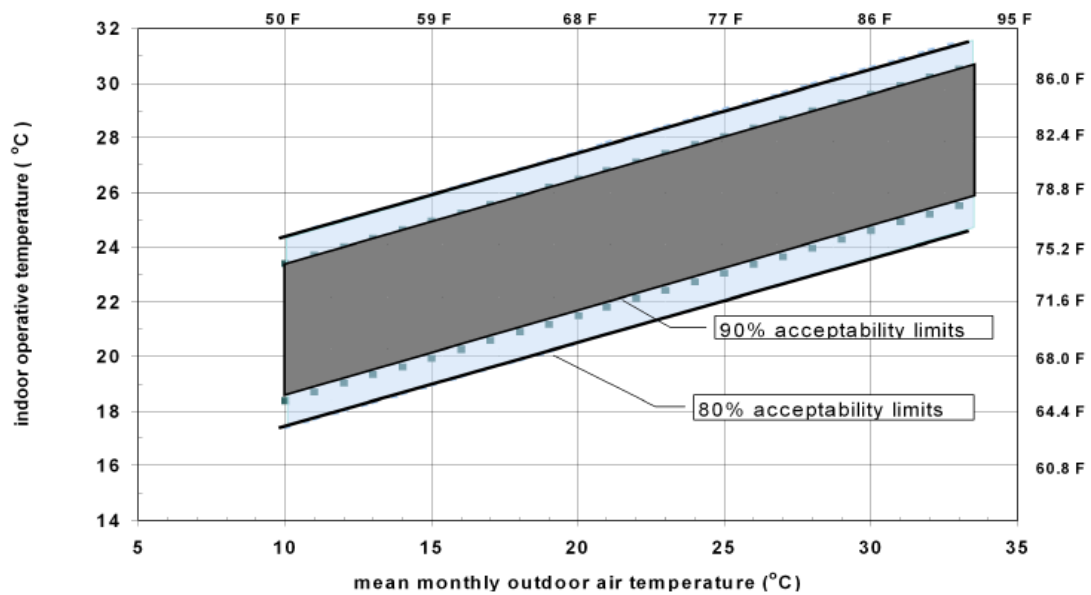
Tabela 3: valores para o coeficiente A

Velocidade	A
< 0,2 /s	0,5
0,2 a 0,6 m/s	0,6
0,6 a 1 m/s	0,7

Fonte: ASHRAE 55, 2010. Modificado pela autora.

A ASHRAE 55 (2010) apresenta intervalos para condições térmicas aceitáveis em um ambiente interno, em função da temperatura operativa e da temperatura externa. São apresentados dois intervalos de aceitabilidade – um para aceitabilidade de 80% (utilizado em aplicações usuais) e outro para aceitabilidade de 90% (utilizado quando um padrão mais elevado de conforto térmico é requerido), conforme ilustra o Gráfico 1.

Gráfico 1: intervalos aceitáveis para a temperatura operativa em espaços naturalmente ventilados



Fonte: ASHRAE 55, 2010

Segundo Halawa e Van Hoof (2012) existem algumas lacunas referentes ao modelo de conforto adaptativo, uma vez que o mesmo não considera variáveis presentes nas abordagens tradicionais, como a interferência da umidade relativa, taxa metabólica, isolamento térmico do vestuário e velocidade do ar. De acordo com Nicol e Humphreys (2002), a norma ignora fatores como o vestuário e a taxa metabólica devido ao fato de essas variáveis estarem relacionadas com a temperatura externa. Entretanto, outros fatores adotados do modelo de Fanger, como a velocidade do ar e a umidade relativa, não estão associados diretamente com a temperatura externa (HALAWA; VAN HOOFF, 2012).

Pereira e Assis (2010) compararam resultados obtidos para os limites de conforto em Belo Horizonte nos estudos de Gonçalves (2000) com os resultados obtidos para quatro modelos de conforto diferentes: Auliciems (1981), Humphreys (1978), Nicol e Humphreys (2002) e DeDear e Brager (2002). Segundo as autoras, a metodologia mais adequada para a avaliação do conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados no Brasil seria o índice adaptativo proposto por De Dear, Brager e Cooper (1998) e incluído na versão da ASHRAE Standard 55 publicada em 2013. Segundo as autoras, em relação à amplitude da zona de conforto térmico, o melhor resultado obtido são as faixas de $T_n \pm 2$ °C, para pouco desconforto, e $T_n \pm 4$ °C, para desconforto.

2.6 Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico procuram englobar as variáveis do microclima às respostas adaptativas dos indivíduos, em repouso ou exercendo atividades, de modo a verificar as condições psicrométricas de conforto térmico para indivíduos aclimatados (PEREIRA; ASSIS, 2010).

Há dois tipos de abordagens relacionadas aos índices de conforto: a analítica e a adaptativa. A abordagem analítica refere-se aos estudos realizados por Fanger (1970) em câmaras climatizadas e não considera o usuário agindo de forma ativa em relação ao conforto térmico. Nesse tipo de estudo, o pesquisador controla as variáveis ambientais e as variáveis pessoais com o objetivo de verificar a combinação que gera o maior conforto para o indivíduo naquele ambiente. Para os estudos realizados por meio de uma abordagem adaptativa, as medições são realizadas em ambientes reais e os pesquisadores consideram a interação ativa do usuário em relação ao ambiente para atingir o conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Os índices de conforto térmico utilizados nessa pesquisa serão apresentados a seguir.

2.6.1 Voto médio predito (PMV)

Na década de 70 o conceito de conforto térmico foi redefinido por Fanger (1970) por meio do voto médio predito (PMV - *Predicted Mean Vote*), que considera o balanço térmico do corpo humano. Os estudos de Fanger foram realizados em câmaras climatizadas, por meio das quais os indivíduos eram submetidos a diversas combinações de variáveis higrotérmicas, nível e eficiência da atividade física e resistência térmica do vestuário. Posteriormente, foram submetidos a um questionário sobre a percepção térmica, composta por níveis que variavam em uma escala de sensações de sete pontos e que representavam a satisfação térmica do indivíduo em relação às combinações das variáveis higrotérmicas. Os valores observados nos questionários eram, então, comparados com o percentual de indivíduos insatisfeitos.

De acordo com a ISO 7730 (2005), devido às diferenças individuais dos seres humanos, especificar um ambiente térmico que irá satisfazer a todos consiste em

uma tarefa supostamente inexecutável pois sempre haverá uma porcentagem de indivíduos insatisfeitos, por menor que seja. Entretanto, é possível estabelecer ambientes aceitáveis para uma porcentagem de ocupantes. O índice PMV estabelece o voto médio de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos nas mesmas circunstâncias, correlacionando em uma escala de sete pontos de conforto térmico que variam de -3 (frio) a + 3 (quente), conforme mostra a Tabela 5. Valores para o PMV acima de +0,5 indicam desconforto por elevadas temperaturas e valores abaixo de -0,5 indicam desconforto por baixas temperaturas, considerando a classe B de conforto apresentada na norma.

Tabela 4: Escala de sensação térmica

Valor da sensação térmica (PMV)	Descrição
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: ISO 7730, 2005.

O índice PMV pode ser obtido quando há dados sobre a atividade (taxa metabólica) e a vestimenta (isolamento térmico), e quando as quatro variáveis ambientais temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar forem medidas de acordo com as determinações da ISO 7726 (1998).

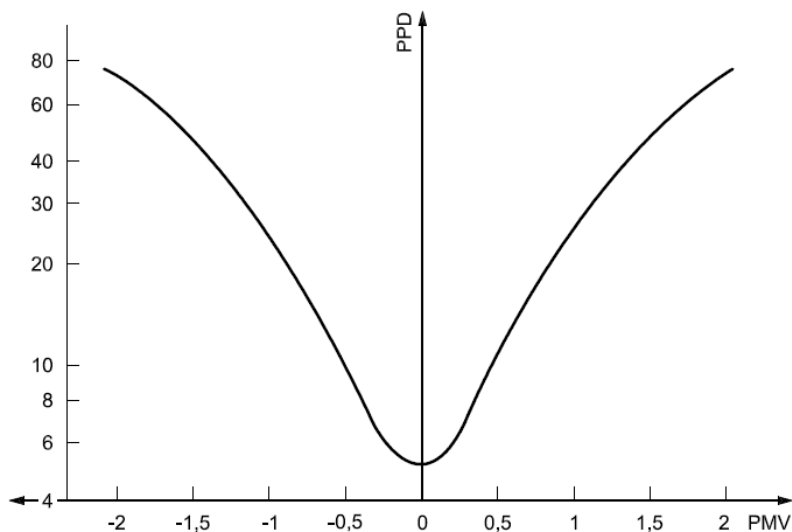
2.6.2 Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD)

O índice referente à porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD - *Predicted Percentage Dissatisfied*) é obtido por meio do cálculo do PMV, e representa a porcentagem de indivíduos, dentro de um grande grupo, que não se sentem confortáveis termicamente, ou seja, seus votos na escala de sete pontos de percepção foram +3, +2 ou -3 e -2. Fanger (1970) afirma em seu estudo que os indivíduos que votaram +1 ou -1 na escala de percepções, não são considerados como insatisfeitos para a obtenção do índice do PPD, uma vez que não manifestavam uma situação de desconforto significativa.

Após o cálculo do PMV, o PPD pode ser obtido por meio do gráfico presente na ISO 7730 (2005), conforme ilustra o Gráfico 2, ou analiticamente. De acordo com essa norma, um ambiente é considerado confortável termicamente quando ele

satisfaz pelo menos 80% dos seus usuários, ou seja, quando expressar um valor médio para o PPD menor do que 10% por calor e menor do que 10% por frio.

Gráfico 2: Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio estimado (PMV)



Fonte: ISO 7730, 2005.

O índice PPD pode ser obtido mediante a equação 3:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(0.03353 \text{ PMV}^4 \times 0.2179 \text{ PMV}^2) \quad \text{Eq. 3}$$

2.6.3 Índices AMV e APD

Para realizar uma comparação entre os resultados obtidos para os índices do modelo estático (PMV e PPD) e o conforto térmico real experimentado pelos usuários, podem ser utilizados dois índices: sensação térmica real das pessoas (*Actual Mean Vote* – AMV) e a porcentagem real de pessoas insatisfeitas (*Actual Percentage of Dissatisfaction* – APD).

O índice AMV caracteriza o conforto térmico em função do comportamento e estado psicológico do usuário. O índice PMV pode ser considerado como uma predição de conforto térmico percebido pelos ocupantes de um edifício, enquanto que o índice AMV é o conforto térmico percebido pelos ocupantes durante seus votos de sensação térmica (ENESCU, 2017).

O AMV é obtido mediante respostas dos usuários em relação à sensação térmica. Assim como no índice PMV, as respostas são distribuídas em uma escala de sete pontos: -3 muito frio; -2 frio; -1 levemente com frio; 0 neutro; +1 levemente com

calor; +2 calor; +3 com muito calor. São considerados confortáveis os indivíduos que votarem +1, 0 ou -1.

O índice APD pode ser obtido por meio da Equação 4:

$$APD = 100 - 95 \times \exp(0.03353 AMV^4 \times 0.2179 AMV^2) \quad \text{Eq. 4}$$

2.6.4 Temperatura operativa (TO)

De acordo com a ISO 7730 (2005), a temperatura operativa ótima é definida pela temperatura que, combinada com parâmetros físicos e pessoais, forneça um PMV igual a 0. Logo, a temperatura ótima de conforto fornece a condição de neutralidade térmica ao indivíduo. A ISO 7726 (1998), define a temperatura operativa (TO) como a temperatura constante de um ambiente fechado, em que o usuário teria a mesma troca de calor por convecção e por radiação como em um ambiente real não uniforme.

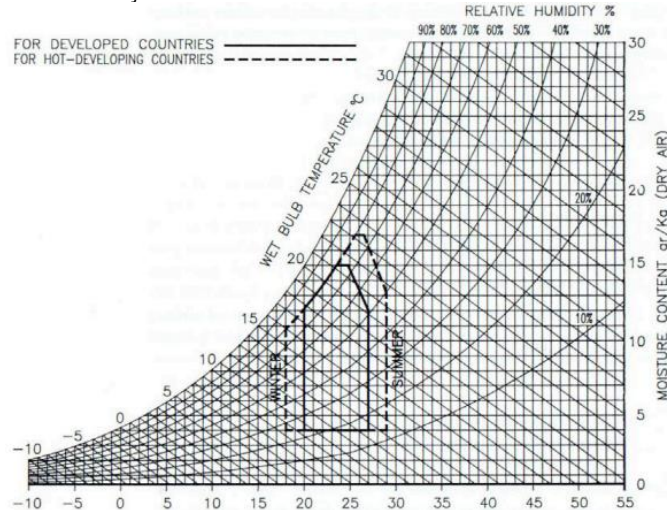
2.7 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura bioclimática busca uma maior adaptação da edificação ao ambiente físico, socioeconômico e cultural, de modo a reduzir o impacto ambiental e o consumo de energia durante todo o ciclo da construção (SERRADOR, 2008).

Na década de 70, Givoni (1976) propôs um diagrama bioclimático para definir condições para a ocorrência do conforto térmico. A carta bioclimática de Givoni é representada sobre um diagrama psicrométrico e relaciona valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e umidade absoluta de forma a agrupar as zonas com características climáticas relativamente homogêneas.

Posteriormente, devido à aclimação verificada em indivíduos de climas quentes e úmidos, Givoni (1992) propôs uma nova carta bioclimática para pessoas que vivem em países em desenvolvimento, conforme ilustra o Gráfico 3. Nessa nova carta, Givoni (1992) aumentou em 2°C o limite superior de temperatura e em 2g/kg o limite superior do conteúdo de vapor por quilograma de ar seco.

Gráfico 3: Variação da zona de conforto térmico na carta de Givoni



Fonte: GIVONI, 1992

Por meio dos valores da temperatura do ar e da umidade relativa, é possível identificar as zonas bioclimáticas na Carta Bioclimática de Givoni e propor soluções que favoreçam o conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A Figura 4 ilustra a delimitação das zonas bioclimáticas e as estratégias a serem adotadas para cada caso.



Figura 4: Carta bioclimática adotada no Brasil
LAMBERTS et al., 2014

A zona de conforto representa as condições que propiciam ao indivíduo grande probabilidade de se sentir confortável termicamente no ambiente analisado. Na Carta Bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento, nota-se que o ser humano experimenta o conforto térmico em diferentes intervalos de umidade relativa (entre 20 e 80%) e de temperatura (entre 18 e 29°C) (LAMBERTS et al., 2014). O *Building Research Establishment* (1979 apud BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2010), sugere que a temperatura em que ocorre o conforto térmico seja ajustada considerando as variáveis velocidade do ar, vestuário e atividade física.

O movimento de ar na edificação por meio de aberturas propicia a ocorrência da ventilação natural. Desse modo, para que a circulação de ar seja adequada, as aberturas devem estar bem localizadas e dimensionadas. A diferença de pressão entre ambientes, a resistência à passagem de ar pelas aberturas, obstáculos internos, incidência do vento e a forma do edifício influenciam o fluxo de ar (FROTA; SCHIFFER, 2001). Bittencourt e Cândido (2010) apontam que a ventilação natural pode ser usada com três finalidades complementares: manter a qualidade do ar nos ambientes internos, eliminar a carga térmica adquirida pela edificação em decorrência dos ganhos de calor externos e internos e promover o resfriamento fisiológico dos usuários. A ventilação é a principal maneira de diminuir o efeito fisiológico propiciado pela umidade elevada, uma vez que velocidades do ar elevadas aumentam o percentual de evaporação na superfície da pele (GIVONI, 1992).

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), a ser abordada no próximo capítulo, sugere diversas estratégias de condicionamento térmico passivo a serem utilizadas nas edificações. Esta pesquisa fará uso dessas estratégias durante a etapa de simulação computacional, em que diversos parâmetros da envoltória serão modificados de modo a obter a situação mais favorável termicamente para o clima em análise.

2.8 NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) foi dividida em cinco partes: Parte 1) trata das definições, símbolos e unidades; Parte 2) estabelece métodos para o cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes das edificações; Parte 3) determina o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; Parte 4) aborda a medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; Parte 5) trata a medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Ainda que a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) utilize como referência a habitação unifamiliar de interesse social, as recomendações e diretrizes apresentadas têm como objetivo a melhoria do desempenho térmico e são baseadas em métodos de

adequação da edificação ao clima (LAMBERTS et al., 2010). Logo, a norma é uma importante referência para a indicação de estratégias bioclimáticas a serem adotadas durante a execução do projeto de edificações, considerando que não existe outra normativa nacional com foco semelhante e abrangência com diferenciação de padrões e/ou tipologias construtivas.

A Figura 5 mostra o zoneamento bioclimático adotado nessa norma, que foi adaptado a partir da Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992).

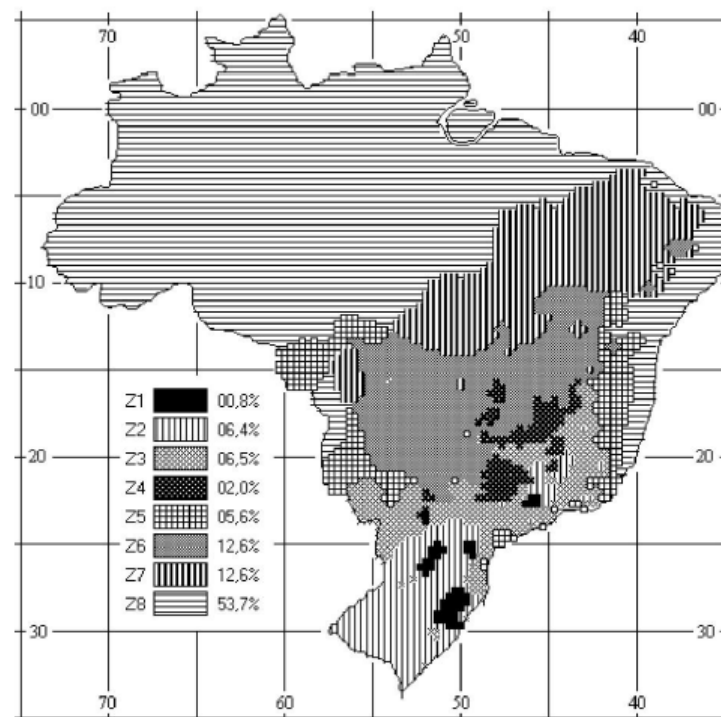


Figura 5: Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: ABNT, 2005b

A partir do zoneamento verificado para uma determinada cidade, é possível definir as estratégias bioclimáticas a serem adotadas. A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) estabelece estratégias baseadas nas planilhas de Mahoney para determinar os limites das propriedades térmicas dos materiais (paredes e coberturas): Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica. O fator solar (FS_o) em materiais opacos, indica a relação entre a taxa de radiação solar transmitida através do material e a taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. O atraso térmico (ϕ) representa o tempo entre uma variação térmica em um determinado meio e a sua manifestação na superfície oposta de um material. A transmitância térmica (U) é uma propriedade relacionada à passagem de energia nos materiais e

está relacionada com a espessura e a condutividade térmica dos constituintes de um elemento construtivo (LAMBERTS et al., 2010).

Para a formulação das diretrizes construtivas, a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) adotou os seguintes parâmetros:

- Tamanho das aberturas para ventilação;
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas, tipo de parede externa e cobertura;
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

A Tabela 5 mostra as estratégias de condicionamento térmico sugeridos pela norma, de acordo com o zoneamento bioclimático.

Tabela 5: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.

Estratégia	Detalhamento
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: ABNT, 2005b

De acordo com as especificações das zonas bioclimáticas da NBR 15.220 (ABNT, 2005b), Belo Horizonte, cidade em que está inserido o objeto de estudo deste trabalho, pertence à zona bioclimática 3 (Figura 6).

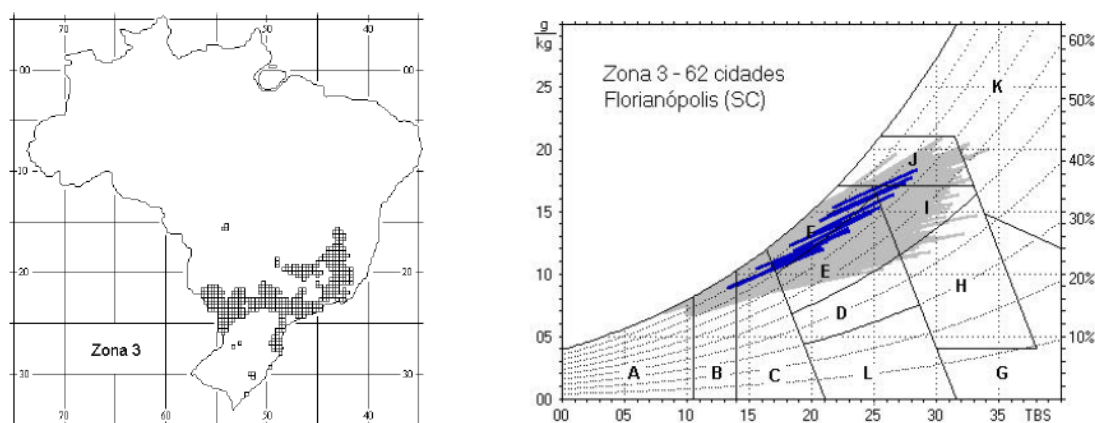


Figura 6: a) Zona bioclimática 3 e b) Características da zona bioclimática 3
Fonte: ABNT, 2005b

Para a zona bioclimática 3, as recomendações construtivas são aberturas médias para a ventilação, e sombreamento das aberturas de modo a permitir sol no inverno. As paredes externas devem possuir inércia térmica leve e devem ser refletoras, as coberturas devem possuir inércia térmica leve e isolamento térmico. No que se refere ao condicionamento térmico passivo, a norma recomenda no inverno a utilização de aquecimento solar na edificação e vedações internas com elevada inércia térmica. No verão, é recomendada a estratégia de ventilação cruzada (ABNT, 2005b).

2.9 EnergyPlus

O *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e é disponibilizado gratuitamente no *website* desta instituição (DOE, 2018). Esse software atende aos requisitos exigidos pela ASHRAE 140 (2007) e é utilizado em diversas pesquisas na área de conforto e desempenho térmico.

As simulações termo-energéticas de edificações permitem a elaboração de projetos mais sustentáveis, que propiciam maior conforto térmico aos usuários e a redução do consumo energético. As alterações dos cenários de desempenho térmico durante as simulações podem ser iterativas ou com algoritmos de otimização (GOSSARD; LARTIGUE; THELLIER, 2013).

O *EnergyPlus* pode gerar dados de saída como, por exemplo, temperaturas internas dos ambientes da edificação, temperaturas superficiais, trocas de calor, consumo energético de edifícios, entre outros. Para isso, é realizada a modelagem física da edificação e são inseridos dados como as variações horárias para ocupação, iluminação e equipamentos. Além disso, o *software* permite simular diferentes estratégias bioclimáticas para o projeto, considera as trocas térmicas entre as zonas, modela os efeitos de inércia térmica e permite realizar a simulação para as 8760 horas do ano. As simulações são realizadas a partir de um arquivo climático com dados horários, utilizando o método do balanço térmico.

Brigitte et al. (2016) avaliaram a viabilidade de integrar a etapa de simulações termo-energéticas durante a concepção de projetos. Dessa forma, os autores apresentaram uma metodologia de procedimentos a serem adotados pelo projetista e pelo simulador, considerando seis estudos de caso inseridos em clima quente. Após o mapeamento de processos e elaboração de *checklist* para a realização desse processo, os autores concluíram que é possível integrar as simulações desde a primeira fase projetual.

Para que os resultados das simulações geradas no *EnergyPlus* sejam confiáveis e representem melhor a edificação em estudo, é necessário realizar a calibração do modelo computacional representativo (PEREIRA; GHISI, 2015). O processo de calibração consiste no aperfeiçoamento do modelo computacional, mediante a utilização de parâmetros de entrada mais precisos e dados reais medidos na edificação (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). Diversos estudos foram conduzidos a respeito desse processo (PEDRINI, 1997; GALVARRO; et al., 2013; BARBOSA; GHISI, 2017; RIOS, 2015), de modo a obter dados que representem o comportamento real da edificação. Uma vez validado o modelo computacional por meio do processo de calibração, pode-se utilizar os dados de saída do programa com mais segurança.

Silva e Ghisi (2014) analisaram a influência dos modelos computacionais nos resultados para o consumo energético por resfriamento e aquecimento em uma edificação. Os autores criaram 15 modelos diferentes e realizaram simulações mediante a utilização do *EnergyPlus*, considerando três climas distintos. Como conclusão, o estudo relatou que as incertezas encontradas foram relativamente altas e que devem ser levadas em conta durante a calibração ou realização de simulações computacionais.

Balvedi et al. (2018) avaliaram a influência do comportamento do usuário no desempenho térmico mediante simulações computacionais, para uma edificação residencial multifamiliar localizada em Florianópolis-SC. Segundo os autores, as diferenças nos padrões de comportamento dos usuários promoveram variações superiores a 130% nos resultados de graus-hora por aquecimento e por resfriamento para a edificação.

Belazi et al. (2018) analisaram as incertezas referentes ao comportamento do usuário e aos materiais da envoltória na simulação do desempenho energético de um edifício de escritórios. O estudo foi conduzido considerando diferentes climas e variações aleatórias de parâmetros foram conduzidas de forma a avaliar as incertezas em relação ao consumo energético final. Os resultados do estudo demonstraram uma grande variedade em relação à demanda energética da edificação devido às incertezas relacionadas ao comportamento do usuário e às propriedades dos materiais da envoltória. Segundo os autores, as variáveis de maior influência para climas quentes estavam relacionadas aos usuários enquanto que, para climas frios, estavam relacionadas aos materiais da envoltória.

Roberti, Oberegger e Gasparella (2015) realizaram a calibração de uma edificação histórica, modelada no *EnergyPlus*. O risco de obter um modelo calibrado cujos parâmetros são diferentes dos reais é particularmente alto em edifícios históricos devido ao aumento da incerteza em relação à sua construção. Os autores realizaram uma análise de sensibilidade, em que foram avaliados os parâmetros de maior influência na envoltória da edificação. Inicialmente, foi realizado o monitoramento da temperatura do ar interna, no verão, em intervalos de uma hora. Então, foram comparadas as temperaturas medidas e simuladas por meio da análise do erro quadrático médio. Para validar a calibração, foram comparados os valores medidos e simulados para: a temperatura do ar no interior da edificação, no

inverno; a temperatura das faces internas das paredes que constituem a envoltória, no verão. Esse método de validação é necessário para verificar os períodos não incluídos na etapa de calibração, uma vez que o modelo pode se comportar de maneira distinta de acordo com o clima externo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada para a condução da pesquisa, abrangendo os métodos de abordagem e de procedimentos.

3.1 Métodos de abordagem

A pesquisa desenvolvida classifica-se, do ponto de vista da natureza, como aplicada e, em relação à abordagem, como quantitativa e qualitativa. A pesquisa aplicada tem como escopo a aplicação prática de dados para a solução de determinados problemas; a pesquisa quantitativa tem como objetivo quantificar opiniões e informações para categorizá-las e analisá-las; e a pesquisa qualitativa interpreta fenômenos e atribui significados (SILVA; MENEZES, 2005).

3.2 Métodos de procedimentos

A metodologia desenvolvida neste trabalho subdivide-se em duas partes: 1) avaliação do conforto térmico para os usuários; e 2) avaliação do desempenho térmico da envoltória.

Após a definição do estudo de caso, foram realizados os seguintes procedimentos:

1. Caracterização do clima da cidade em que está inserido o estudo de caso: nesta etapa foram coletados dados como a velocidade predominante do vento e dados referentes às normais climatológicas (1981-2010) para a temperatura média mensal, umidade relativa do ar e precipitação acumulada mensal.
2. Caracterização do estudo de caso: o estudo de caso foi caracterizado em relação à implantação, distribuição dos ambientes na edificação, orientação das aberturas, entre outros.

Após a definição do estudo de caso, a avaliação do conforto térmico subdividiu-se nas seguintes partes:

1. Definição da amostragem: nesta etapa foram determinados o perfil e o número de usuários entrevistados, estabelecendo o nível de confiança e precisão para amostra selecionada.
2. Elaboração do questionário e do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE): o questionário foi elaborado por meio de uma plataforma *online* com

o objetivo de avaliar o conforto térmico dos usuários no ambiente construído. O questionário foi desenvolvido baseado em estudos anteriores e na norma ISO 10551 (1995). Previamente à realização das entrevistas, o questionário e o TCLE foram submetidos para aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa por meio da Plataforma Brasil.

3. Coleta de dados em campo: para avaliar as condições de conforto térmico, foram coletadas variáveis ambientais simultaneamente à aplicação de questionários aos usuários. As variáveis ambientais foram coletadas por meio de instrumentos de medição calibrados/aferidos e as variáveis pessoais e subjetivas foram obtidas mediante a aplicação dos questionários. Previamente à coleta de dados em campo, foi realizado um estudo piloto de modo a avaliar a efetividade da metodologia de pesquisa.
4. Avaliação de acordo com o modelo estático: mediante a utilização dos dados obtidos durante a coleta de dados em campo, foi possível calcular os índices PMV e PPD, conforme preconizado pela norma internacional ISO 7730 (2005).
5. Avaliação de acordo com o modelo adaptativo: calculado conforme disposto na ASHRAE 55 (2010) para edificações naturalmente ventiladas. Foram coletados dados para a temperatura média mensal externa referentes aos 30 dias anteriores à coleta de dados. Então, foi calculada a temperatura neutra e os limites para 80% de aceitabilidade térmica. Tais dados foram sobrepostos em um gráfico com a temperatura operativa do ambiente analisado durante o monitoramento. Dessa forma, foi possível avaliar se a temperatura operativa durante as entrevistas se encontrava dentro dos limites de aceitabilidade térmica, de acordo com o estabelecido no modelo adaptativo da norma.
6. Avaliação referente à sensação e percepção térmicas dos usuários: mediante a aplicação dos questionários foi possível obter a sensação e preferência térmica dos usuários entrevistados.
7. Comparação: foram comparados os resultados para o conforto térmico dos modelos adaptativo e estático com as respostas térmicas dos usuários.

Em relação à avaliação do desempenho térmico da envoltória, foram seguidos os seguintes procedimentos:

1. Elaboração do modelo computacional: foi elaborado um modelo computacional representativo do estudo de caso por meio do *software EnergyPlus*.
2. Calibração do modelo computacional: para melhorar a precisão do modelo computacional foi realizada sua calibração manual e iterativa. Nesse processo, alguns parâmetros de entrada do modelo foram alterados de forma a aumentar a correspondência entre temperaturas de bulbo seco medidas no interior da edificação e as temperaturas obtidas por meio da simulação. A Figura 7 apresenta uma representação esquemática da metodologia desenvolvida durante o processo de calibração.

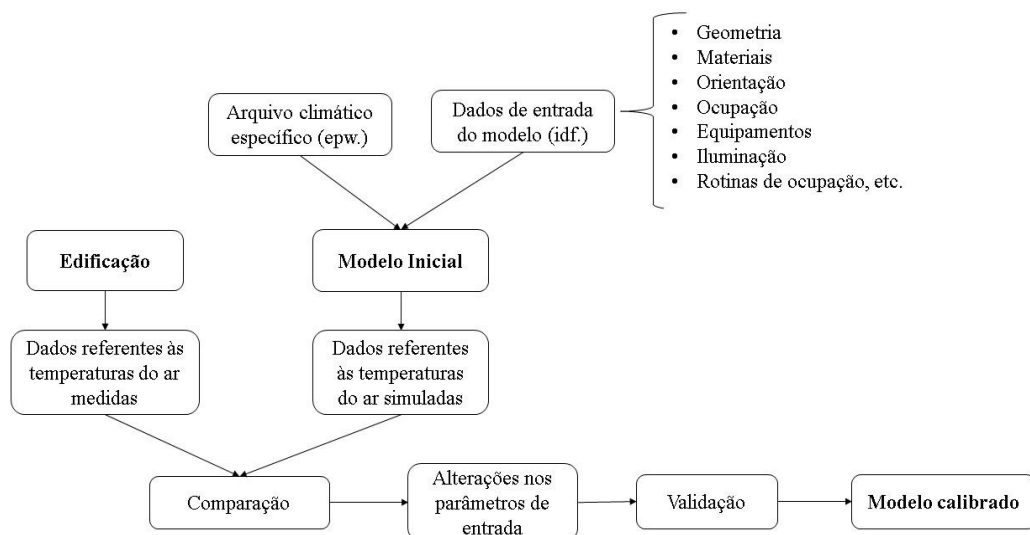


Figura 7: Metodologia utilizada para a calibração
Fonte: Autora, 2018

3. Simulações: foram realizadas simulações computacionais para a edificação real e para alterações em sua envoltória, com o intuito de avaliar a influência da adoção de estratégias recomendadas na parte 3 da NBR 15.220 (ABNT, 2005b), de forma a otimizar as condições de conforto.
4. Indicadores de conforto: foram comparados indicadores de conforto para os resultados obtidos para o modelo computacional referente à edificação real e para o modelo que apresentou o melhor resultado para as alterações da envoltória.

3.3 Estudo de caso

O estudo de caso desta pesquisa é uma moradia universitária localizada em Belo Horizonte – MG.

3.3.1 Caracterização do clima de Belo Horizonte

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, Belo Horizonte é classificado como Cwa, possuindo clima tropical de altitude.

A direção predominante dos ventos, para todas as estações do ano, é leste.

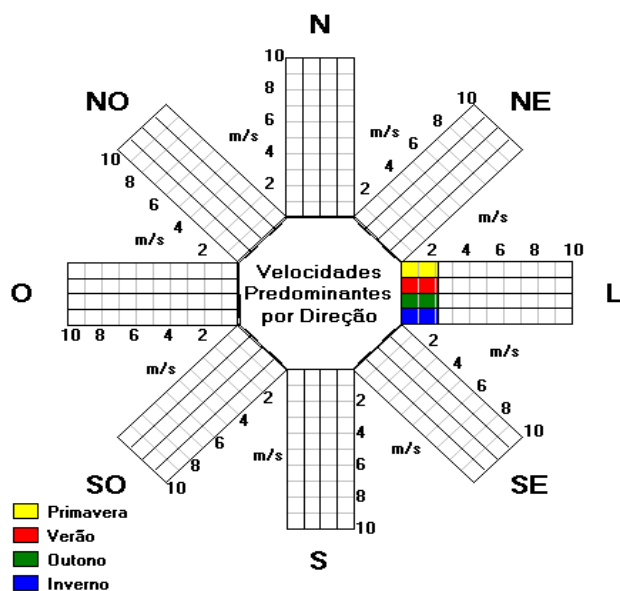
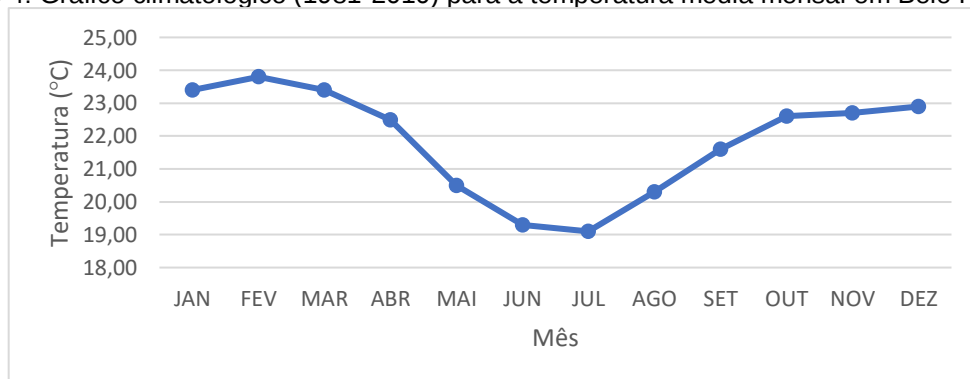


Figura 8: Velocidades predominantes do vento por direção para Belo Horizonte
Fonte: Analysis SOL-AR 6.2

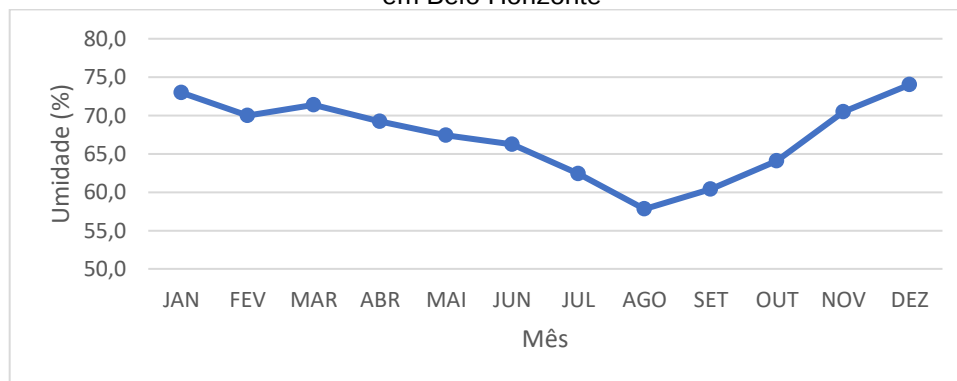
Os Gráficos 4 a 6 ilustram os dados das normais climatológicas para Belo Horizonte. Os dados foram obtidos no site do INMET (2018) e foram registrados por meio de uma estação meteorológica de superfície durante o período de 01/01/1981 a 31/12/2010.

Gráfico 4: Gráfico climatológico (1981-2010) para a temperatura média mensal em Belo Horizonte



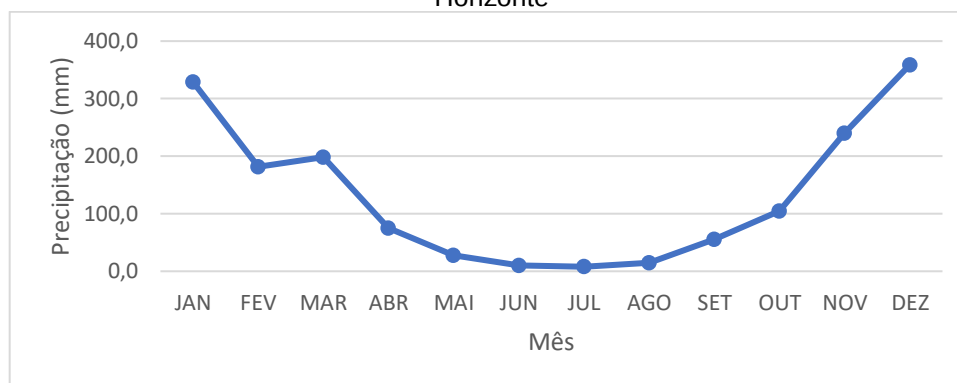
Fonte: INMET, 2018. Modificado pela autora.

Gráfico 5: Gráfico climatológico (1981-2010) para a umidade relativa do ar compensada mensal em Belo Horizonte



Fonte: INMET, 2018. Modificado pela autora.

Gráfico 6: Gráfico climatológico (1981-2010) para a precipitação acumulada mensal em Belo Horizonte



Fonte: INMET, 2018. Modificado pela autora.

3.3.2 Caracterização da moradia universitária

O estudo foi realizado em uma moradia universitária situada em Belo Horizonte – MG. A edificação está inserida em uma malha urbana composta majoritariamente por residências, unifamiliares ou multifamiliares de até 4 pavimentos, com infraestrutura em termos de produtos e serviços. A moradia está próxima à Lagoa da Pampulha.

O projeto da moradia referente ao estudo de caso foi desenvolvido de modo a integrar os espaços com outra moradia universitária existente no local. A área total do terreno é de 7621 m² e a projeção da área construída é de 2339 m² (DPFP, 2015a).



Figura 9: Implantação das moradias universitárias
 Fonte: Google Maps, 2018. Modificado pela autora.

As unidades habitacionais estão distribuídas em dois blocos construídos em alvenaria estrutural de blocos de concreto, localizados em extremidades opostas do terreno. O projeto em questão é composto por três blocos, como mostrado na Figura 10. Além dos Blocos I e II destinados às unidades habitacionais, há também o Bloco III, destinado à área de uso comum. O Bloco I possui 5 pavimentos e o Bloco II, 4 pavimentos, ambos com 5 unidades habitacionais por pavimento (DPFP, 2015a). Os projetos referentes às plantas do pavimento tipo, cobertura e fachadas, estão inseridos no Anexo A.

De acordo com o memorial descritivo da edificação (DPFP, 2015a), durante a concepção do projeto arquitetônico foram adotadas algumas técnicas passivas de conforto térmico, como o estudo para a orientação das fachadas e a utilização de brises. As fachadas em que estão localizadas as janelas dos quartos estão orientadas na direção Noroeste e Sudeste. Para a orientação Noroeste foi necessária a utilização de brises para proteger os ambientes da insolação. Tais elementos permitem o acesso controlado à iluminação natural e foram construídos por meio de avanços das lajes e das alvenarias na fachada, reduzindo a incidência solar direta. Essa solução de projeto visa a redução da necessidade do uso de equipamentos de climatização artificial para a obtenção do conforto térmico nos ambientes (DPFP, 2015a).

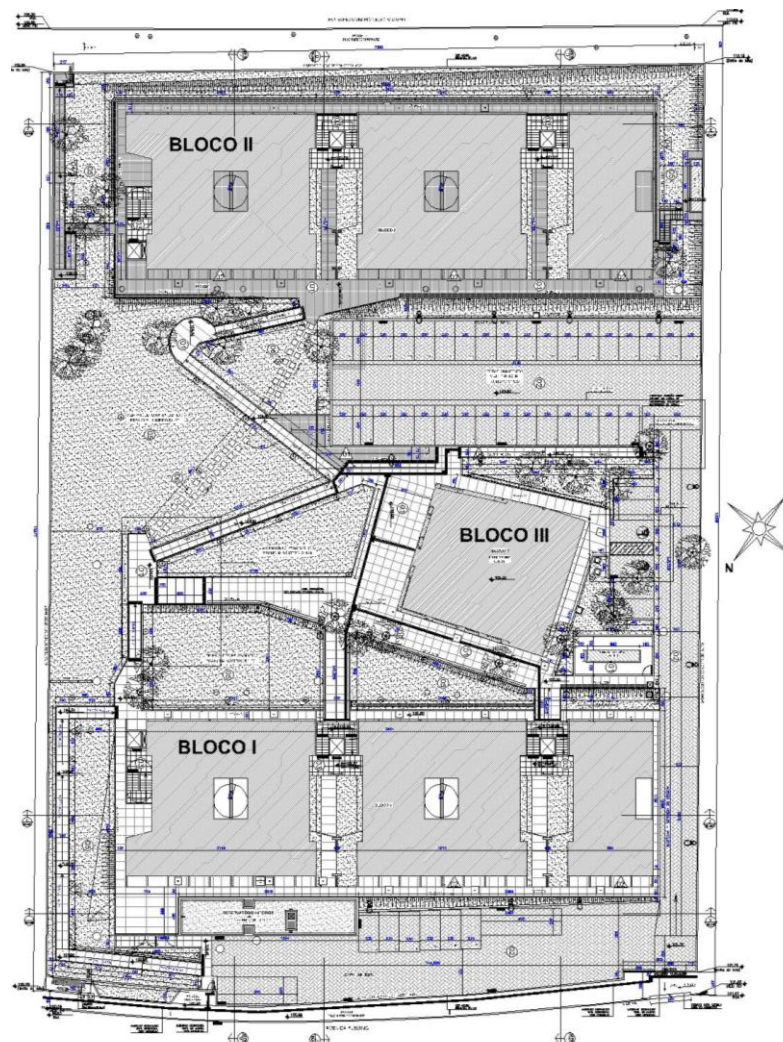


Figura 10: Croqui de implantação. Sem escala.
 Fonte: DPFP, 2014a. Modificado pela autora.

Na unidade habitacional tipo (Figura 11) há a seguinte divisão de espaços: uma cozinha, uma área de serviço, dois sanitários, dois lavatórios, dois chuveiros e nove quartos. Cada unidade habitacional possui, em média, 140 m². Todos os cômodos dos apartamentos são naturalmente ventilados e não há previsão da utilização de condicionamento artificial.

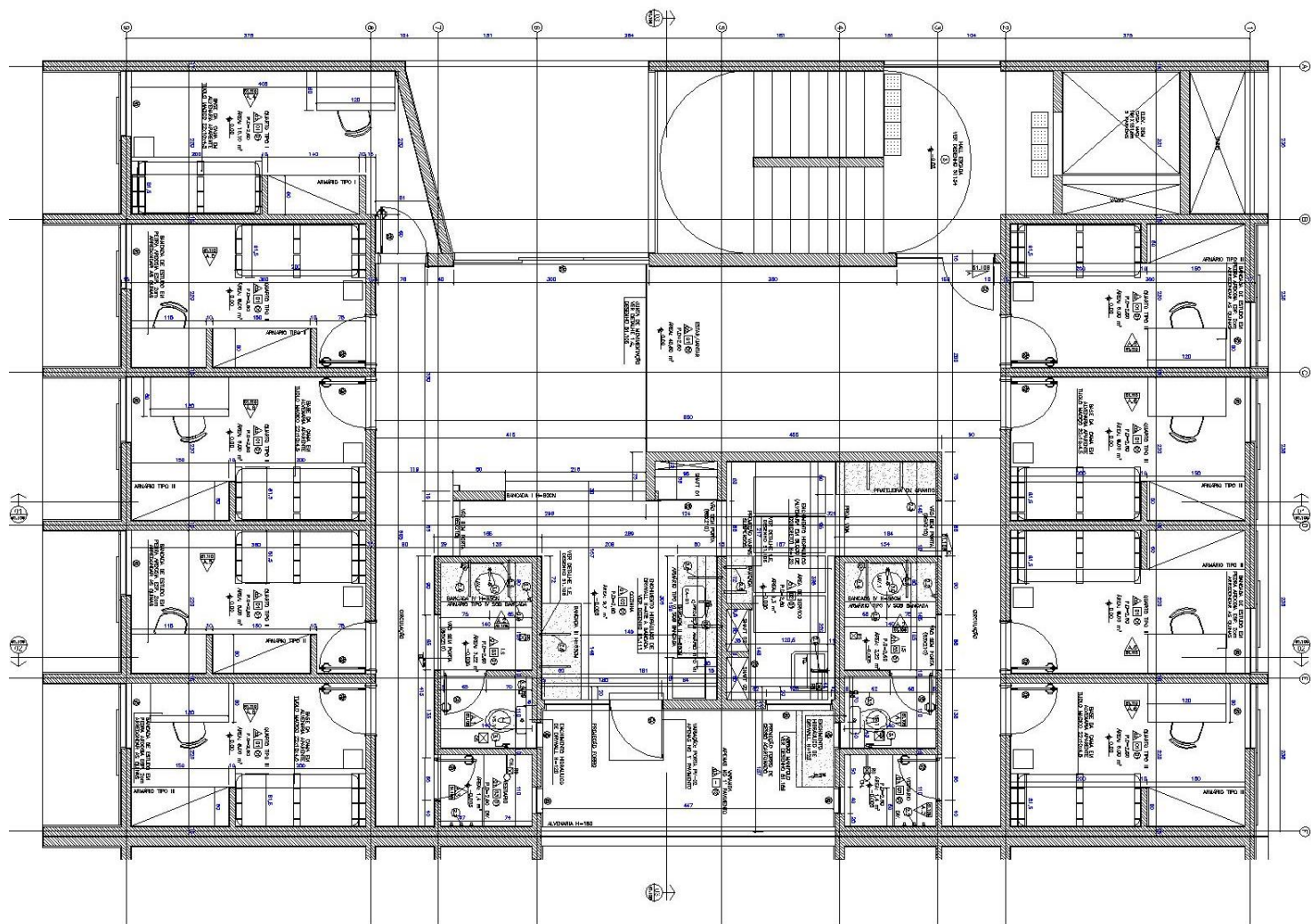


Figura 11: Planta da unidade habitacional tipo. Sem escala.
Fonte: DPFP, 2014b.

3.4 Avaliação do conforto térmico

A avaliação do conforto térmico dos ocupantes foi realizada em um ambiente interno para os modelos adaptativo e estático. Complementarmente, foram aplicados questionários sobre a sensação e preferência térmica dos usuários.

Para realizar tais avaliações, foi realizado o monitoramento de um ambiente da edificação simultaneamente à aplicação de questionários aos usuários. Segundo Kuchen (2011), esse tipo de análise permite detectar outros dados de influência sobre o conforto térmico do usuário e sua avaliação simultânea sobre eles.

A seleção do ambiente analisado no estudo de caso (Figura 12) foi baseada no fato de ser um ambiente de permanência prolongada e, além disso, ser considerado como a pior situação em relação ao critério de conforto térmico para os usuários: o quarto possui três paredes expostas à insolação (Figura 13) e a laje superior é a laje de cobertura.



Figura 12: Localização do quarto em que foram conduzidas as entrevistas
Fonte: Autora, 2018.

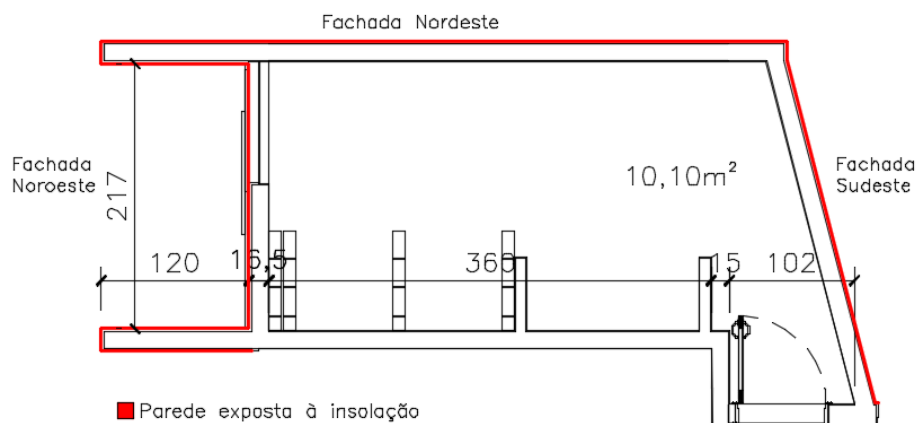


Figura 13: Orientação das paredes do quarto em estudo
Fonte: DPFP, 2014b. Adaptado pela autora.

3.4.1 Amostragem

Para obter o número de alunos para a realização das entrevistas, foi utilizada a metodologia apresentada por Renckly (1996) para a determinação do espaço amostral (Equação 5). Segundo o autor, esse método pode ser utilizado quando os resultados podem ser apresentados de diversas formas ou quando há a dificuldade em avaliar a porcentagem e o desvio padrão do parâmetro a ser estudado.

$$n = \frac{0,25NZ^2}{L^2.(N-1) + (0,25Z^2)} \quad (5)$$

Em que:

n: tamanho necessário para a amostra;

N: número de indivíduos conhecido ou estimado da população;

Z: número de unidades de desvio padrão correspondente ao nível de confiança desejado;

L: precisão desejada, tolerância em torno da média.

Levando em consideração o número de indivíduos conhecidos (N) igual a 386 (considerando os usuários que residem na moradia universitária), um nível de confiança de 80% para um coeficiente de confiança (Z) de 1,28, e a precisão desejada (L) de 0,1, foi obtida uma amostra de 37 usuários.

Em relação ao perfil dos entrevistados, como a moradia objeto de estudo ainda não havia sido ocupada no momento de definição da amostra, foram utilizados dados sobre o perfil dos moradores de outras duas moradias universitárias localizadas na mesma região (Figura 14). Os dados foram fornecidos em maio de 2018 pela fundação que gerencia as moradias universitárias da instituição de ensino superior em Belo Horizonte. Após a análise desses dados, foi definido que o público alvo da pesquisa teria faixa etária entre 19 e 29 anos. O Gráfico 7 ilustra os dados referentes aos usuários das moradias.



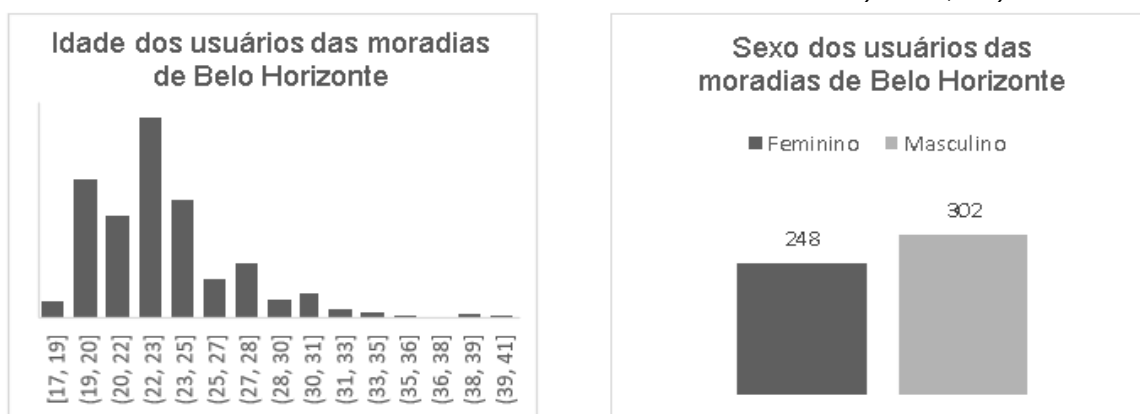
Legenda:

- Moradia Universitária I
- Moradia Universitária II
- Moradia Universitária III (objeto de estudo)

Figura 14: Implantação das moradias universitárias

Fonte: Google Maps, 2018. Adaptado pela autora.

Gráfico 7: Dados dos usuários das moradias de Belo Horizonte: a) idade; e b) sexo:



Fonte: Relatório da fundação que gerencia a moradia universitária

3.4.2 Medição das variáveis ambientais

Para a definição do período a ser aplicado os questionários e medição das variáveis ambientais, foram consultadas as normais climatológicas para a cidade em que está inserido o estudo de caso. Dessa forma, foi elegido um mês com a temperatura média superior à temperatura média anual. As medições das variáveis ambientais desta pesquisa foram realizadas no mês de outubro de 2018. Esse período foi escolhido devido ao fato de a moradia universitária, objeto deste estudo, estar em fase de construção no primeiro semestre de 2018. Além disso, segundo as últimas normais climatológicas (1981-2010), outubro é um dos meses mais quentes do

segundo semestre do ano e possui temperatura média (22,6°C) superior à temperatura média anual (21,8°C).

Anteriormente à aplicação dos questionários, foi consultada a previsão do tempo para eleger uma semana com dias de estabilidade atmosférica (três dias de céu claro antes da coleta de dados).

Foram realizadas as coletas das seguintes variáveis ambientais: temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, temperatura de globo e velocidade relativa do ar. Para a medição dessas variáveis, foram utilizados os seguintes equipamentos: termo-higrômetro, medidor de stress térmico (com termômetro de globo de 150mm) e anemômetro. As características dos equipamentos estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6: Características dos instrumentos utilizados na pesquisa

Equipamento	Variável	Marca/ Modelo	Precisão	Escala	Resolução
Medidor de stress térmico com <i>data logger</i>	Temperatura de globo, temperatura de bulbo seco e umidade	Instrutherm/ TGD-300	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	- 5°C a 60°C	0,1°C
Anemômetro	Velocidade do ar	Instrutherm/ AD-250	$\pm 3\%$	0,4 a 30 m/s	0,1 m/s
Termo-higrômetro	Temperatura de bulbo seco e umidade	Onset Computer Corporation/ Hobo U12	$\pm 0,35^{\circ}\text{C}$	-20° a 70°C	0,03°C
Sensor de temperatura	Temperatura de globo	National Semiconductor/ LM35	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	- 55°C a 150°C	0,5 ° C

Fonte: Manual dos equipamentos.

Todos os equipamentos foram calibrados por empresas acreditadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e os certificados de calibração podem ser consultados nos anexos C, D e E.

O *data logger* do medidor de stress térmico e do termo-higrômetro foram programados para registrar dados em intervalos de 5 minutos e a velocidade do ar foi registrada manualmente com a mesma frequência, uma vez que o anemômetro utilizado na pesquisa não possui a função de registro temporal de dados.

A ISO 7726 (1998) recomenda que os sensores de temperatura sejam protegidos dos efeitos da radiação térmica provenientes das superfícies aquecidas ou resfriadas. Assim, foram utilizados abrigos para a proteção dos termo-higrômetros utilizados nesta pesquisa.

Para realizar o monitoramento externo da temperatura de bulbo seco e da umidade, foi utilizado um termo-higrômetro posicionado em área próxima ao quarto. O equipamento foi protegido por um abrigo, confeccionado em PVC, fixado em um tripé (Figura 15a). A elaboração do abrigo em PVC seguiu as recomendações apresentadas em estudo realizado por Hirashima (2010).

No ambiente interno foram instalados o medidor de stress térmico, o anemômetro e um termo-higrômetro. Para a proteção do termo-higrômetro, foi utilizado um abrigo confeccionado com garrafa PET revestida por papel alumínio (Figura 15b). Segundo pesquisa realizada por Barbosa, Lamberts e Guths (2008), em que foram avaliados diferentes tipos de barreiras de radiação para a medição de temperaturas do ar em ambientes internos, o abrigo de garrafa PET foi o que apresentou os menores desvios padrão em relação à temperatura padrão do ambiente analisado. O abrigo foi fixado no teto do quarto por meio de um barbante e termo-higrômetro foi posicionado a uma altura de 1,10m do piso.



Figura 15: a) Posicionamento do termo-higrômetro na área externa; b) Posicionamento dos equipamentos no interior do quarto
Fonte: Autora, 2018

Os equipamentos foram instalados em um tripé, com sensores a uma altura de 1,10m do piso, conforme recomendação da ISO 7726 (1998).

O tempo de estabilização considerado para o termômetro de globo de 150mm foi de 30 minutos, de acordo com as orientações da ISO 7726 (1998).

A Figura 16 apresenta a disposição em planta dos equipamentos utilizados durante a aplicação dos questionários.

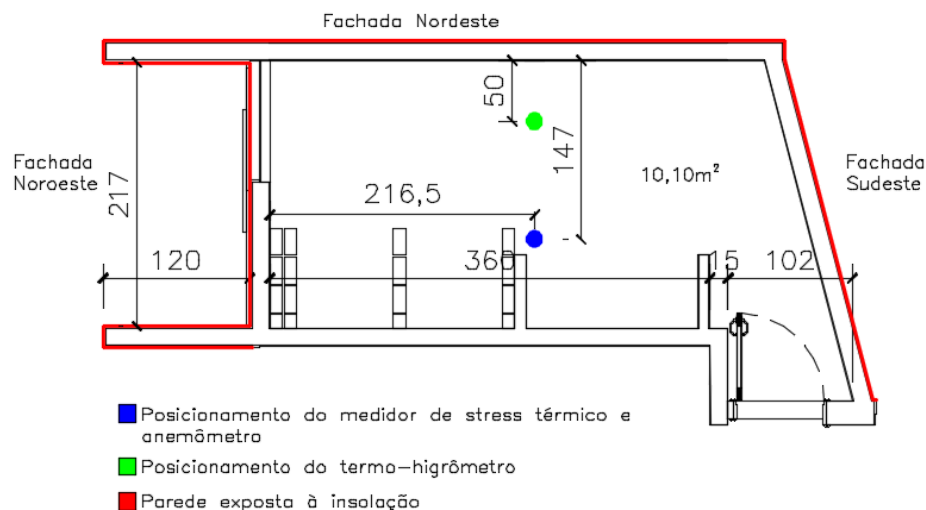


Figura 16: Posicionamento em planta dos equipamentos utilizados durante a realização das entrevistas
 Fonte: DPFP, 2014b. Adaptado pela autora.

3.4.3 Obtenção das variáveis pessoais

Para a obtenção das variáveis pessoais e subjetivas, foram aplicados questionários aos usuários do estudo de caso, baseados na ISO 10551 (1995), e em outros questionários aplicados em pesquisas sobre conforto térmico (HIRASHIMA, 2010; FARIA, 2013; MONTEIRO, 2008). O modelo do questionário utilizado nesta pesquisa está apresentado no Apêndice B.

O objetivo da aplicação dos questionários é avaliar a percepção, a aceitabilidade e a preferência térmica dos indivíduos. Complementarmente, foram incluídos os dados antropométricos, a taxa metabólica e o vestuário dos entrevistados.

Previamente à aplicação do questionário, foi apresentado ao participante de pesquisa o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Este termo foi assinado pelo participante da pesquisa e pela pesquisadora, em duas vias, sendo que uma das vias permaneceu com o participante. O TCLE abrange informações como: descrição da forma que o participante irá contribuir com a pesquisa; descrição dos riscos e desconfortos, medidas mitigadoras de risco e grau dos riscos envolvidos; descrição dos benefícios diretos e indiretos ao participante; direitos do participante de pesquisa, a saber: anonimato, confidencialidade, sigilo e privacidade, mesmo após o término ou interrupção da pesquisa; entre outros. O modelo do TCLE utilizado nesta pesquisa está apresentado no Apêndice A.

O questionário e o TCLE foram submetidos para a aprovação da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP por meio da Plataforma Brasil (BRASIL, 2018a). A pesquisa em campo foi iniciada somente após a aprovação do projeto pelo sistema CEP/CONEP. Os questionários utilizados nesta pesquisa foram aprovados pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP (Projeto CAAE: 97587218.9.0000.8507, aprovado pelo Sistema CEP/CONEP, em 19 de outubro de 2018).

Para a aplicação dos questionários, foi definida a utilização da plataforma online *eSurv* (2018). Os questionários foram preenchidos pelos participantes mediante a utilização de um *smartphone* pessoal. As respostas obtidas nos questionários foram registradas pela plataforma, sendo posteriormente exportadas para uma planilha eletrônica, de modo a possibilitar a análise dos dados.

A plataforma *e-Surv* é uma ferramenta *online* gratuita, de fácil acesso e uso tendo se mostrado efetiva para a aplicação de questionários nesta pesquisa. Além disso, o uso de plataformas *online* de pesquisa, de acordo com Evans e Mathur (2005), elimina erros de transcrição, possibilita realizar análises preliminares antes do término da coleta de dados, simplifica a exportação e análise de dados, entre outros.

O início da aplicação dos questionários aos entrevistados foi condicionado à aclimação no ambiente. A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010) estabelece que, a aplicação da norma para estudos de conforto em ambientes internos pode ser efetuada se os ocupantes permanecerem no ambiente por pelo menos 15 minutos. Dessa forma, o tempo de aclimação de curto prazo adotado nesta pesquisa foi de, no mínimo, 15 minutos. Após a aclimação, foram aplicados os questionários, que tiveram duração média para preenchimento de 5 minutos. A Figura 17 apresenta as fases referentes à aplicação dos questionários para os usuários da edificação.

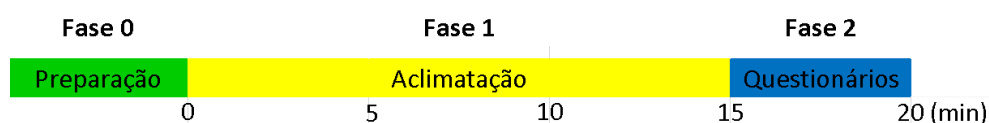


Figura 17: Fases referentes à aplicação dos questionários

Fonte: Autora, 2018

Em relação à aclimação de longo prazo, os indivíduos foram categorizados como aclimatados se residissem em Belo Horizonte por um período superior a seis

meses. Esse período de aclimação, inferior ao encontrado na bibliografia, foi escolhido devido ao estudo de caso ser uma moradia universitária e existirem muitos estudantes que residiam no local em período inferior a um ano. Os entrevistados que relataram residir em Belo Horizonte pelo período entre um mês e seis meses tiveram os seus questionários descartados. Foram considerados não aclimatados os indivíduos que declararam residir em Belo Horizonte em tempo inferior a um mês.

Para avaliar os votos referentes à sensação térmica dos usuários de acordo com a escala sétima, as respostas foram agrupadas de acordo com critérios estabelecidos por Fanger (1970). De acordo com o autor, “as pessoas insatisfeitas votam -2 (frio), -3 (muito frio), +2 (quente) e +3 (muito quente)” (FANGER, 1970, p.130). Dessa forma, foram considerados confortáveis termicamente os usuários que votaram +1 (levemente quente), 0 (neutro) ou -1 (levemente frio).

Ao final das medições realizadas em campo, os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas para análise de dados posterior.

Foram entrevistados 38 usuários no dia 22/10/2018, de 09h:30 às 18h:30 (considerando o horário local, sem horário de verão), conforme ilustra a Figura 18. Os questionários foram aplicados para, no máximo, dois indivíduos por vez, devido à limitação da área do ambiente. Dessa forma, a ocupação máxima do quarto durante as entrevistas foi de três indivíduos (pesquisadora + participantes de pesquisa).



Figura 18: Aplicação dos questionários
Fonte: Autora, 2018

3.4.4 Avaliação de acordo com o modelo estático

Em relação ao modelo estático, para realizar o cálculo dos índices PMV e PPD, foi utilizada a calculadora online *CBE Thermal Comfort Tool* (HOYT et al., 2017). A ferramenta foi baseada nas equações apresentadas pelo anexo normativo D da ISO 7730 (2005).

Os dados de entrada utilizados na calculadora são: temperatura radiante média, temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade relativa do ar, taxa metabólica e isolamento das vestimentas.

Para a determinação da taxa metabólica e do isolamento das vestimentas, foram utilizados valores tabelados nos anexos B e C da ISO 7730 (2005), respectivamente. A taxa metabólica variou de 1,0 a 1,6 MET e o isolamento das vestimentas variou de 0,3 a 0,7 clo. Tais variáveis foram coletadas por meio do questionário preenchido pelos participantes de pesquisa.

A temperatura radiante média foi obtida por meio da Equação 1.

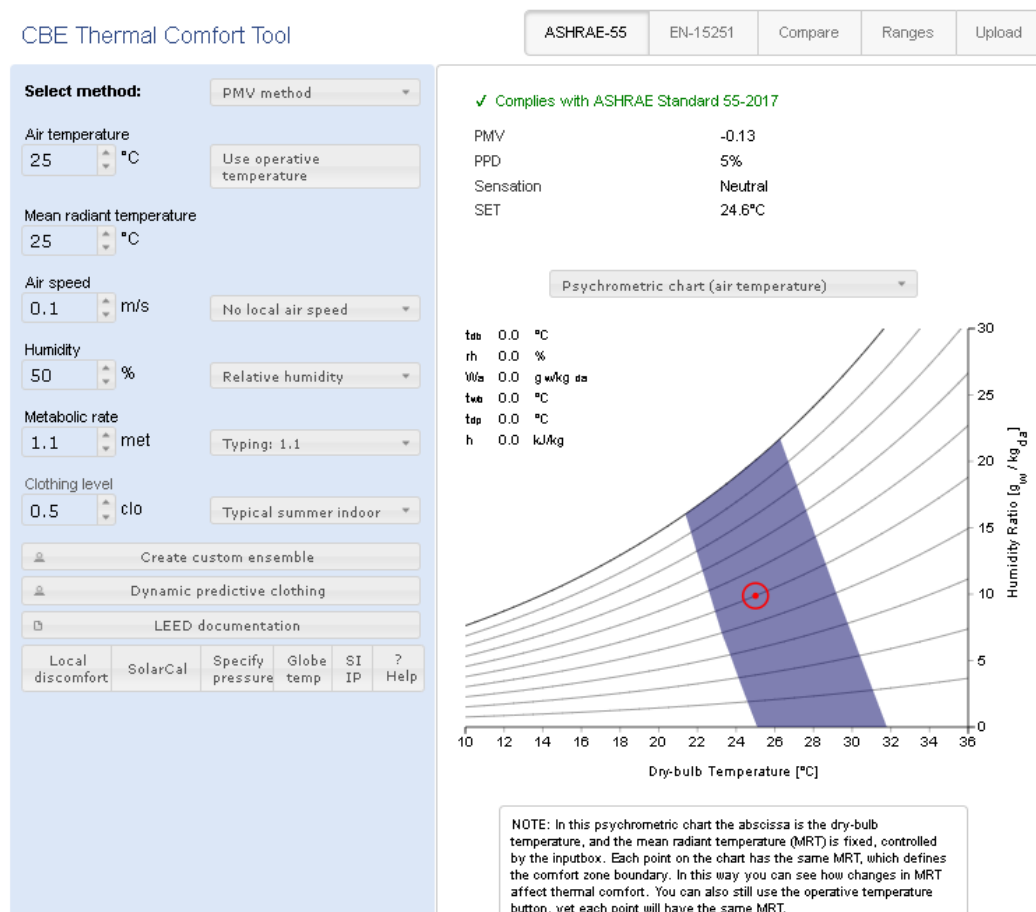


Figura 19: Calculadora online utilizada para a obtenção dos índices PMV e PPD

Fonte: HOYT et al., 2017

3.4.5 Avaliação de acordo com o modelo adaptativo

A avaliação do conforto térmico conforme o modelo adaptativo seguiu as recomendações da ASHRAE 55 (2010) para edificações ventiladas naturalmente.

Para a obtenção da temperatura operativa, é necessário calcular a temperatura radiante média. O cálculo levou em consideração um ambiente de convecção natural, conforma apresentado na Equação 1.

O índice adaptativo utilizado nesta pesquisa, desenvolvido por De Dear e Brager (2002) e proposto na ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010), foi a temperatura neutra, obtida por meio da Equação 6:

$$T_n = 0,31 \times T_m + 17,8 \quad (6)$$

Em que:

T_n = temperatura de conforto ou neutra

T_m = temperatura média mensal externa

A temperatura média mensal externa, referente aos 30 dias anteriores à aplicação dos questionários, foi obtida por meio de dados extraídos da estação meteorológica mais próxima (Belo Horizonte - Pampulha - A521), disponibilizados no *site* do INMET (INMET, 2018).

Neste trabalho, os dados obtidos para a velocidade do ar durante o monitoramento não ultrapassaram o limite máximo de 0,1 m/s. Dessa forma, a temperatura operativa foi calculada por meio da média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, conforme preconiza a ASHRAE 55 (2010).

Foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados referentes à temperatura do ar externa durante o monitoramento, temperatura operativa do quarto analisado e a temperatura neutra para a definição da faixa de conforto. Dessa forma, foi possível elaborar um gráfico com esses valores e avaliar o conforto térmico dentro do limite de 80% aceitabilidade ($T_n \pm 3,5^\circ\text{C}$).

3.5 Avaliação do desempenho térmico

Com o intuito de analisar a influência da envoltória da edificação no conforto térmico e avaliar mudanças construtivas que melhorem a situação para os usuários, foi

utilizada como ferramenta de simulação computacional o *software EnergyPlus*, versão 8.7.

3.5.1 Arquivo climático

Para realizar as simulações, foi utilizado como base o arquivo climático para Belo Horizonte em formato TMY (*Typical Meteorological Year*), considerando o período de 2003 a 2017. O arquivo climático foi obtido no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2018).

O método para a elaboração do arquivo climático TMY consiste em, para cada estação e cada mês, eliminar sucessivamente os anos mais quentes e mais frios, até que permaneça apenas um, considerado como o mês típico do lugar. O arquivo TMY será composto pelos 12 meses selecionados, podendo ser estes meses de anos distintos (RORIZ, 2012).

O arquivo utilizado neste trabalho foi atualizado em 2018 em relação ao cálculo da nebulosidade, pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações em conjunto com Dru Crawley e Linda Lawrie (LabEEE, 2018).

Complementarmente, o arquivo climático original foi alterado pela autora. Ao aplicar o método relativo à obtenção do arquivo TMY com a inclusão do ano 2018 (até outubro), houve alteração referente ao mês de setembro. O ano referente ao mês de setembro do arquivo climático foi alterado de 2013 para 2018, por meio da utilização de dados obtidos no site do INMET (BRASIL, 2018c).

3.5.2 Elaboração do modelo computacional

O modelo computacional do estudo de caso foi produzido na interface gráfica do *SketchUp Pro 2016* por meio do *plugin Euclid 0.9.3*. Este modelo foi, então, exportado em formato idf. para o *software EnergyPlus*, versão 8.7.

Para a elaboração do modelo foi escolhido o Bloco I da moradia estudantil, que é composto por 5 pavimentos e possui pé-direito de 2,60 m. A geometria da edificação foi elaborada no *SketchUp*, a partir de dados obtidos em projetos. Após consulta ao memorial descritivo do projeto com a especificação dos materiais, utilizou-se as informações contidas na NBR-15.220-2 para definição das propriedades térmicas dos materiais utilizados na envoltória (ABNT, 2005a).

Para avaliar o desempenho térmico da envoltória, foram selecionados 7 quartos representativos da moradia universitária, distintos em relação à orientação de suas aberturas e à localização em relação aos pavimentos. Para a modelagem da edificação foram criadas zonas térmicas para cada um dos 7 quartos ilustrados na Figura 20 (Fachada principal) e na Figura 21 (Fachada posterior) e para os quartos adjacentes a estes. Para os demais ambientes da edificação, foi criada uma única zona térmica.

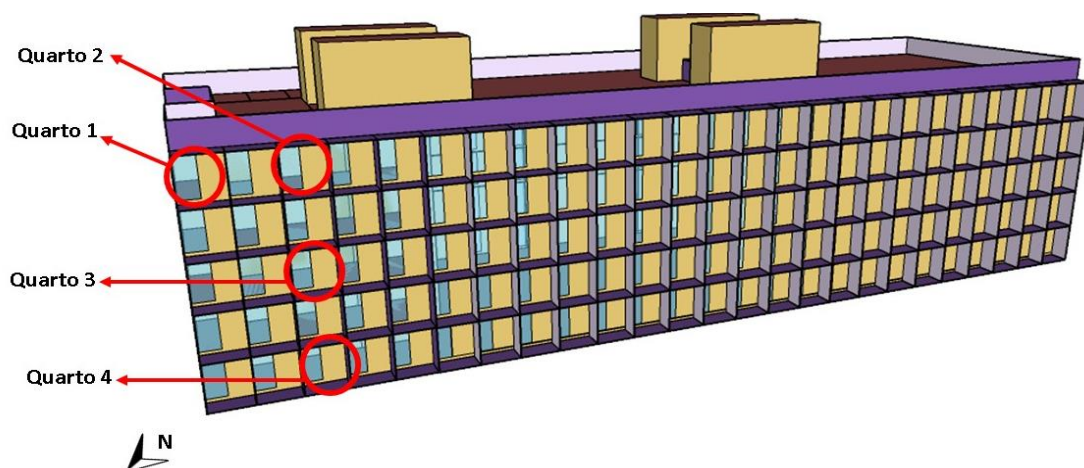


Figura 20: Modelo 3D da edificação, fachada principal. Sem escala.
Fonte: Autora, 2018

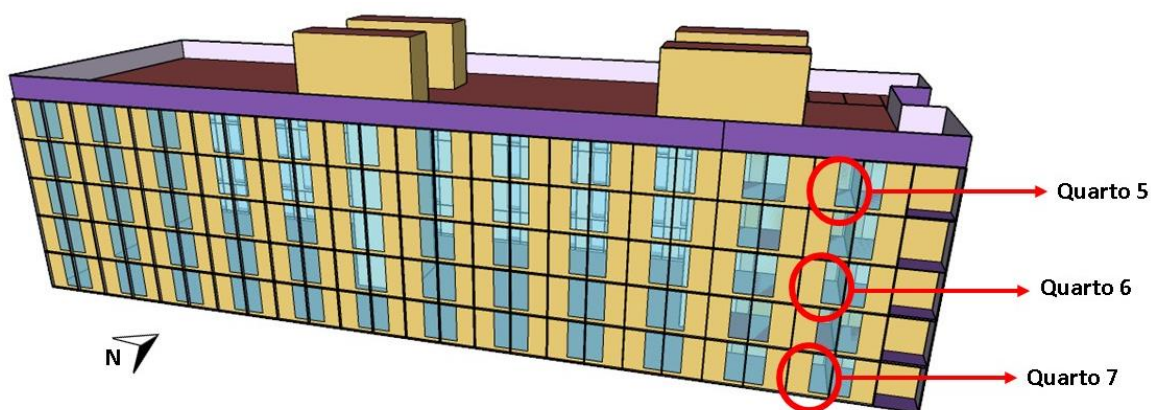


Figura 21: Modelo 3D da edificação, fachada posterior. Sem escala.
Fonte: Autora, 2018

3.5.2.1 Materiais

As propriedades térmicas adotadas para os materiais na primeira versão, anterior à calibração, foram retiradas da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Propriedades térmicas dos materiais

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/(kg.K))
Manta asfáltica	0,007	0,23	1000	1460
Poliestireno expandido	0,002	0,04	18	1420
Argamassa comum	0,025	1,15	2100	1000
Concreto	0,1	1,75	2400	1000
Poliestireno extrudado	0,025	0,027	38	1420
Madeira	0,03	0,15	600	1340
Alumínio	VAR	230	2700	880
Porcelanato	0,01	1,21	2250	766
Vidro	0,006	0,8	2500	840
Gesso liso	0,005	0,35	900	870

Fonte: ABNT, 2005a. Adaptado pela autora.

Em relação à alvenaria em blocos de concreto, foi determinada uma espessura equivalente, conforme método apresentado por Lamberts et. al (2017). A capacidade térmica total estimada para o sistema de vedação do edifício foi igualada à capacidade térmica total do modelo equivalente. Como resultado, obteve-se a espessura de 2,46cm para o concreto. Após uma simulação inicial, foi verificada uma discrepância entre a transmitância térmica calculada para a parede (2,78 W/(m².K)) e os dados de saída do programa. Os cálculos para a transmitância térmica foram efetuados conforme procedimentos apresentados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005a). Assim, optou-se por aumentar o valor da resistência térmica da câmara de ar de 0,17 para 0,30 m².K/W, de modo a igualar o valor da transmitância simulada e calculada para as paredes. Cumpre destacar que os valores apresentados para a resistência do ar servem como um referencial genérico, podendo apresentar significativas diferenças em campo.

A absorvância solar das superfícies referentes à envoltória foi obtida mediante ensaio descrito no Apêndice D.

3.5.2.2 Determinação da temperatura do solo

Para definir a temperatura do solo no *EnergyPlus*, podem ser utilizados dois métodos: mediante a inserção das temperaturas médias mensais do solo diretamente no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*; ou mediante a utilização do objeto *Detailed Ground Heat Transfer*, que permite obter resultados mais exatos (MAZZAFERRO et al., 2013). O último método citado, foi o escolhido

para ser adotado nesta pesquisa. Dessa forma, os dados referentes às temperaturas do solo da cidade em que o estudo de caso está inserido foram obtidos por meio do arquivo climático, considerando os valores para as temperaturas mensais do solo a uma altura de 0,5m de profundidade, no objeto *Site:GroundTemperature:Shallow*. A determinação da temperatura do solo foi realizada de acordo com o material disponibilizado pelo LabEEE (MAZZAFERRO; MELO; LAMBERTS, 2013).

3.5.2.3 Ganhos internos de calor

Para obter os resultados da simulação referente às condições de conforto térmico, é necessário obter diversas características sobre os moradores da edificação. Assim, determinou-se o padrão de ocupação, o nível de atividades, o tipo de vestimenta e os ganhos internos devido à iluminação com lâmpadas e equipamentos elétricos. O padrão de ocupação e os ganhos internos foram estudados apenas para os quartos escolhidos para análise. Tais ambientes foram considerados com as mesmas cargas internas para o ano inteiro, que serão descritas a seguir.

A taxa metabólica é estabelecida conforme o tipo de atividade desenvolvida pelo usuário em um determinado ambiente. Para a atividade nos quartos, o valor sugerido por Sorgato et al. (2012), e adotado na simulação para a taxa de metabolismo, foi de 81 W/pessoa.

A densidade de potência de iluminação artificial nos quartos foi de 3,12 W/m², conforme dados obtidos no projeto elétrico da edificação (PROJEX, 2014). Em relação ao isolamento térmico do vestuário, foram adotados valores estabelecidos na norma ISO 7730 (2005), de acordo com as estações do ano: no inverno 1,0 clo, na primavera e outono 0,5 clo e no verão 0,3 clo.

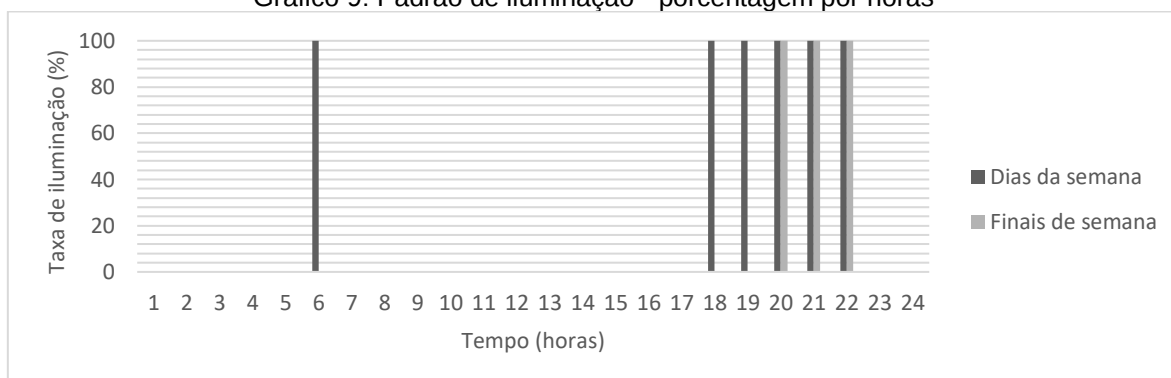
Os *schedules* para iluminação e ocupação foram configurados separadamente para os dias de semana e para os fins de semana, conforme os Gráficos 8 e 9.

Gráfico 8: Padrão de ocupação - porcentagem por horas



Fonte: Autora, 2018

Gráfico 9: Padrão de iluminação - porcentagem por horas



Fonte: Autora, 2018

3.5.2.4 Ventilação

A ventilação foi inserida no modelo computacional por meio do objeto *AirflowNetwork*, conforme apresentado por Pereira et al. (2013). Neste objeto são definidos os dados referentes às trocas de ar e ao controle de ventilação. O controle de ventilação foi definido pelo parâmetro *Temperature*. A temperatura de *setpoint* adotada foi de 21,07°C, referente à média do limite inferior de temperaturas de neutralidade mensais para Belo Horizonte, conforme apresentado no Apêndice G. Dessa forma, quando a temperatura no ambiente é inferior à temperatura de *setpoint*, ou quando a temperatura no ambiente é superior à temperatura externa, as aberturas se fecham. Caso contrário, as aberturas se abrem.

3.5.3 Calibração do modelo computacional

O processo de calibração do modelo computacional consistiu em 4 fases:

1ª Fase: Elaboração de um modelo computacional representativo da moradia universitária a ser analisada;

2ª Fase: Monitoramento da temperatura do ar em um quarto da edificação em duas etapas: com a porta e janela fechadas e com a porta e janela abertas;

3ª Fase: Comparação entre os dados medidos e simulados para a temperatura interna do ar em um dos quartos;

4ª Fase: Alteração iterativa nos dados de entrada do *EnergyPlus* de modo a obter um modelo computacional representativo do comportamento térmico da edificação real.

Foi efetuado o monitoramento da temperatura de bulbo seco durante duas semanas. Na primeira semana, o ambiente analisado permaneceu com a porta e janela fechadas e a ventilação ocorreu apenas por meio das frestas. Na segunda semana de monitoramento, a porta e janela permaneceram abertas.

A Figura 22 apresenta o quarto utilizado para a calibração do modelo e a instalação do equipamento no ambiente.



Figura 22: a) Fachada principal com o quarto monitorado em destaque; b) monitoramento do quarto para fins de calibração do modelo computacional
Fonte: Autora, 2018

Para a coleta da temperatura de bulbo seco, foi utilizado um medidor de stress térmico com *data logger*, modelo TGD-300 da Instrutherm. O equipamento possui precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, escala de $- 5^{\circ}\text{C}$ a 60°C e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. O equipamento utilizado foi calibrado por um laboratório acreditado pela Rede Brasileira de Calibração RBC/INMETRO, previamente ao monitoramento do quarto. De acordo com Ruiz et al. (2016), sensores de temperatura apresentam no seu funcionamento uma certa tolerância no decurso da medição. Assim, tais erros devem ser levados em consideração devido à sua influência no processo de calibração.

O intervalo de medição estipulado para o equipamento foi de 1 hora.

Em relação ao posicionamento do medidor de stress térmico utilizado para medição das variáveis ambientais no ambiente, tendo em vista a homogeneidade deste espaço, considerou-se a altura de 1,10m como representativa para indivíduos em pé ou sentados, segundo fundamento apresentado na ISO 7726 (1998).

Quanto à localização do equipamento em planta, a ISO 7726 (1998) não faz nenhuma ponderação. Entretanto, a ASHRAE 55 (2010) recomenda que os equipamentos fiquem localizados em um ponto representativo em relação à dispersão dos usuários no ambiente ou localizados no centro do mesmo, com um afastamento mínimo de 1m de cada parede interna. Estudos realizados por Barbosa, Weiller e Lamberts (2007), em uma edificação com paredes de alvenaria, indicaram que a especificação da medição no centro do ambiente pode ser substituída pela medição próxima às fachadas sujeitas à menor insolação, uma vez que os dados de temperatura obtidos em ambos os casos foram semelhantes. Dessa forma, de modo a evitar insolação direta no medidor de stress térmico utilizado durante o monitoramento, o equipamento foi posicionado mais próximo à parede que não estava sujeita à insolação direta (Figura 23).

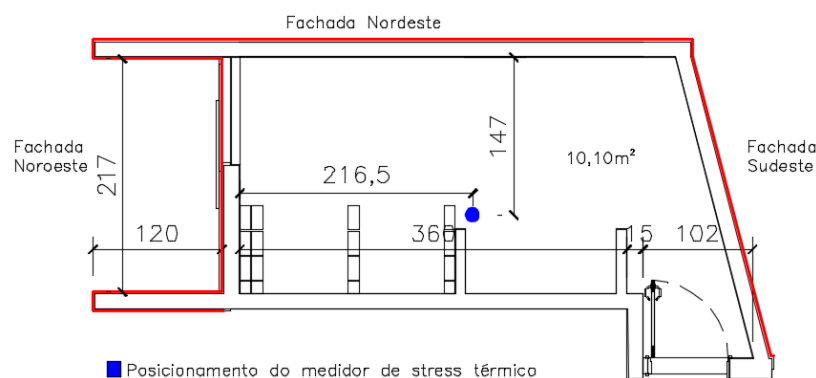


Figura 23: Localização do equipamento (medidor de stress térmico) no quarto
Fonte: DPFP, 2014b. Modificado pela autora.

Durante o processo de calibração é necessário que seja utilizado um arquivo climático específico para o período simulado, logo, a utilização de dados do ano meteorológico típico (TMY) não é recomendada. Para realizar a calibração do modelo é necessário que seja utilizado um arquivo climático com dados coletados durante o período de medição (RUIZ et al., 2016; BARNABY; CRAWLEY, 2011). Assim, para o procedimento de calibração, foram utilizados dados obtidos por meio da estação meteorológica mais próxima da edificação, em período predeterminado.

O arquivo climático de referência foi editado de acordo com a descrição dos arquivos EPW fornecida por Roriz (2012b). Os dados do arquivo foram inseridos em uma planilha eletrônica e as seguintes informações foram editadas: temperatura de bulbo seco (°C), umidade relativa (%), ponto de orvalho (°C), velocidade do ar (m/s), radiação (Wh/m²) e precipitação (mm). Após edição na planilha eletrônica, as informações foram exportadas para um bloco de notas e salvas no formato EPW para posterior embasamento das simulações computacionais.

Para comparar os dados obtidos na simulação com os dados medidos na edificação real foi requerido, como dados de saída no *EnergyPlus*, os valores para a temperatura média do ar no interior da zona térmica analisada.

O desempenho dos processos iterativos de calibração foi avaliado mediante os seguintes métodos estatísticos:

Erro absoluto médio (“*Mean bias error*”, MBE): o MBE é um indicador que verifica a diferença entre valores medidos e simulados. Entretanto, há um cancelamento de termos, uma vez que os positivos compensam os negativos. Assim, é necessário uma avaliação adicional do erro por meio de outro modelo estatístico (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). O MBE pode ser obtido por meio da seguinte Equação 7:

$$MBE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i)} \quad (7)$$

em que m_i corresponde aos dados medidos, s_i aos dados simulados e N_p é o número de dados no intervalo p .

Coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio (“*Coefficient of Variation of Root Mean Square Error*”, CV RMSE): esse índice permite determinar quão bem o modelo se aproxima dos dados medidos, por meio da avaliação do *offsetting* erros entre os dados medidos e simulados. Esse coeficiente não é afetado pelo cancelamento de termos da equação (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). O CV RMSE pode ser calculado por intermédio da Equação 8:

$$CV \text{ RMSE } (\%) = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)^2 / N_p)}}{\bar{m}} \quad (8)$$

onde m_i corresponde aos dados medidos, s_i aos dados simulados, N_p é o número de dados no intervalo p e $\bar{m}$ é a média dos dados medidos.

Coeficiente de Correlação Linear de Pearson: avalia o grau de correlação entre dois parâmetros quantitativos. Quanto mais próximo de 1, maior a correlação.

Além dos métodos estatísticos citados, também foram realizadas as seguintes análises para cada processo iterativo: análise gráfica (temperatura de bulbo seco x tempo) dos dados medidos e simulados; e avaliação da diferença mínima, máxima e média entre as temperaturas do ar medidas e simuladas.

Um modelo pode ser considerado calibrado se houver uma concordância admissível entre os dados medidos e simulados, de acordo com os critérios de aceitação. Entretanto, diversas versões do modelo de uma mesma edificação podem atender a esse critério e, então, ser consideradas calibradas (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014). Dessa forma, o analista define quando um determinado modelo é considerado calibrado, de acordo com os objetivos da simulação computacional, análises gráficas e estatísticas.

Assim, como no estudo de calibração realizado por Lamberts et al. (2010), para cada um dos dois períodos de monitoramento do estudo de caso (com ventilação e sem ventilação), foram escolhidos três dias consecutivos para análise. A escolha se baseou em uma sequência de dias de comportamento semelhante, em que o comportamento térmico do quarto se manteve estável propiciando o regime permanente de temperatura.

Para realizar a calibração do modelo computacional, primeiramente foi efetuada uma simulação inicial. Então, foram verificadas possíveis fontes de erros e discrepâncias. Após a verificação e correção, procedeu-se a calibração.

O método de calibração adotado neste estudo foi o manual. Assim os parâmetros foram alterados de maneira iterativa, de modo a aumentar a correspondência entre as temperaturas medidas e simuladas. Os parâmetros alterados foram referentes às propriedades dos materiais, infiltração e ventilação.

Para a análise dos dados a cada processo iterativo, foi elaborada uma planilha eletrônica que abrangeu os dados medidos em campo (considerando três dias consecutivos), os dados simulados, gráficos e índices estatísticos.

Foi mantido o histórico de todas as simulações realizadas durante a calibração. De acordo com Raftery, Keane e O'Donnell (2011), esse processo permite que a calibração possa ser reproduzida por terceiros, facilita a revisão entre versões e permite que o analista retorne rapidamente para versões anteriores caso algum erro ocorra.

As informações utilizadas para a elaboração do arquivo climático foram extraídas da Estação Meteorológica da Pampulha por meio do site do INMET (2018). A estação está situada a menos de 3km de distância da edificação. Para a elaboração dos novos arquivos climáticos, específicos para cada semana de monitoramento, foi utilizado como base o arquivo climático fornecido por Roriz (2012a). O arquivo foi elaborado pelo autor a partir de dados horários, registrados em estações climatológicas do INMET, no período de 2000 a 2010. Os arquivos elaborados por Roriz (2012a) estão disponíveis para *download* no site no Laboratório de Eficiência Energética (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3.5.4 Alternativas de simulação

Após a elaboração do modelo computacional representativo e a simulação utilizando parâmetros referentes à edificação real, foram propostas alternativas para a simulação. Optou-se por elaborar alternativas de simulação baseadas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b).

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), Belo Horizonte está inserida na zona bioclimática 3 e, de acordo com o Anexo A da norma, as estratégias bioclimáticas recomendadas são BCFI (Tabela 8).

Tabela 8: Estratégias recomendadas para Belo Horizonte

Estratégia	Detalhamento
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

Estratégia	Detalhamento
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: ABNT, 2005b. Adaptado pela autora.

3.5.5 Análise do desempenho térmico da edificação

A análise do desempenho térmico da moradia universitária foi realizada mediante o somatório de graus-hora para resfriamento e aquecimento da edificação. O somatório de graus-hora determina a quantidade de graus excedentes das temperaturas no interior da edificação em relação a uma temperatura limite máxima adotada como referência no verão (graus-hora para resfriamento), ou quantos graus “faltaram” para que as temperaturas internas atingissem a temperatura limite mínima estipulada para o inverno (graus-hora para aquecimento (LAMBERTS et al., 2010).

As temperaturas limites foram calculadas baseadas na temperatura neutra para Belo Horizonte, considerando as normais climatológicas (1981-2010). As temperaturas limite inferior e superior mensais adotadas para a análise do somatório de graus-hora para resfriamento e aquecimento da edificação podem ser consultadas no Apêndice G.

Diferentemente de outros estudos (BATISTA; LAMBERTS; GÜTHS, 2011; LAMBERTS et al., 2010), neste trabalho optou-se por adotar temperaturas limites variáveis ao longo do ano ao realizar os cálculos de graus-hora por resfriamento e aquecimento. De acordo com Wang et al. (2014), a temperatura neutra varia ao longo do ano, o que demonstra a influência das condições climáticas na adaptação dos indivíduos. Nesse contexto, é importante realizar uma análise em que as temperaturas neutras são variáveis, de modo a obter resultados mais precisos.

4 RESULTADOS

A análise dos resultados foi dividida em duas partes: Conforto Térmico e Desempenho Térmico.

No capítulo Conforto Térmico, foram analisados os dados referentes ao estudo de campo, que incluem os resultados das entrevistas e a aplicação dos modelos adaptativos e estático de conforto térmico. Tais resultados abrangem medições em campo realizadas no dia 22/10/2018, envolvendo 38 participantes de pesquisa.

No capítulo Desempenho Térmico, foram analisados os resultados das simulações. Foi avaliado o desempenho térmico da edificação e possíveis alterações na envoltória. Essa parte engloba, ainda, a análise de índices de conforto gerado pelos modelos computacionais.

4.1 Conforto térmico

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante a avaliação do conforto térmico para os usuários da moradia universitária.

4.1.1 Variáveis ambientais

Durante a realização do estudo em campo, foram medidas todas as variáveis referentes ao ambiente interno (temperatura de bulbo seco interna do ar - T_{ar} , velocidade do ar - V_{ar} , umidade relativa do ar - UR e temperatura de globo - T_g) e foram obtidos, mediante cálculos, os valores para a temperatura radiante média (T_{rm}) e para a temperatura operativa (T_o). Também foi obtida a temperatura de bulbo seco do ar externa. A velocidade do ar não ultrapassou o valor de 0,2 m/s sendo que, na maior parte do tempo, o anemômetro não registrou valores para a velocidade do ar ($<0,1$ m/s), mesmo com a presença de ventilação natural cruzada durante todo o monitoramento (porta e janela abertas).

O Apêndice E apresenta os dados coletados referentes às variáveis ambientais durante a aplicação dos questionários, em 22/10/2018.

A Tabela 9 sumariza os dados coletados, apresentando os valores mínimos, máximos, médios e o desvio padrão, para algumas variáveis.

Tabela 9: Variabilidade das condições ambientais internas e externas

	Dados internos					Dados externos
	$T_{ar, int} (^{\circ}C)$	UR (%)	$T_g (^{\circ}C)$	$T_{rm} (^{\circ}C)$	$T_{op} (^{\circ}C)$	$T_{ar, ext} (^{\circ}C)$
Mínimo	22,40	60,60	22,60	22,58	22,59	22,68
Média	24,92	69,40	25,16	25,23	25,08	28,95
Mediana	25,20	67,50	25,30	25,40	25,33	28,44
Máximo	27,40	84,00	27,70	28,21	27,30	33,24
Amplitude	5,00	23,40	5,10	5,63	4,71	10,55
Desvio padrão	1,23	6,18	1,42	1,50	1,35	2,91

Fonte: Autora, 2018

Em relação às variáveis ambientais coletadas por meio do termo-higrômetro envolto pela barreira radiante de garrafa PET, os dados não foram utilizados nesta pesquisa. Isso se deve ao fato de que o equipamento foi instalado para medir as variáveis mediante a incidência solar direta no quarto analisado, que não ocorreu durante a aplicação dos questionários.

O Gráfico 10 apresenta os valores obtidos para a temperatura interna e para a temperatura externa durante o monitoramento.

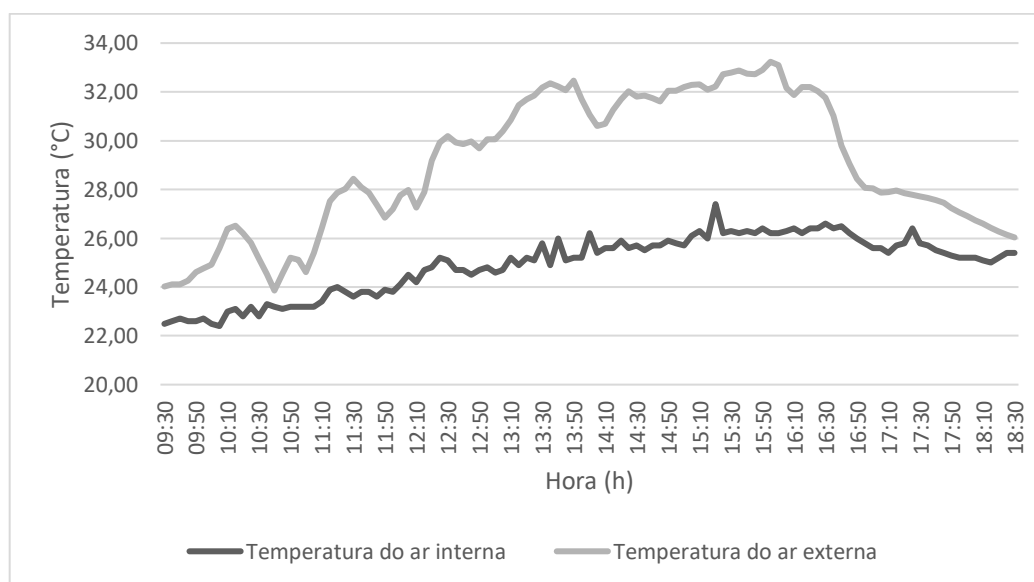


Gráfico 10: Variação das temperaturas do ar internas e externas durante a realização das entrevistas

Fonte: Autora, 2018

4.1.2 Variáveis pessoais

O Apêndice F apresenta as variáveis pessoais obtidas mediante a aplicação dos questionários. Todos os entrevistados residem em Belo Horizonte por mais de seis meses, a maioria possui naturalidade em Minas Gerais e possuem faixa etária entre

19 e 29 anos. Foram entrevistados 12 indivíduos do sexo masculino e 26 indivíduos do sexo feminino.

A Tabela 10 resume a variabilidade obtida para as variáveis pessoais referentes aos participantes de pesquisa.

Tabela 10: Descrição estatística das variáveis pessoais obtidas nas entrevistas

	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Vestimenta (clo)	Metabolismo (met)
Mínimo	19	160	49	0,30	1,00
Média	22,61	169,95	67,84	0,50	1,06
Mediana	21	168	63	0,5	1
Máximo	29	189	113	0,70	1,60
Amplitude	22,61	169,95	67,84	0,50	1,06
Desvio padrão	2,63	6,80	15,54	0,08	0,15

Fonte: Autora, 2018

4.1.3 Modelo adaptativo

Para a aplicação do modelo adaptativo, obteve-se a temperatura média predominante do ar externo e, por meio desta, foi possível obter a temperatura neutra e os limites inferior e superior para 80% de aceitabilidade (Tabela 11).

Tabela 11: Temperatura neutra e limites de aceitabilidade - estudo de campo

Temperatura neutra	25,22°C
Variação aceitável para 80% das pessoas (limite inferior)	21,72°C
Variação aceitável para 80% das pessoas (limite superior)	28,72°C

Fonte: Autora, 2018

Para o modelo adaptativo de conforto térmico, a temperatura operativa manteve-se dentro do limite de 80% de aceitabilidade durante todo o monitoramento (Gráfico 11).

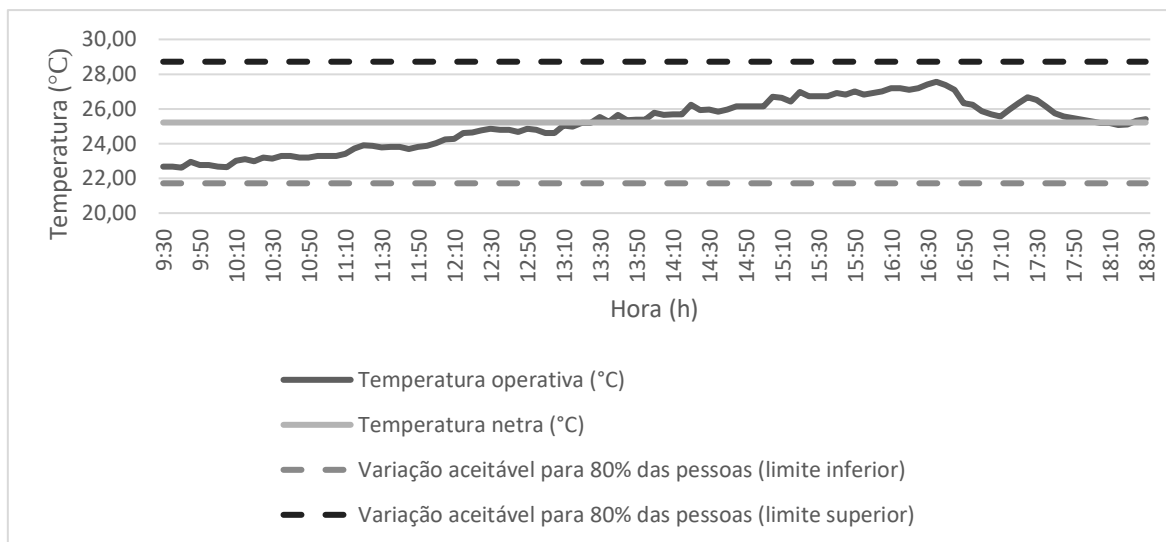


Gráfico 11: Valores para a temperatura operativa e os limites para a temperatura neutra
Fonte: Autora, 2018

4.1.4 Modelo estático

Os índices PMV e PPD foram obtidos para cada um dos entrevistados, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados obtidos para os índices PMV e PPD

Usuário	Horário	T_{ar} (°C)	T_{rm} (°C)	V_{ar} (m/s)	U (%)	Taxa metabólica (met)	Isolamento do vestuário (clo)	PMV	PPD
1	09:30	22,70	22,75	<0,1	84,00	1,0	0,7	-0,48	10%
2	09:42	22,40	22,58	<0,1	82,00	1,0	0,7	-0,48	10%
3	09:37	22,50	22,72	<0,1	82,40	1,6	0,5	0,31	7%
4	10:05	22,80	22,79	<0,1	81,50	1,0	0,5	-1,07	29%
5	10:20	23,10	23,05	<0,1	79,10	1,0	0,5	-0,95	24%
6	10:40	23,20	23,32	<0,1	78,00	1,0	0,6	-0,54	11%
7	11:15	23,80	23,65	<0,1	75,20	1,0	0,4	-0,92	23%
8	11:35	24,10	23,80	<0,1	76,60	1,0	0,4	-0,91	22%
9	12:00	25,20	23,98	<0,1	74,90	1,0	0,5	-0,53	11%
10	12:03	25,10	24,12	<0,1	73,40	1,0	0,5	-0,42	9%
11	12:03	25,10	24,12	<0,1	73,40	1,0	0,5	-0,42	9%
12	12:07	25,10	24,12	<0,1	73,40	1,0	0,5	-0,42	9%
13	12:08	24,70	24,32	<0,1	70,30	1,0	0,5	-0,48	10%
14	13:00	25,10	24,60	0,1	66,60	1,0	0,5	-0,41	9%
15	13:30	25,20	25,42	<0,1	61,30	1,0	0,5	-0,01	5%
16	14:15	25,70	25,72	<0,1	64,60	1,0	0,6	0,24	6%
17	14:45	26,30	26,36	<0,1	63,70	1,0	0,5	0,15	5%
18	14:50	26,00	26,28	<0,1	62,20	1,0	0,5	0,16	6%
19	15:00	26,20	26,36	0,1	63,00	1,4	0,5	0,75	17%
20	15:00	26,20	26,36	0,1	62,20	1,4	0,6	0,87	21%

Usuário	Horário	T _{ar} (°C)	T _{rm} (°C)	V _{ar} (m/s)	U (%)	Taxa metabólica (met)	Isolamento do vestuário (clo)	PMV	PPD
21	15:10	26,20	26,82	<0,1	62,40	1,0	0,5	0,35	8%
22	15:10	26,20	26,82	<0,1	62,40	1,0	0,6	0,54	11%
23	15:29	26,20	26,96	0,1	62,40	1,0	0,5	0,31	7%
24	15:35	26,20	27,00	<0,1	64,80	1,0	0,5	0,38	8%
25	15:55	26,40	27,14	<0,1	64,30	1,0	0,5	0,40	8%
26	16:05	26,60	27,38	<0,1	65,80	1,4	0,5	1,02	27%
27	16:15	26,50	27,72	<0,1	64,10	1,0	0,5	0,50	10%
28	16:30	25,80	27,82	0,1	64,60	1,0	0,4	0,36	8%
29	17:00	26,40	25,98	<0,1	69,10	1,0	0,5	0,11	5%
30	17:15	25,50	26,08	<0,1	67,00	1,0	0,4	-0,10	5%
31	17:20	25,40	26,60	<0,1	67,10	1,0	0,5	0,24	6%
32	17:30	25,20	26,88	<0,1	67,60	1,0	0,5	0,29	7%
33	17:40	25,20	25,88	<0,1	69,00	1,2	0,5	0,47	10%
34	17:50	25,00	25,55	<0,1	68,20	1,0	0,5	0,04	5%
35	17:55	25,20	25,45	<0,1	69,90	1,0	0,4	-0,31	7%
36	18:06	25,40	25,20	<0,1	69,90	1,2	0,3	0,09	5%
37	18:25	25,4	25,28	<0,1	74,90	1,2	0,3	0,00	5%
38	18:25	25,4	25,28	<0,1	74,90	1,0	0,5	0,01	5%

Fonte: Autora, 2018

A Tabela 13 apresenta a análise estatística obtida para os índices PMV e PPD.

Tabela 13: Descrição estatística dos índices PMV e PPD calculados

Parâmetros	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Amplitude	Desvio padrão
PMV	-1,07	-0,02	0,07	1,02	2,09	0,52
PPD	5%	11%	9%	29%	24%	7%

Fonte: Autora, 2018

De acordo com o método estático para a avaliação do conforto térmico, na parte da manhã o ambiente apresentou desconforto por frio e na parte da tarde o ambiente encontrava-se confortável termicamente. A Tabela 14 sumariza a média para os índices PMV e PPD obtidos para os períodos manhã e tarde.

Tabela 14: Valores médios obtidos para os índices PMV e PPD nos períodos manhã e tarde

	PMV	PPD
Manhã	-0,56	14%
Tarde	0,26	9%

Fonte: Autora, 2018

Nota-se que há uma correlação moderada entre a temperatura operativa e o índice PMV (Gráfico 12).

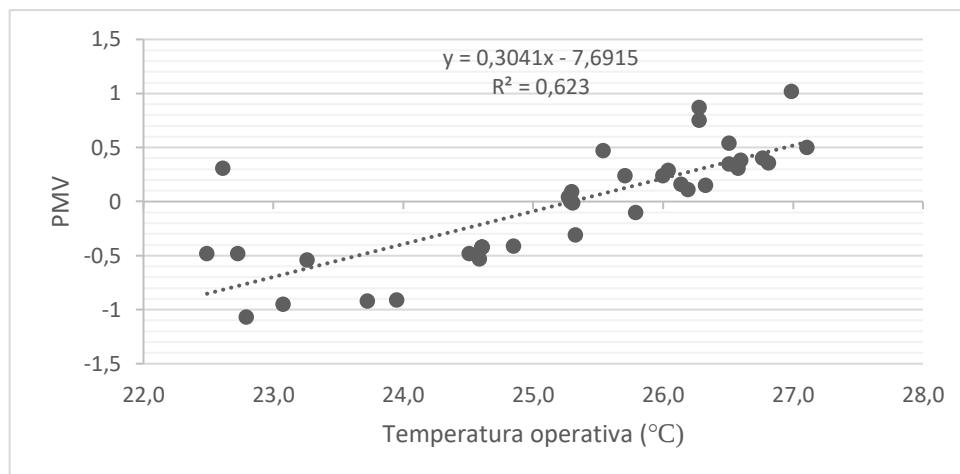


Gráfico 12: Correlação linear entre a temperatura operativa e o índice PMV
Fonte: Autora, 2018

O Gráfico 13 apresenta o histograma para o índice PMV durante o período em que foram conduzidas as entrevistas. Por meio do índice PMV, verifica-se que 86,84% dos votos calculados apontaram o intervalo dentro da faixa de conforto ($-0,5 \leq \text{PMV} \leq 0,5$) da norma ISO 7730 (2005); 3% dos votos calculados encontravam-se dentro do intervalo considerado levemente frio ($-1,5 \leq \text{PMV} < -0,5$); e 11% dos votos calculados indicaram a sensação térmica referente ao intervalo levemente quente ($1,5 \leq \text{PMV} < 0,5$).

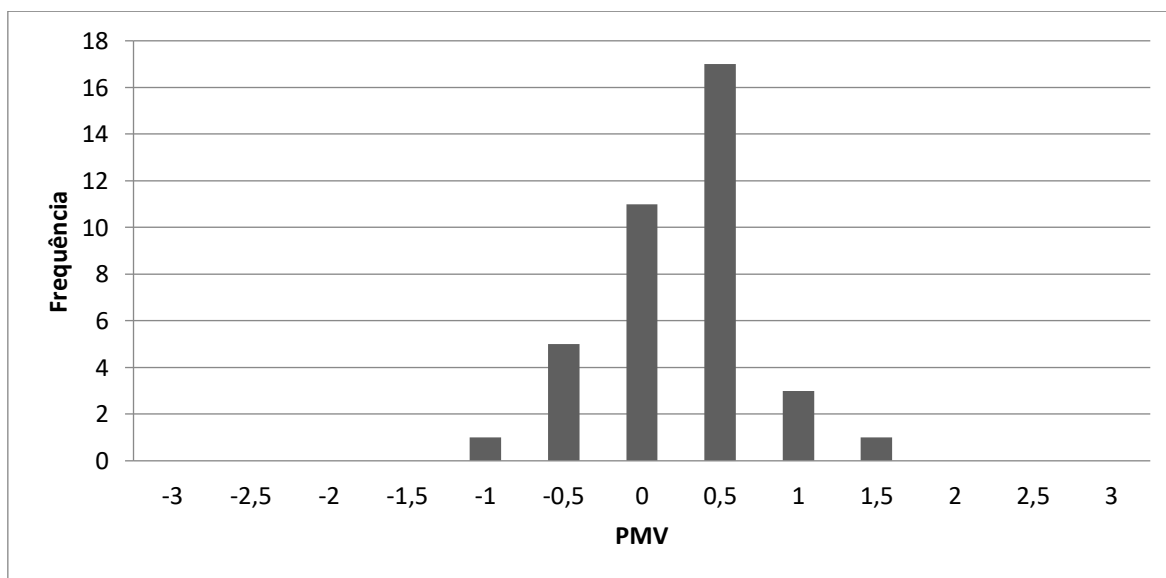


Gráfico 13: Histograma do PMV durante a realização das entrevistas (20/10/18)
Fonte: Autora, 2018

4.1.5 Respostas subjetivas referentes à percepção e ao conforto térmico

Em relação ao conforto térmico, foram considerados confortáveis os usuários que votaram +1 (com um pouco de calor), 0 (bem, nem com frio nem com calor) ou -1

(com um pouco de frio). Mediante as respostas dos 38 participantes de pesquisa, é possível verificar que a maioria se sentiu confortável durante a aplicação dos questionários.

Os Gráficos 14 a 21 sumarizam as respostas obtidas durante as entrevistas em um dos quartos da moradia universitária.

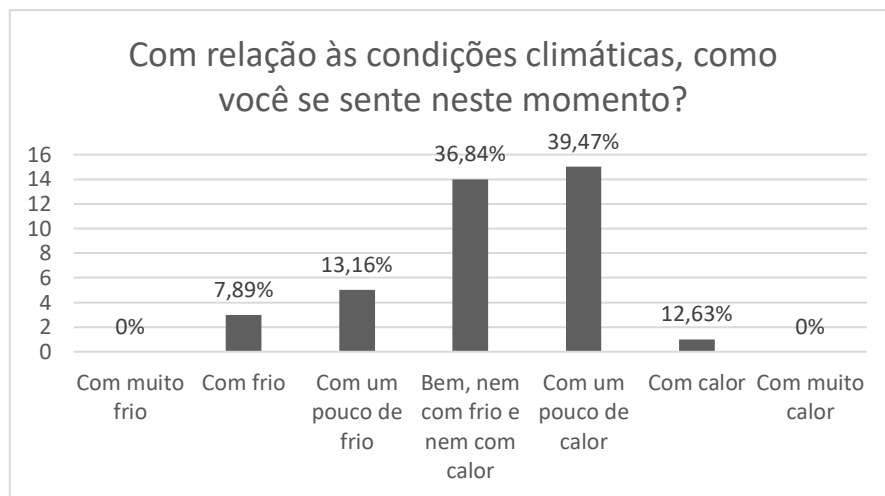


Gráfico 14: Respostas para a percepção térmica
Fonte: Autora, 2018

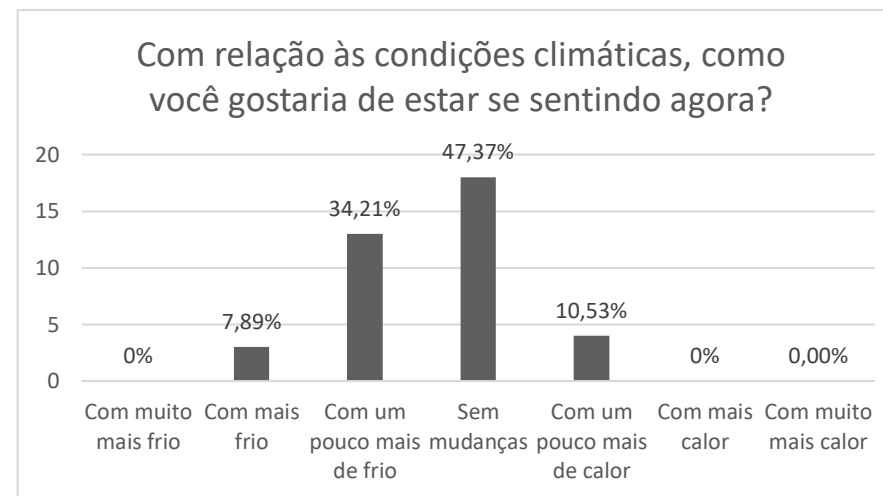


Gráfico 16: Respostas para a preferência térmica
Fonte: Autora, 2018

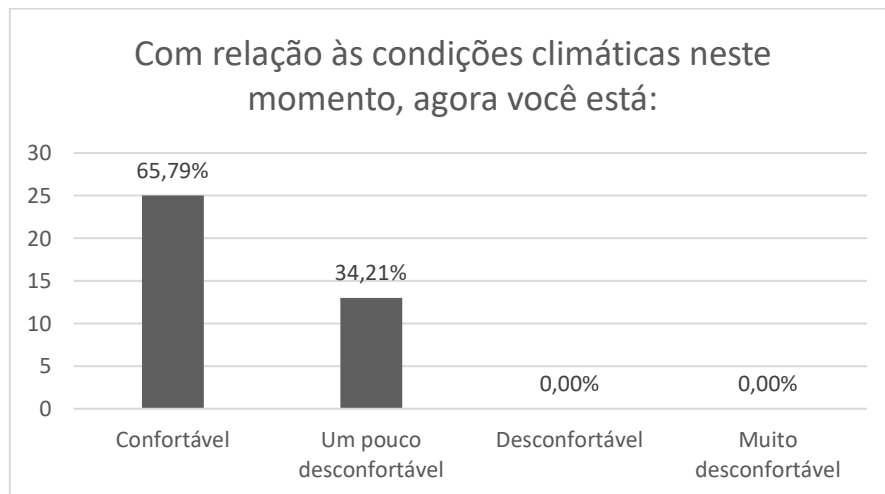


Gráfico 15: Respostas para o conforto térmico
Fonte: Autora, 2018

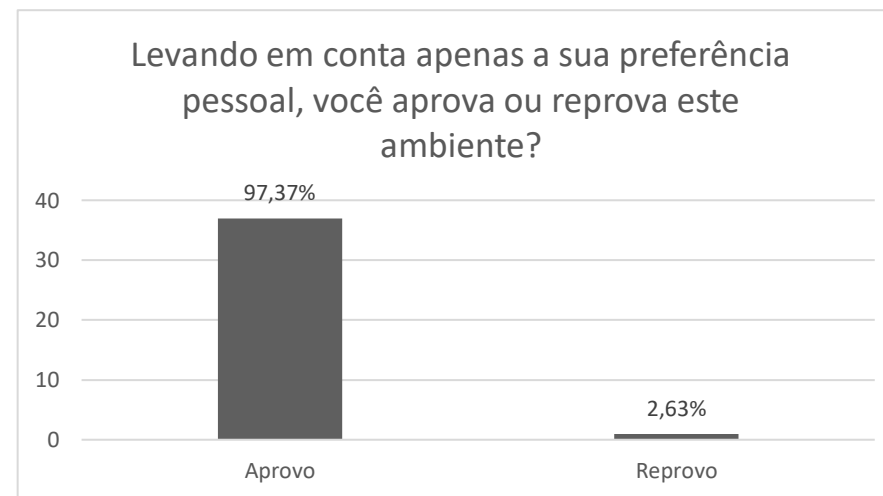


Gráfico 17: Respostas para a aprovação do ambiente térmico
Fonte: Autora, 2018

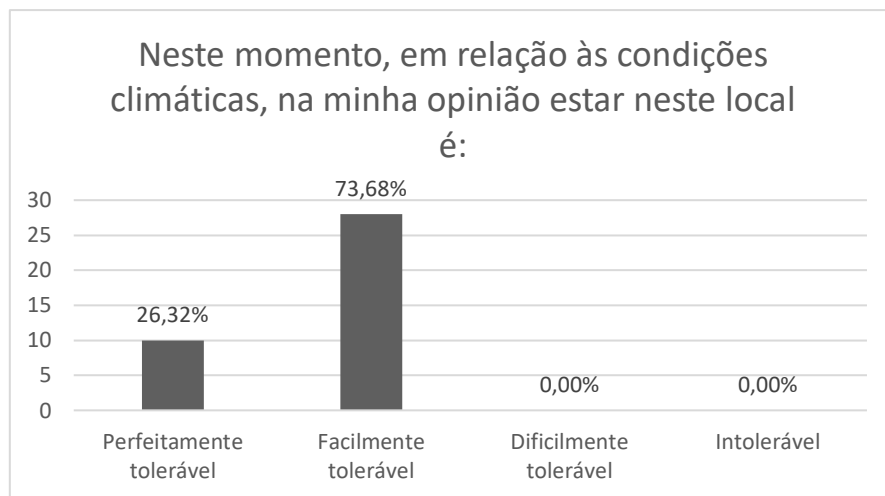


Gráfico 18: Respostas para a tolerância em permanecer no local
Fonte: Autora, 2018

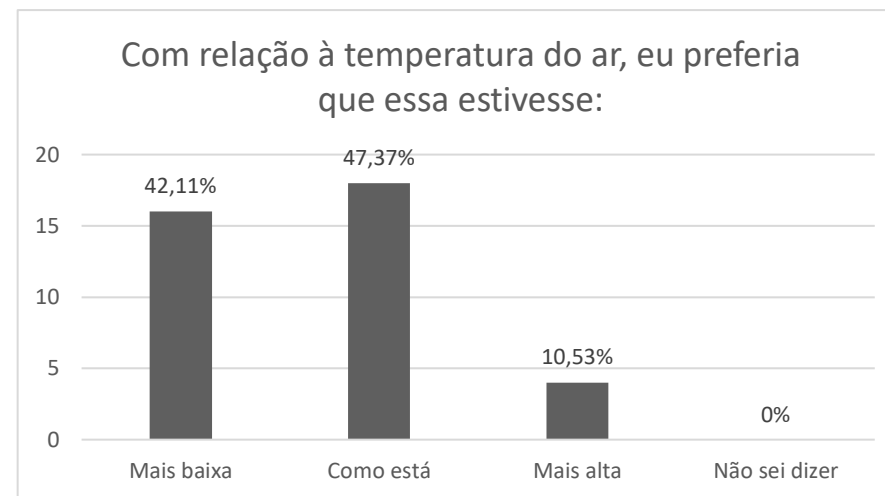


Gráfico 20: Respostas para a preferência em relação à temperatura
Fonte: Autora, 2018

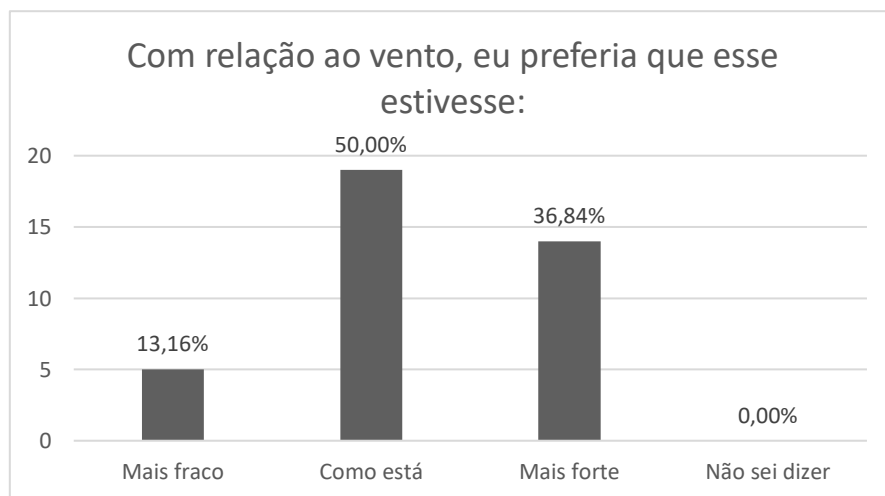


Gráfico 19: Respostas para a preferência em relação ao vento
Fonte: Autora, 2018

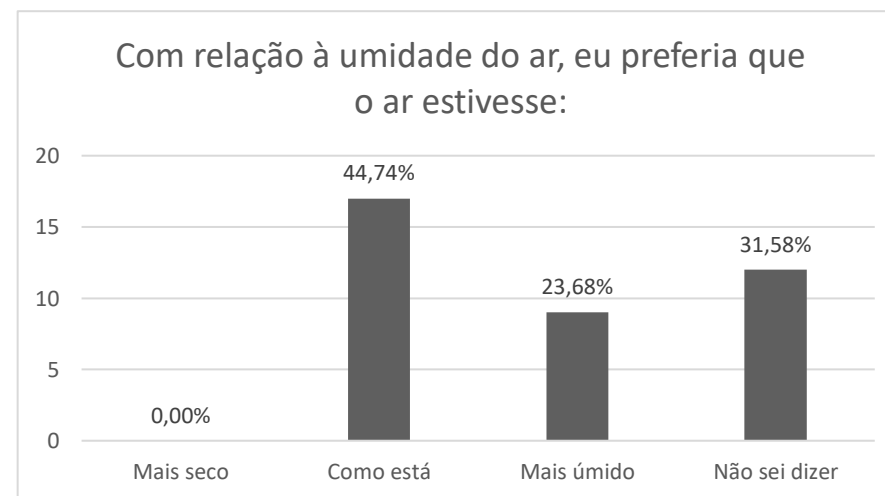


Gráfico 21: Respostas para a preferência em relação à umidade do ar
Fonte: Autora, 2018

Em relação às sensações térmicas relatadas, 65,79% dos entrevistados relataram estar se sentindo confortáveis termicamente; 97,37% aprovaram o ambiente térmico; 55,26% afirmaram, normalmente, sentir muito calor.

Quanto às variáveis ambientais, 50% dos entrevistados gostariam que a ventilação permanecesse como estava; 47,37% gostariam que a temperatura do ar fosse mantida; e 44,74% gostariam que a umidade do ar permanecesse igual.

A Tabela 15 apresenta a média dos valores obtidos para os índices AMV e APD, para os turnos manhã e tarde. Para as respostas dos usuários, considerando os três pontos centrais da escala de sensações de sete pontos, (de +1 a -1) como aqueles que propiciam aceitabilidade térmica para os usuários, 5% dos usuários encontravam-se desconfortáveis no período da manhã e 5% encontravam-se desconfortáveis no período da tarde.

Tabela 15: Índices AMV e APD obtidos durante as entrevistas

	AMV	APD
Manhã	0,15	5,00%
Tarde	0,16	5,00%

Fonte: Autora, 2018

Considerando todo o período de monitoramento (manhã e tarde), 89,47% dos usuários relataram se sentir confortáveis termicamente no quarto analisado.

O Gráfico 22 apresenta a relação entre o sexo dos entrevistados e as respostas referentes à sensação térmica. Os dados sugerem a tendência de as mulheres sentirem mais frio do que os homens no ambiente em análise. Estudos atribuíram essa tendência a diferenças como área superficial do corpo e taxa metabólica (AIR; WILEY; AIR, 2012; MAYKOT; RUPP; GHISI, 2018; RUPP; GHISI, 2017).

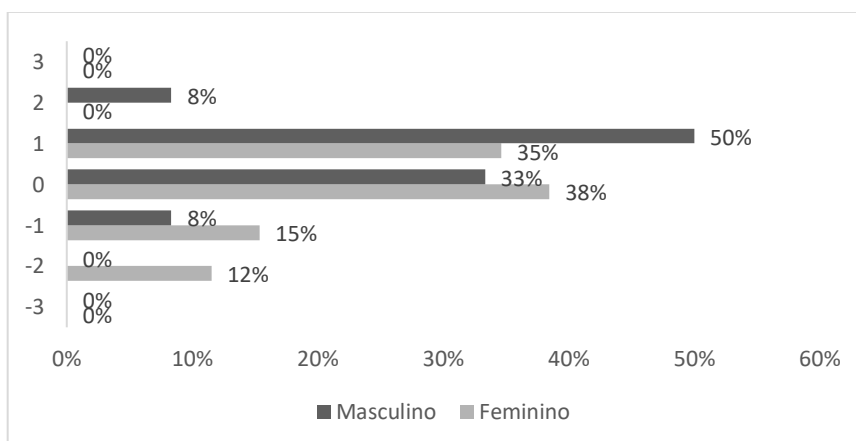


Gráfico 22: Sensação térmica relatada pelos sexos feminino e masculino
Fonte: Autora, 2018

O Gráfico 23 apresenta a relação entre a temperatura operativa no momento da entrevista e a sensação térmica relatada pelo entrevistado. Verificou-se a não linearidade entre tais variáveis, corroborando o caráter individual da sensação térmica, assim como discutido por outros autores (HUMPHREYS; NICOL, 2002; WANG et al., 2018). Em alguns casos, para a mesma temperatura operativa, é observada uma diferença significativa para a escala de sensação térmica. Outro motivo que pode explicar a correlação desprezível entre as variáveis é o fato de Belo Horizonte encontrar-se em um clima de transição. Ao longo do tempo, a temperatura operativa varia muito e a faixa de conforto tende a ser maior do que em outros lugares. Dessa forma, não é possível encontrar uma boa correlação entre a temperatura operativa e o índice AMV. Logo, os resultados sugerem que apenas a temperatura operativa não é suficiente para analisar a sensação de conforto térmico no ambiente.

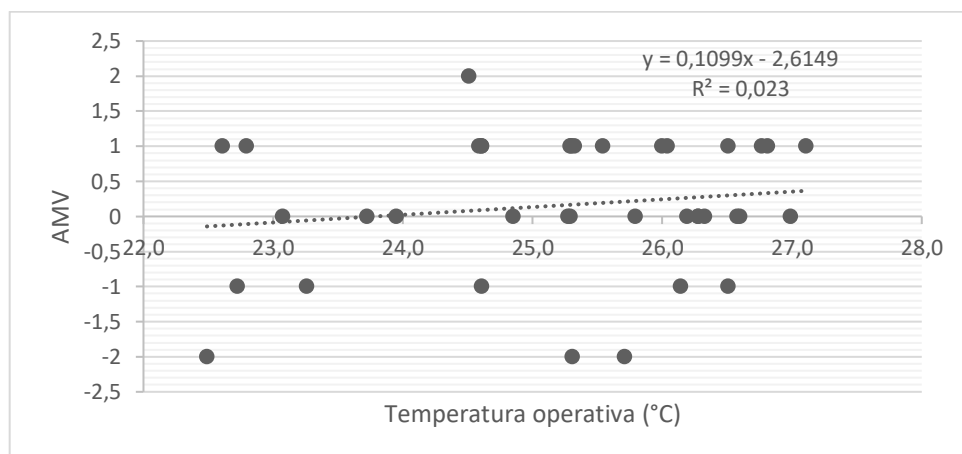


Gráfico 23: Correlação linear entre a temperatura operativa e o índice AMV
Fonte: Autora, 2018

Outro parâmetro importante de ser analisado é a temperatura neutra obtida neste estudo. A interseção entre a reta de regressão linear e o índice AMV equivalente a '0' no Gráfico 23 estabelece a temperatura neutra para a amostra de usuários deste estudo. Apesar de a correlação linear entre as variáveis ter se mostrado desprezível para esse espaço amostral, a temperatura neutra obtida foi de 23,79°C, um pouco maior do que a temperatura operativa ótima para Belo Horizonte (23,1°C) obtida nos estudos de Gonçalves (2000), demonstrando conformidade entre os resultados.

4.1.6 Comparação entre as respostas dos usuários e os resultados obtidos nos modelos de avaliação do conforto térmico

As respostas relatadas pelos participantes de pesquisa para a sensação e percepção térmica foram comparadas com os resultados obtidos para os modelos adaptativo e estático de conforto térmico. Os resultados serão discutidos a seguir.

4.1.6.1 Comparação entre a sensação térmica relatada e o modelo estático

A Tabela 16 apresenta um resumo comparativo entre os resultados obtidos para o modelo de Fanger e a sensação térmica relatada pelos usuários. De acordo com o modelo estático de conforto térmico, o ambiente analisado apresentaria desconforto por frio no período da manhã, entretanto as respostas dos usuários indicaram a situação de conforto. No período da tarde, para ambos os casos, o ambiente demonstrou-se confortável.

Tabela 16: Comparação entre os índices PMV, PPD, AMV e APD para os turnos manhã e tarde

	PMV	PPD	AMV	APD
Manhã	-0,56	14%	0,15	5%
Tarde	0,26	9%	0,16	5%

Fonte: Autora, 2018

A relação entre as médias obtidas para os índices PMV e AMV nos períodos manhã e tarde não apresentou grande diferença. Isso se deve ao fato de que, nesse caso, há um cancelamento de termos durante o cálculo da média, uma vez que os valores positivos compensam os negativos. Dessa forma, optou-se por realizar uma análise da correlação linear entre os índices PMV e AMV.

Ao comparar a correlação entre esses parâmetros, percebe-se uma diferença entre a sensação térmica relatada e a sensação prevista pelo índice PVM. A correlação linear entre o modelo estático e a resposta dos usuários demonstrou-se desprezível, com coeficiente de correlação linear de Pearson $R^2 < 0,01$ (Gráfico 24).

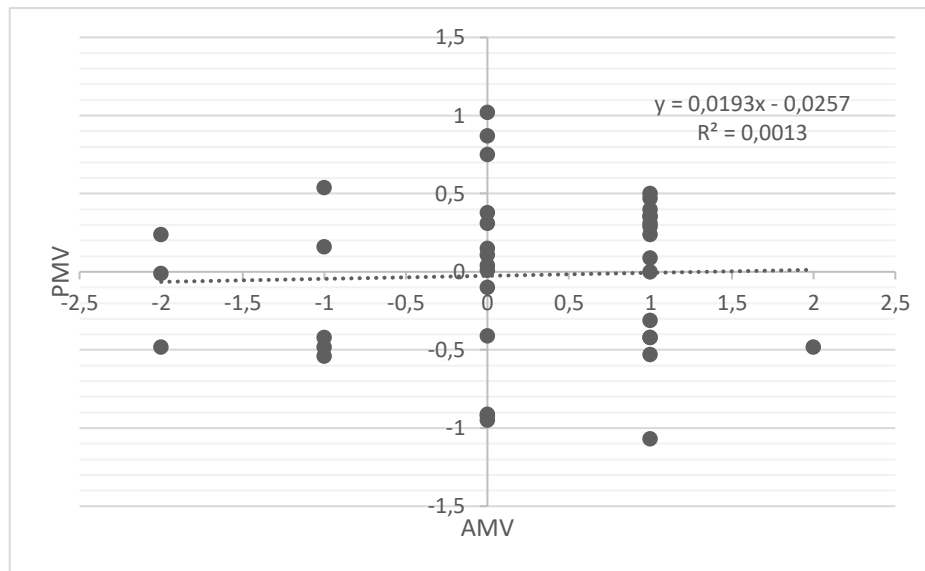


Gráfico 24: Correlação linear entre os índices AMV e PMV
Fonte: Autora, 2018

Para o estudo de caso analisado neste trabalho, o modelo estático não conseguiu prever efetivamente o conforto térmico no quarto analisado. Tal resultado reitera conclusões de estudos anteriores (HAN et al., 2007; HONG et al., 2009; NEMATCHOUA et al., 2014), que relataram diferença significativa entre os resultados do modelo proposto por Fanger e a sensação térmica dos usuários em edificações naturalmente ventiladas.

Segundo Humphreys e Nicol (2002), caso os dados e a equação utilizados para o cálculo do índice PMV fossem precisos, as discrepâncias encontradas entre o índice e a sensação térmica relatada seriam atribuídas inteiramente às diferenças individuais. Os autores atribuem o desvio padrão obtido entre o índice PMV e os votos de sensação térmica a três fatores: diferenças individuais, erros de medição e aproximações na formulação da equação (alguns fatores que contribuem para o voto de conforto não são considerados, por exemplo).

O Gráfico 25 apresenta o voto médio predito e a sensação térmica relatada para cada um dos entrevistados. Os resultados corroboram a conclusão de estudos anteriores, que atribuem a diferença entre os índices PMV e AMV ao fato de que os fatores fisiológicos e psicológicos não serem levados em conta no modelo estático de avaliação do conforto térmico (JINDAL, 2018).

O fato de o estudo de caso ser uma moradia universitária e os usuários serem provenientes de diversos estados brasileiros também é um fator determinante para a diferença entre os índices. Outros estudos que abordaram o conforto térmico em

residências estudantis concluíram que o histórico térmico dos ocupantes influencia o voto de sensação térmica. Indivíduos provenientes de climas mais quentes tendem a preferir temperaturas de conforto superiores àqueles indivíduos provenientes de climas frios (AMIN et al., 2016; HE et al., 2016).

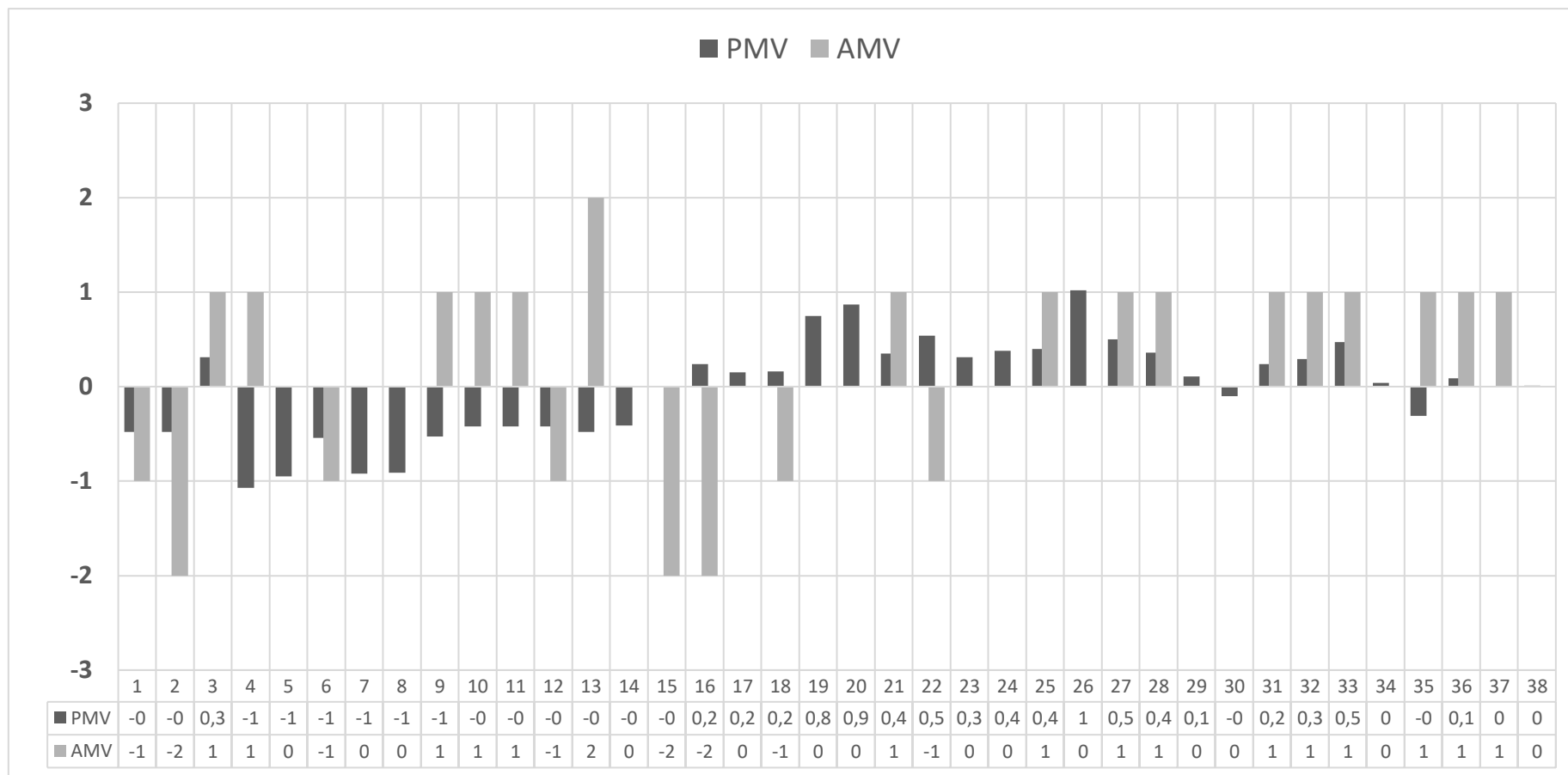


Gráfico 25: PMV x AMV
Fonte: Autora, 2018

4.1.6.2 Comparação entre a sensação térmica relatada e o modelo adaptativo

Para as respostas dos usuários, considerando os três pontos centrais da escala de sensações de sete pontos, (de +1 a -1) como aqueles que propiciam aceitabilidade térmica para os usuários, 89,47% dos relataram se sentir confortáveis.

O modelo adaptativo previu aceitabilidade térmica para os usuários (considerando o limite de 80%) durante todo o período de monitoramento, prevendo de forma satisfatória o conforto térmico experienciado pelos entrevistados.

Assim como abordado na literatura, os resultados reiteram adequabilidade do modelo adaptativo para a avaliação do conforto térmico em edificações naturalmente ventiladas (KARYONO, 2008; MEMON; CHIRARATTANANON; VANGTOOK, 2008). A efetividade do modelo é atribuída a aspectos que não são considerados no modelo estático de avaliação, como os fatores psicológicos, fisiológicos e comportamentais dos usuários.

Esperava-se encontrar neste estudo correspondência entre a sensação térmica relatada (índice AMV) e a temperatura externa, conforme estabelecido pelo modelo adaptativo e corroborado por outros estudos (KARYONO, 2008). Entretanto, conforme o Gráfico 26, para amostra pesquisada, não houve essa tendência.

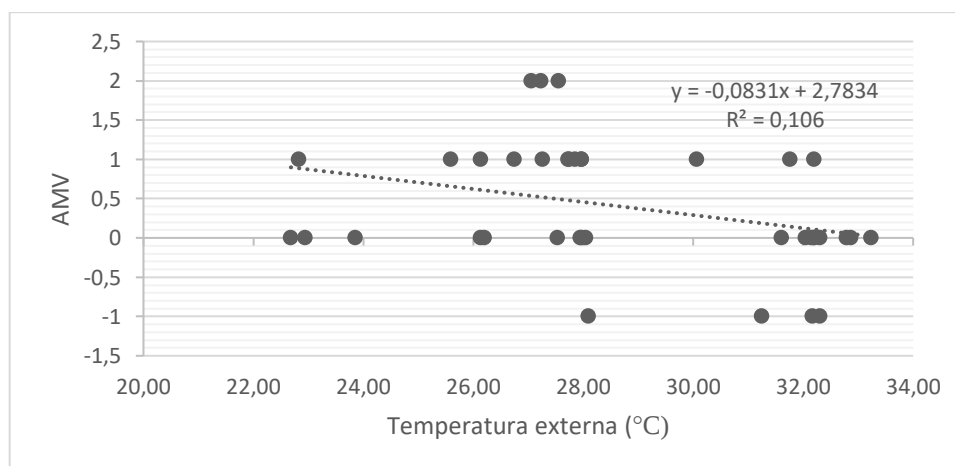


Gráfico 26: Dispersão entre as variáveis AMV e temperatura externa
Fonte: Autora, 2018

4.2 Desempenho térmico

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para a simulação computacional do estudo de caso.

4.2.1 Modelo final calibrado

A primeira situação simulada foi a condição sem ventilação e sem ocupação, com o monitoramento realizado em maio, no quarto 1. O Gráfico 27 apresenta os dados de saída obtidos para a versão 1, anterior à calibração.

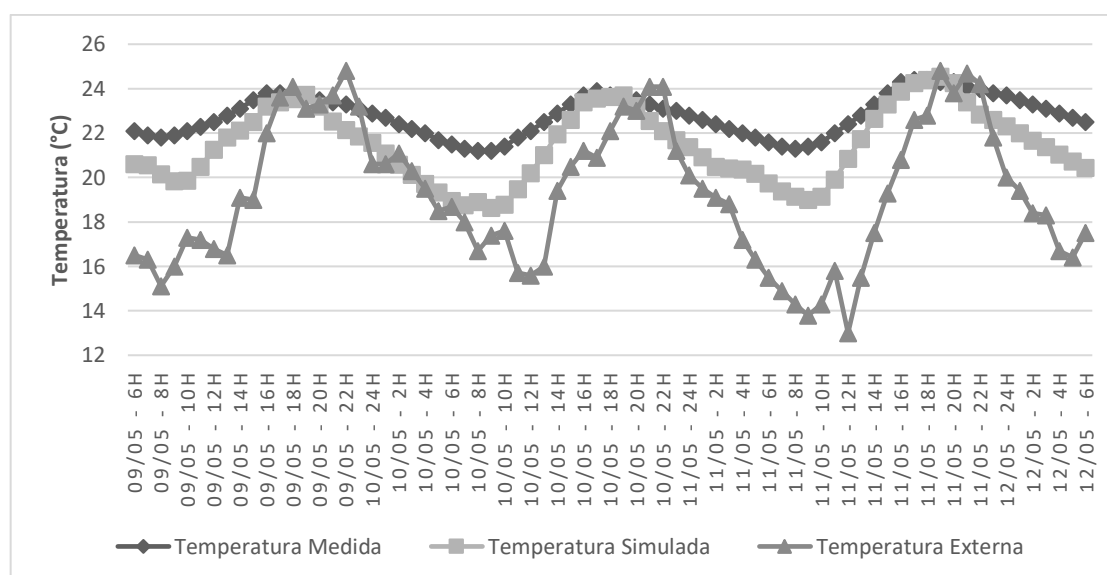


Gráfico 27: Variação da temperatura com o tempo para versão 1 (sem ocupação e sem ventilação)
Fonte: Autora, 2018

Inicialmente, a primeira versão do modelo proporcionou um elevado coeficiente de correlação linear de Pearson, igual a 0,95, demonstrando uma correlação positiva e forte. Não obstante, conforme apresentado no Gráfico 1, há uma diferença considerável entre as temperaturas medidas e simuladas ao longo do tempo, com diferença máxima de temperatura igual a 2,62°C. Analisando apenas esse coeficiente, o modelo poderia ser considerado calibrado para o caso sem ventilação. Entretanto, optou-se por realizar novas iterações, de maneira a diminuir a diferença entre as temperaturas. Tal fato ressalta a importância de analisar diversos índices simultaneamente, de modo a fazer com que o modelo computacional represente a edificação da melhor forma possível.

Durante a etapa de calibração foram criados, no total, 18 modelos computacionais, sendo 12 modelos referentes à calibração sem ventilação e sem ocupação e 6 modelos referentes à simulação com ventilação e sem ocupação. Os resultados encontrados para cada processo iterativo estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 17: Resumo das simulações durante a fase de calibração

	Simulação		Diferença de Temperatura (°C)			MBE	CV RMSE	Coef. de Pearson	Alterações mantidas?
	Nº	Descrição	Mín.	Máx.	Méd.				
Sem ventilação	1	Modelo anterior à calibração	0,01	2,62	1,34	5,83%	6,75%	0,9502	-
	2	Absortância com erro = 0	0,36	2,57	1,48	6,50%	6,96%	0,9561	Não
	3	Absortância com erro = +0,1	0,05	2,57	1,27	5,38%	6,52%	0,9463	Sim
	4	Absortância com erro = -0,1	0,25	3,14	1,80	7,89%	8,55%	0,9537	Não
	5	Densidade do bloco de concreto	0,04	2,51	1,24	5,32%	6,28%	0,9480	Sim
	6	Densidade da laje de concreto	0,05	2,56	1,25	5,35%	6,33%	0,9495	Sim
	7	Infiltração: trocas de ar/hora = 1	0,03	0,98	0,40	1,46%	2,10%	0,9249	Sim
	8	Infiltração: trocas de ar/hora = 0,5	0,00	0,76	0,29	0,37%	1,46%	0,8963	Não
	9	Calor específico +10%	0,01	0,87	0,36	1,33%	1,90%	0,9192	Não
	10	Calor específico -10%	0,01	0,74	0,32	0,51%	1,63%	0,9071	Não
	11	Condutividade +10%	0,03	0,95	0,40	0,51%	2,07%	0,9251	Sim
	12	Condutividade -10%	0,02	0,95	0,39	1,39%	2,04%	0,9233	Não
Com ventilação	13	Modelo 11 + No Multizone Or Distribution	0,04	4,37	1,03	3,96%	6,20%	0,8926	Não
	14	Modelo 11 + Multizone Without Distribution	0,02	2,68	0,89	0,06%	4,58%	0,7663	Sim
	15	Modelo 14 + Coeficiente de descarga = 0,7	0,00	2,97	0,79	0,86%	4,47%	0,7916	Não
	16	Modelo 14 + Coeficiente de descarga = 0,5	0,02	2,68	0,89	0,06%	4,58%	0,7663	Não
	17	Modelo 14 + Coeficiente de descarga = 0,9	0,02	3,22	0,74	1,39%	4,54%	0,8063	Não
	18	Modelo 14 + Coeficiente de descarga = 1	0,00	3,34	0,72	1,60%	4,61%	0,8117	Sim

Fonte: Autora, 2018

Percebe-se que uma alteração de parâmetro que promove a melhoria em um determinado índice estatístico não necessariamente propicia melhoria em outro. Como exemplo, pode-se observar a transição da simulação nº13 para a simulação nº14, em que o coeficiente de correlação diminuiu. Entretanto, houveram melhorias para o MBE, o CV RMSE e para as diferenças de temperatura medidas e simuladas. Dessa forma, cabe ao analista determinar qual modelo adotar.

Durante o processo de calibração, foi possível constatar a influência de parâmetros relacionados à ventilação e às propriedades térmicas dos materiais para o modelo analisado. Verificou-se que a variável de maior interferência na correspondência do modelo foi o coeficiente de descarga para portas e janelas.

A simulação nº18 forneceu o modelo final calibrado para o quarto 1 da moradia universitária. O Gráfico 28 apresenta a variação temporal da temperatura de bulbo seco no interior do quarto analisado. Percebe-se diferenças entre os dados medidos e simulados, com diferença máxima igual a 3,34 °C e mínima igual a 0,72 °C. O modelo final calibrado permitiu prever a temperatura interna com uma precisão de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ para 88% das vezes. A diferença entre as temperaturas simuladas e monitoradas se deve (1) à precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ do medidor de stress térmico utilizado para a medição da temperatura de bulbo seco interna, (2) ao fato de os sensores do equipamento terem sido posicionados em um ponto distinto daquele em que o *EnergyPlus* calcula a temperatura da zona térmica e (3) devido à aproximação dos dados de entrada.

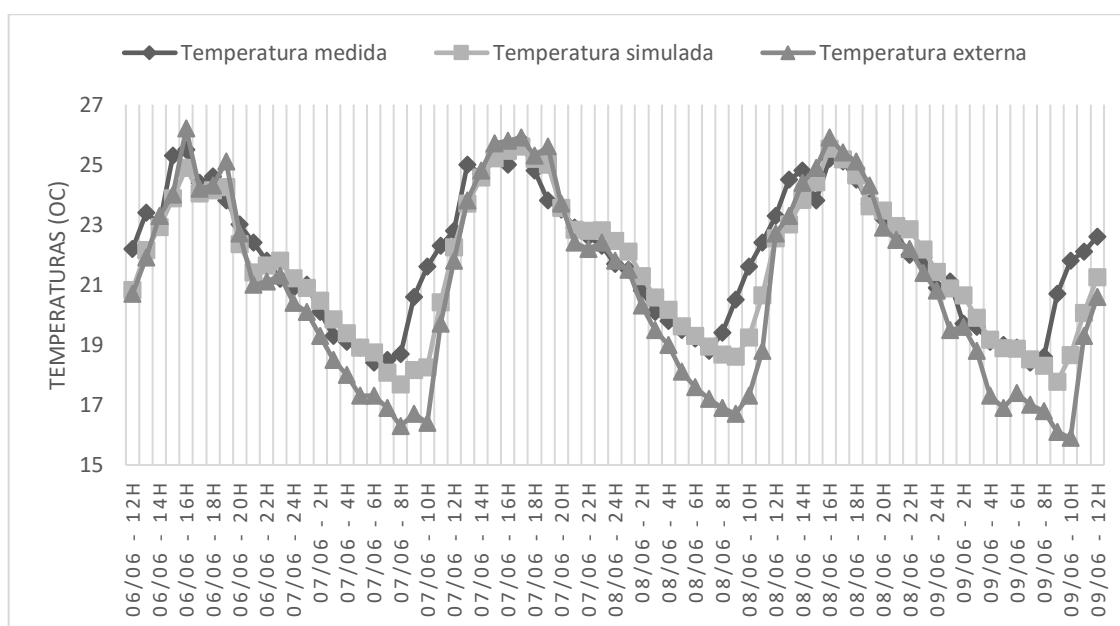


Gráfico 28: Variação da temperatura com o tempo para o modelo inicial (sem ocupação e com ventilação), quarto 1
Fonte: Autora, 2018

O Gráfico 29 apresenta o diagrama de dispersão obtido para o modelo calibrado. O coeficiente de correlação linear de Pearson obtido para o modelo apresentou uma correlação linear positiva e forte ($> 0,75$).

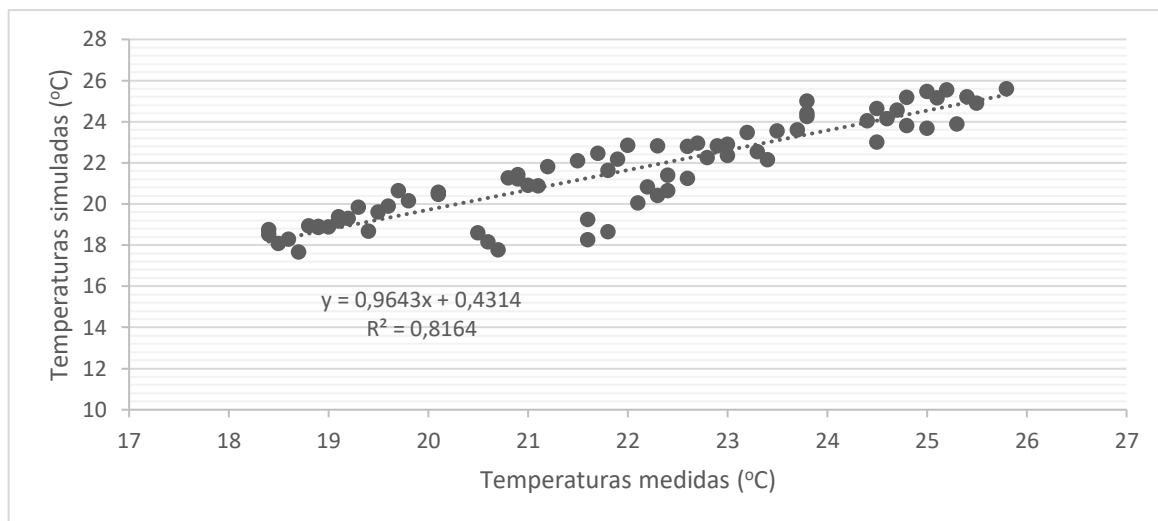


Gráfico 29: Diagrama de dispersão do modelo final
Fonte: Autora, 2018

4.2.2 Simulações

O estudo de caso, considerando as diretrizes construtivas preconizadas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), não atende a algumas recomendações da norma. O atraso térmico relativo à cobertura da edificação é superior aos limites estabelecidos na norma, conforme apresentado na Tabela 18. A cobertura é composta por laje de concreto maciça, revestimento interno de gesso liso sarrafeado e revestimento externo composto por manta asfáltica, poliestireno expandido, poliestireno extrudado e argamassa (as espessuras e propriedades térmicas foram apresentadas anteriormente na Tabela 7).

Tabela 18: Propriedades térmicas da envoltória referente ao estudo de caso e limites apresentados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b)

Vedações externas		Transmitância U (W/m².K)	Fator Solar FS _o (%)	Atraso térmico φ (h)
Paredes	Limites NBR 15220	≤ 3,6	≤ 4,3	≤ 4,0
	Estudo de caso	2,78	2,22	3,26
Cobertura	Limites NBR 15220	≤ 2,0	≤ 3,3	≤ 6,5
	Estudo de caso	0,83	0,99	11,04

Fonte: Autora, 2018

O estudo de caso também não atende ao limite estabelecido para as aberturas médias (15% da área do piso < área da abertura < 25% da área do piso). As dimensões e o tipo de janela utilizado estão apresentados no Anexo B (Janela JA01). A janela possui uma folha de correr e permite 100% de abertura do vão. Considerando o quarto com área de 8m², a abertura da janela possui cerca de 28% da área do piso.

Apesar de a edificação atender aos critérios definidos para as paredes, foram simuladas alterações de modo a obter uma solução que possibilitasse a otimização do desempenho térmico.

As alterações na envoltória da edificação foram concebidas de acordo com o disposto na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), de modo a obter a solução que apresentasse o melhor comportamento térmico para os quartos analisados. As propriedades térmicas dos elementos simulados foram obtidas previamente à simulação, de modo a simular apenas as alterações que atendessem aos limites especificados na norma (Tabela 19).

Tabela 19: Propriedades térmicas referentes às envoltórias simuladas

Nº		Descrição	Transmitância térmica U (W/m².K)	Fator Solar FS _o (%)	Atraso térmico ϕ (h)
Parede	01	Estudo de caso	2,78	2,22	3,26
	02	Argamassa externa (2,5cm) Bloco de concreto estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa interna (2,5cm)	2,68	2,14	3,96
	03	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	2,43	1,94	3,73
	04	Argamassa externa (2,5cm) Bloco cerâmico estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa interna (2,5cm)	2,01	1,61	4,8
	05	Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	1,84	1,46	4,48
Cobertura	06	Estudo de caso	0,83	0,99	11,04
	07	Argamassa externa (2,5cm) Poliestireno extrudado (0,6cm) Manta asfáltica (0,7cm) Laje maciça em concreto (8,0cm) Gesso liso (0,3cm)	1,94	2,32	6,48
	08	Telha cerâmica (1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Laje maciça em concreto (8,0cm) Gesso liso (0,3cm)	2,07	5,37	6,10
	09	Telha fibrocimento (0,8cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Laje maciça (8,0cm) Gesso liso (0,3cm)	2,07	2,48	6,10

Fonte: Autora, 2018

Para avaliar o desempenho térmico, foi realizado o cálculo para graus-hora por resfriamento e por aquecimento para os resultados obtidos para cada um dos sete

quartos analisados. Um resumo dos resultados obtidos para cada uma das simulações está apresentado na Tabela 20.

Para as alterações referentes às paredes dos quartos, a solução que apresentou melhor resultado foi a de nº. 04, constituída por alvenaria em bloco cerâmico estrutural revestido por argamassa interna e externa. Os resultados para os graus-hora por aquecimento e resfriamento foram melhores do que o caso de alvenaria estrutural em blocos de concreto, com o mesmo revestimento. Tal resultado pode ser explicado pelo atraso térmico apresentado pelas envoltórias simuladas. Um maior atraso térmico do fluxo de calor indica uma elevada inércia térmica da alvenaria, devido a sua alta capacidade de armazenar calor. Dessa forma, o pico de temperatura interna apresenta uma maior defasagem em relação ao pico da temperatura externa.

Em relação à cobertura, foi possível observar que, para atender ao critério estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) para o atraso térmico, a espessura da laje deveria diminuir (o estudo de caso possui laje maciça em concreto com 10cm de espessura). Dessa forma, foi adotada a espessura de 8cm para a laje, em todas as simulações. Tal espessura atende à espessura mínima para lajes maciças (8 cm para lajes de piso não em balanço) preconizado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), norma de projeto de estruturas de concreto. A cobertura que apresentou o melhor resultado para os graus-hora por aquecimento e resfriamento foi aquela composta por telha de fibrocimento, laje maciça em concreto e gesso liso para revestimento interno (modelo nº 9).

Tabela 20: Resultados das simulações para o somatório de graus-hora por aquecimento e resfriamento

nº	Descrição	Graus-hora por resfriamento							Graus-hora por aquecimento						
		Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7
Paredes	01 Estudo de caso	957,97	813,88	641,42	486,73	590,21	370,43	162,93	228,55	363,64	218,42	144,45	200,37	432,49	171,75
	02 Argamassa externa (2,5cm) Bloco de concreto estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa interna (2,5cm)	543,89	394,59	274,67	153,69	364,28	208,68	62,62	119,59	189,32	151,31	104,06	164,89	356,54	139,89
	03 Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	920,66	816,85	621,98	474,66	558,93	334,42	152,26	151,13	220,80	192,22	125,73	173,55	375,75	140,78
	04 Argamassa externa (2,5cm) Bloco cerâmico estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa interna (2,5cm)	478,27	361,80	241,99	128,44	341,95	181,70	52,31	92,77	149,28	134,70	96,08	156,39	321,36	129,72
	05 Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico estrutural (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm)	793,45	718,10	523,84	379,53	502,75	280,00	122,59	113,50	166,01	153,92	106,39	162,73	345,56	134,07
Cobertura	06 Estudo de caso	957,97	813,88	641,42	486,73	590,21	370,43	162,93	228,55	363,64	218,42	144,45	200,37	432,49	171,75
	07 Argamassa externa (2,5cm) Poliuretano extrudado (0,6cm) Manta asfáltica (0,7cm) Laje maciça em concreto (8,0cm) Gesso liso (0,3cm)	1344,86	1268,57	714,62	531,90	972,43	414,37	190,61	442,93	581,59	228,01	150,46	233,97	455,71	170,31
	08 Telha cerâmica (1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Laje maciça em concreto (8,0cm) Gesso liso (0,3cm)	1600,93	1551,49	745,51	561,98	1251,01	431,83	209,92	602,47	707,96	219,26	147,30	289,50	455,97	166,73

nº	Descrição	Graus-hora por resfriamento							Graus-hora por aquecimento						
		Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7
09	Telha fibrocimento (0,8cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Laje maciça (10,0cm) Gesso liso (0,3cm)	673,12	523,48	513,20	400,37	298,72	236,02	93,58	206,65	347,98	248,94	219,94	257,49	469,43	258,72

Aberturas	10	Caso base + Aberturas: 15% da área do piso	575,84	333,28	110,14	87,77	188,71	96,98	29,72	201,56	370,52	206,63	134,17	123,52	536,86	164,41
	11	Caso base + Aberturas: 20% da área do piso	689,50	475,48	239,67	185,98	300,76	165,05	59,47	205,74	355,05	198,35	141,72	136,83	479,37	163,44
	12	Caso base + Aberturas: 25% da área do piso	819,93	637,99	426,14	323,84	432,63	258,54	104,78	212,61	350,45	214,73	138,96	165,72	450,76	168,83

13	Alternativa de simulação final: modelos 4, 9 e 10	544,66	386,80	26,15	13,41	324,47	38,35	7,57	172,22	186,35	104,53	86,70	117,68	413,22	128,83
----	---	--------	--------	-------	-------	--------	-------	------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------

Fonte: Autora, 2018

Também foram simuladas alterações no tamanho das aberturas das janelas, referentes à 15, 20 e 25% da área do piso. A temperatura de *setpoint* (21,07°C) para a ventilação foi mantida durante as simulações. Em relação às aberturas, o caso que apresentou o melhor resultado para os graus-hora por aquecimento e resfriamento foi o modelo nº 10, referente à 15% da área do piso.

Finalmente, após simular cada um dos elementos da envoltória separadamente, foi simulado um modelo englobando as melhores soluções encontradas para a envoltória. Dessa forma, o modelo referente à envoltória final (simulação nº 13) abrangeu as soluções para envoltória simuladas nos modelos nº 4, 9 e 10. O modelo final apresentou os melhores resultados para os graus-hora por aquecimento e resfriamento, quando comparado com as demais simulações.

Percebe-se por meio dos resultados de graus-hora por aquecimento e resfriamento a influência da alteração dos materiais da envoltória, assim como discutido por Yilmaz (2007). Segundo o autor, a envoltória possui grande influência no conforto térmico para os usuários, uma vez que separa o ambiente interno do ambiente externo.

Não foi possível estabelecer uma correlação entre as propriedades térmicas das envoltórias simuladas e o seu desempenho térmico. Os resultados sugerem que tais propriedades, quando analisadas separadamente, não são suficientes para determinar o desempenho térmico da edificação em estudo. O balanço térmico dentro do ambiente construído é influenciado por diversos fatores sendo, dessa forma, difícil encontrar uma relação linear entre o desempenho térmico e as propriedades térmicas da envoltória.

A Tabela 21 sumariza a ordenação dos quartos em relação ao desempenho térmico, por meio dos graus hora por resfriamento. A análise foi realizada considerando a envoltória real da edificação. Por meio destes resultados, é possível avaliar a influência da orientação das aberturas e da localização dos quartos para o desempenho térmico. Em relação à localização dos quartos, os resultados indicam que o quarto 7 possui o melhor desempenho térmico. O resultado corrobora o esperado, uma vez que o quarto está localizado no primeiro pavimento e sua abertura está orientada para Sudeste. O quarto que apresentou o pior resultado foi o quarto 1, no qual foram aplicados os questionários. Conforme mencionado anteriormente, o

quarto 1 possui laje de cobertura, 3 paredes externas e abertura orientada para Noroeste.

Tabela 21: Ordenação dos quartos pelo critério de desempenho térmico

nº	Quarto	Descrição	GHR
1º	Quarto 7	1º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Sudeste	162,93
2º	Quarto 6	3º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Sudeste	370,43
3º	Quarto 4	1º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Noroeste	486,73
5º	Quarto 5	5º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Sudeste	590,21
4º	Quarto 3	3º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Noroeste	641,42
6º	Quarto 2	5º pavimento, uma parede externa, abertura voltada para a fachada Noroeste	813,88
7º	Quarto 1	5º pavimento, três paredes externas, quarto em que foi aplicado o questionário	957,97

Fonte: Autora, 2018

Os Gráficos 30 e 31 apresentam os resultados obtidos para a temperatura média interna no quarto 1, durante os solstícios de verão (21/12) e inverno (21/06). Para o solstício de verão, nota-se que houve um visível amortecimento das condições externas mediante a diminuição da amplitude térmica. Além disso, houve um aumento do atraso térmico para o quarto analisado. Durante o solstício de inverno, as envoltórias se comportaram de maneira semelhante em relação à temperatura média interna.

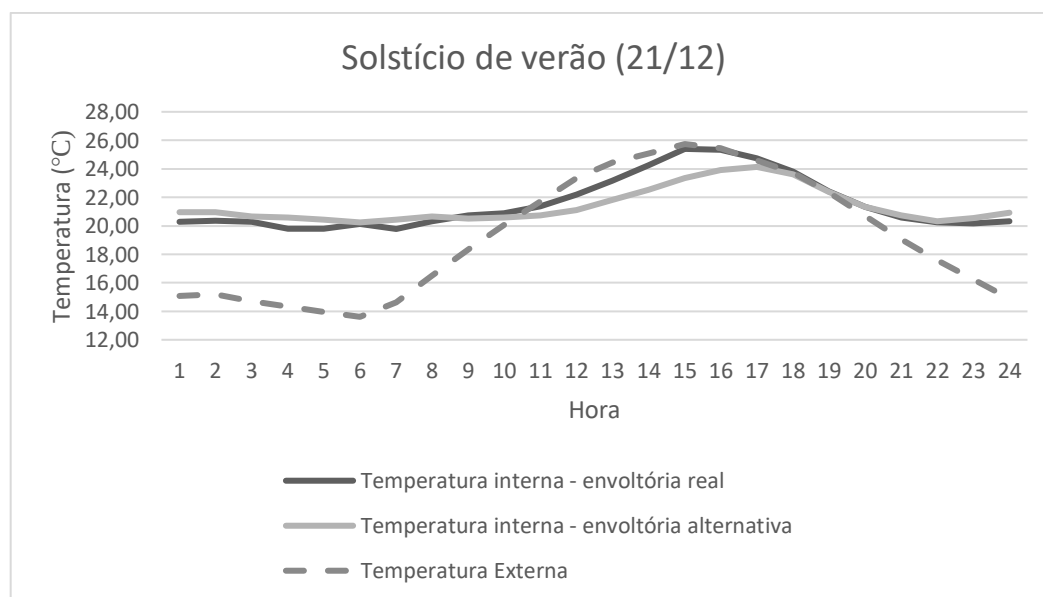


Gráfico 30: Comparação entre as temperaturas médias internas horárias para as envoltórias real e alternativa durante o solstício de verão

Fonte: Autora, 2018

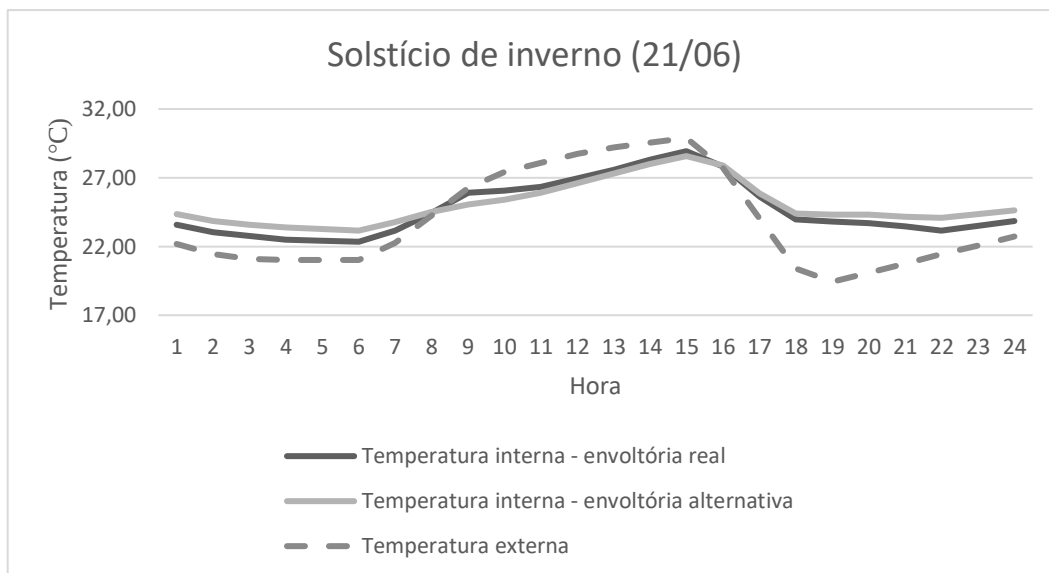


Gráfico 31: Comparação entre as temperaturas médias internas horárias para as envoltórias real e alternativa durante o solstício de inverno
Fonte: Autora, 2018

4.2.3 Indicadores de conforto anuais para os modelos

Neste capítulo, apresenta-se os resultados obtidos para alguns indicadores de conforto, de acordo com o modelo adaptativo apresentado na ASHRAE 55 (2010). O modelo estático não demonstrou efetividade em prever a sensação de conforto para os usuários do estudo de caso, conforme analisado anteriormente. Dessa forma, o modelo não foi utilizado para avaliar os resultados das simulações.

A análise por meio do modelo adaptativo levou em consideração os limites inferiores e superiores para a temperatura neutra em Belo Horizonte, considerando o limite de 80% de aceitabilidade, conforme apresentado no Apêndice G e no Gráfico 32.

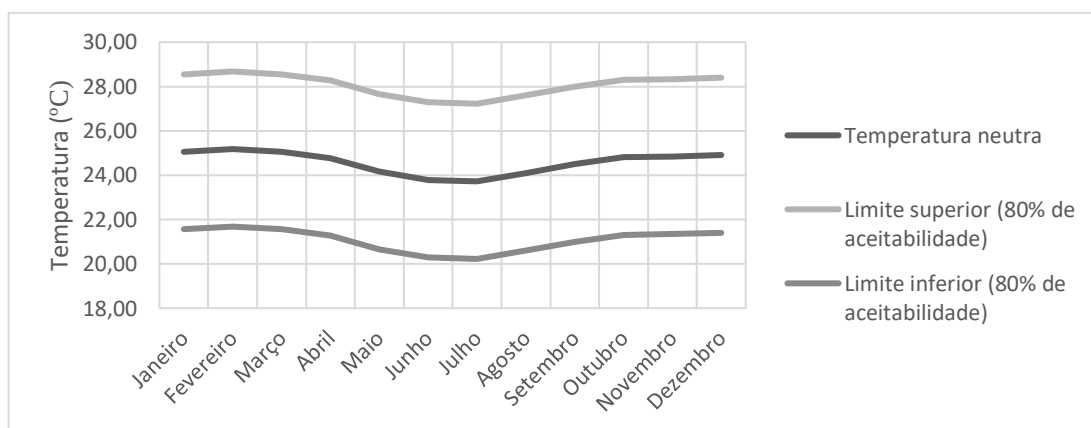


Gráfico 32: Variação da temperatura neutra mensal para Belo Horizonte, considerando as normais climatológicas (1981-2010)

O Gráfico 33 apresenta a variação da temperatura neutra e da temperatura predominante externa (considerando um intervalo de 30 dias), para todos os dias do ano. Os dados foram obtidos por meio de simulação, utilizando o arquivo climático de Belo Horizonte.

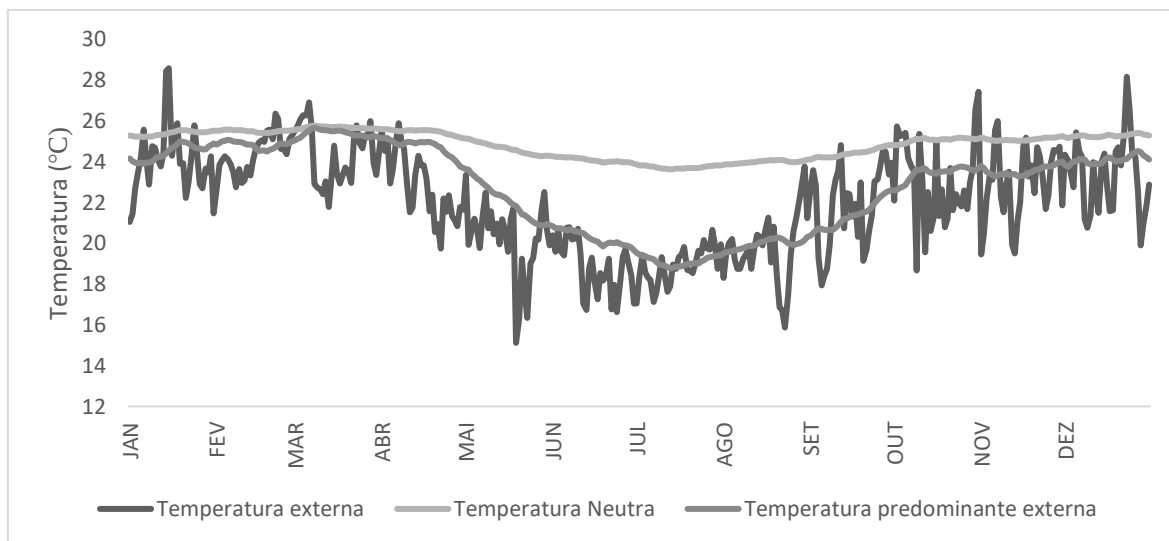


Gráfico 33: Variação da temperatura neutra (T_n) e temperatura predominante externa (T_{pe}) para um intervalo de 30 dias

Fonte: Autora, 2018

Para realizar as análises de conforto, foi selecionado o quarto 1, que apresentou o pior comportamento térmico para os resultados das simulações. A análise foi realizada considerando a envoltória real do estudo de caso e a envoltória alternativa que apresentou melhor comportamento térmico.

4.2.3.1 Estudo de caso

O Gráfico 34 e o Gráfico 35 apresentam a variação horária e mensal de conforto para o quarto 1, considerando a envoltória do estudo de caso, para o limite de 80% de aceitabilidade. O desconforto por frio é mais pronunciado de 5h às 9h, atingindo a menor temperatura ($18,51^{\circ}\text{C}$) às 8h. O desconforto por calor é mais pronunciado de 16h às 19h, atingindo a maior temperatura ($33,75^{\circ}\text{C}$) às 17h. Em relação à distribuição mensal do conforto para o quarto 1 no estudo de caso, o desconforto por frio é maior em agosto e o desconforto por calor é maior em março.

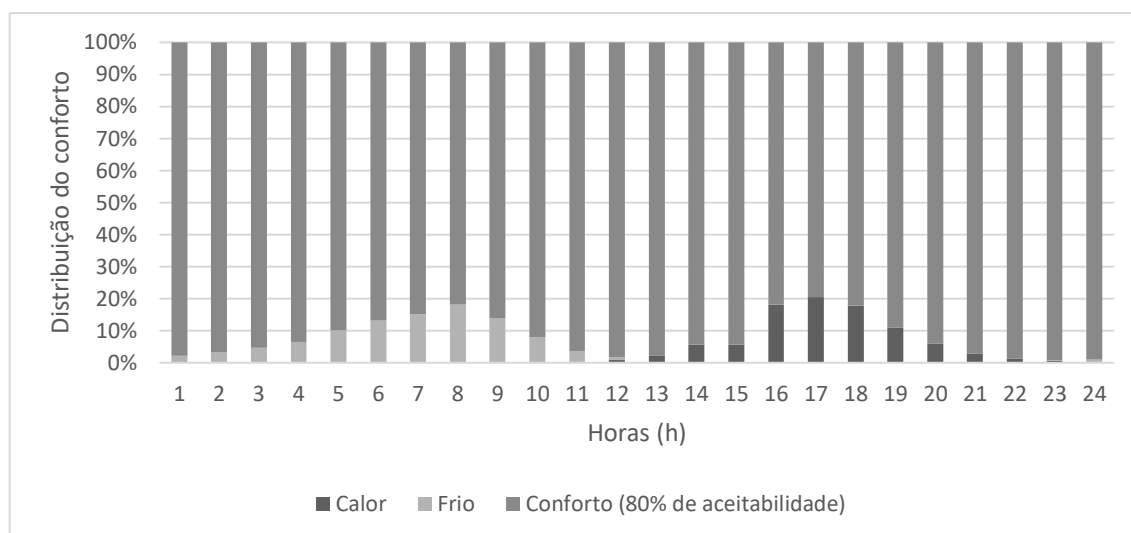


Gráfico 34: Análise horária da ocorrência de conforto para o estudo de caso, quarto 1
Fonte: Autora, 2018

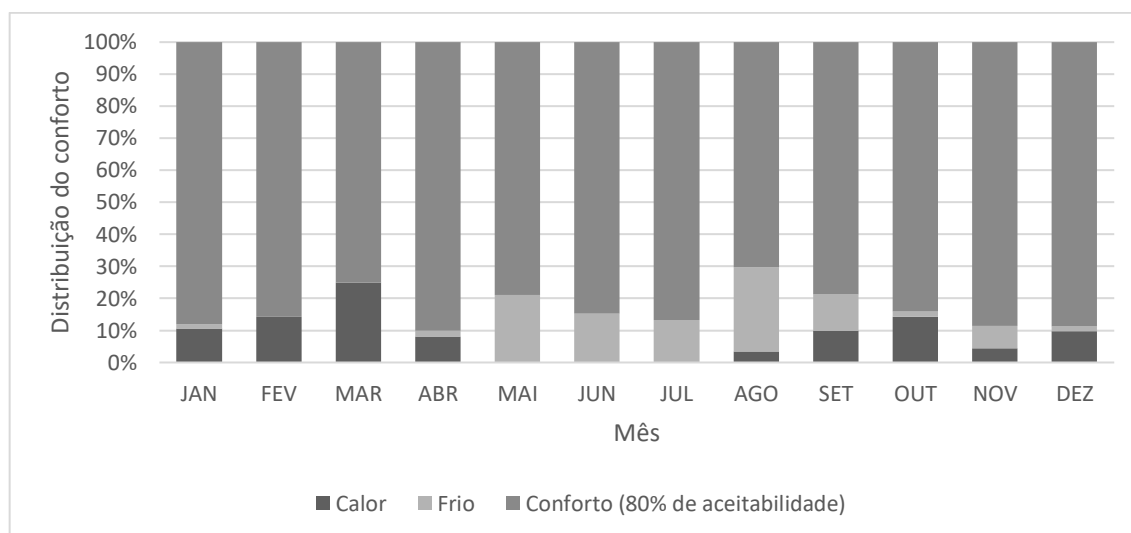


Gráfico 35: Análise mensal da ocorrência de conforto para o estudo de caso, quarto 1
Fonte: Autora, 2018

4.2.3.2 Envoltória alternativa

O Gráfico 36 e o Gráfico 37 apresentam a variação horária e mensal de conforto para o quarto 1, considerando a envoltória alternativa, para o limite de 80% de aceitabilidade. O desconforto por frio é mais pronunciado de 7h às 11h, atingindo a menor temperatura (18,62°C) às 9h. O desconforto por calor é mais pronunciado de 16h às 19h, atingindo o pico (33,25°C) entre 17h-18h. Em relação à distribuição mensal do conforto para o quarto 1 na envoltória alternativa, o desconforto por frio é maior em agosto e o desconforto por calor é maior em março, assim como ocorreu para o estudo de caso.

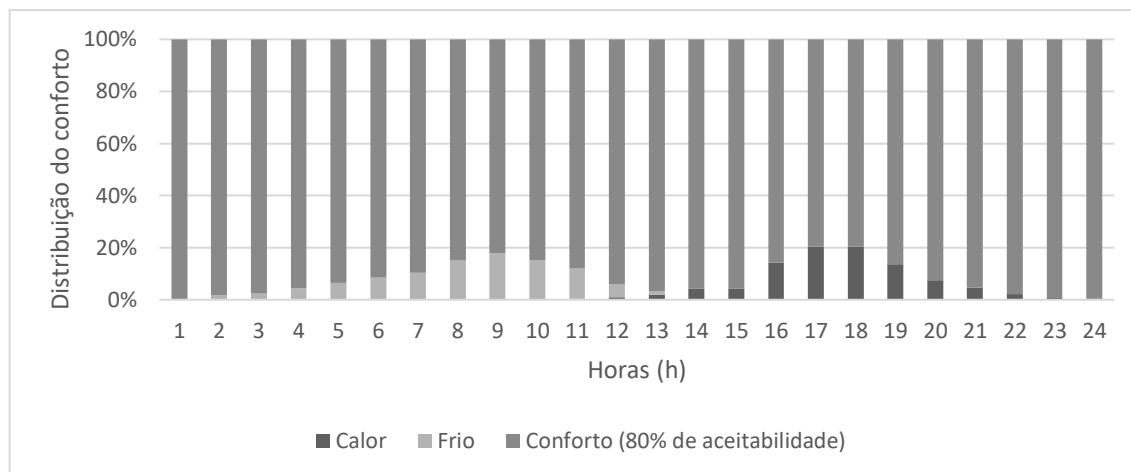


Gráfico 36: Análise horária da ocorrência de conforto para a envoltória alternativa, quarto 1
Fonte: Autora, 2018

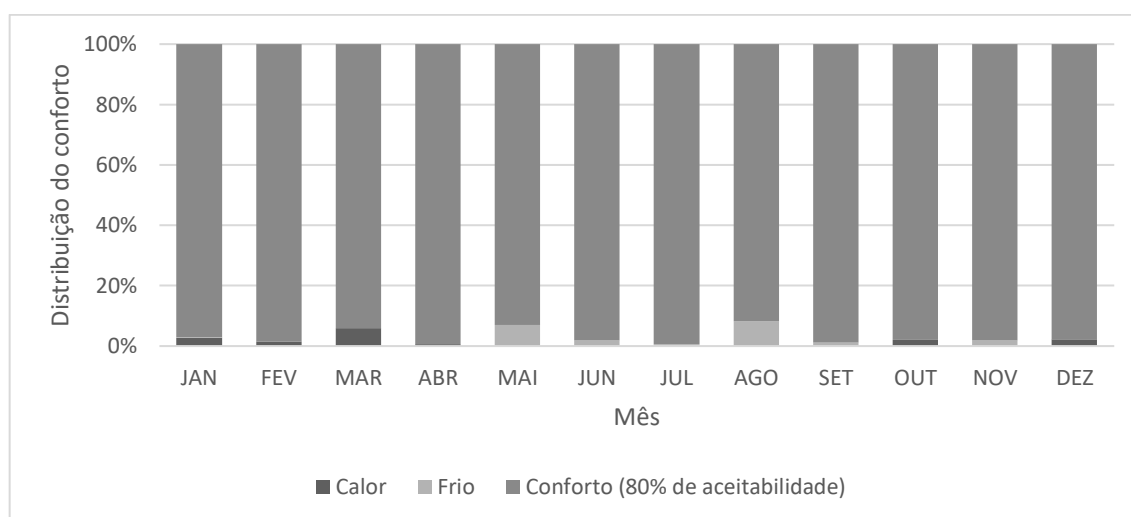


Gráfico 37: Análise mensal da ocorrência de conforto para a envoltória alternativa, quarto 1
Fonte: Autora, 2018

Ao comparar os resultados obtidos para a envoltória real do estudo de caso e a envoltória alternativa, nota-se grande diferença em relação ao conforto. O desconforto térmico foi reduzido, tanto para calor quanto para frio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o conforto térmico para os usuários de uma moradia universitária naturalmente ventilada e o desempenho térmico de sua envoltória.

Para avaliar o conforto térmico, foram conduzidas 38 entrevistas em um dos quartos de uma moradia universitária situada em Belo Horizonte - MG. Os participantes de pesquisa responderam questões referentes à sensação, percepção e aceitabilidade térmica. Então, foram comparadas as respostas dos usuários com os resultados obtidos para o conforto térmico de acordo com os modelos estático e adaptativo.

Em relação à aplicação do modelo estático, os resultados apontaram que o modelo não estimou adequadamente o conforto térmico para os usuários, uma vez que não houve correspondência entre o voto médio predito (PMV) e a sensação térmica relatada (AMV). Dessa forma, houve uma inadequação do modelo proposto por Fanger para avaliar a edificação naturalmente ventilada e o clima analisados no estudo de caso. Tal fato corrobora a importância de se levar em consideração a avaliação subjetiva dos usuários da edificação durante a avaliação do conforto térmico. Esta consideração torna-se importante principalmente para a avaliação de moradias universitárias, na qual usuários possuem diferentes históricos térmicos e aclimação.

Em relação ao modelo adaptativo, os resultados apontaram aceitabilidade térmica (considerando o limite de 80% de aceitabilidade) durante todo o período de monitoramento, aproximando-se da sensação térmica relatada pelos usuários. Esperava-se obter uma forte correlação entre a temperatura externa e a sensação térmica de conforto, não obstante essa tendência não foi observada para o universo pesquisado. Isso poderia ser explicado devido ao fato de Belo Horizonte encontrar-se em um clima de transição. A temperatura operativa varia muito ao longo do dia e a faixa da temperatura de conforto tende a ser maior do que em outros locais.

Para avaliar o efeito de possíveis mudanças na envoltória no desempenho térmico da edificação, foram propostas alterações baseadas nas recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). Foram analisados os resultados dos graus-hora de aquecimento e resfriamento para cada um dos casos, de modo a avaliar a melhor

solução e a distribuição horária e mensal do conforto. A envoltória alternativa que apresentou o melhor desempenho térmico foi aquela constituída por alvenaria em blocos cerâmicos estruturais com 14cm de largura, argamassa interna e externa; cobertura composta por telha de fibrocimento, laje maciça em concreto e gesso liso para revestimento interno; e aberturas pequenas. Em relação às paredes, foi possível observar que a propriedade térmica que propiciou melhores resultados em relação ao desempenho térmico da edificação foi o maior atraso térmico. Quanto às coberturas simuladas, não foi possível relacionar as propriedades térmicas da envoltória com os resultados obtidos para o desempenho térmico. Tal fato corrobora a importância de serem realizadas simulações para a avaliação do desempenho térmico em edificações, uma vez que as simulações permitem considerar um balanço térmico global do ambiente construído.

Outras pesquisas são necessárias para avaliar a preferência e o comportamento de usuários em moradias universitárias, principalmente devido à grande variedade dos perfis de usuários. Nas situações em que são esperados usuários com diversos históricos térmicos (como neste estudo de caso), será possível a elaboração de projetos que considerem a variabilidade individual da temperatura de conforto. Para o caso de moradias universitárias existentes, poderia ser elaborada uma estratégia de gerenciamento em que os usuários seriam alocados nos quartos de acordo com as suas preferências e histórico térmico.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010**. Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2010.

_____. **ANSI/ASHRAE. ASHRAE Standard 140-2004**. Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

ALBATAYNEHA, A. et al. Thermal Assessment of Buildings Based on Occupants Behavior and the Adaptive Thermal Comfort Approach. **Energy Procedia**, v. 115, n. Junho 2017, p. 265–271, 2017.

AMIN, R. et al. The influence of a student's "home" climate on room temperature and indoor environmental controls use in a modern halls of residence. **Energy and Buildings**, v. 119, p. 331–339, 2016.

ANDREASI, Wagner Augusto. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. SC. 2009. 204p.

ARAÚJO, R. R. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís-Maranhão. **Caderno de Pesquisa**, v. 19, n. 3, p. 51–60, 2012.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. Thermal comfort. **PLEA International**, p. 66, 2007.

BALVEDI, B. F. et al. Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis.

Ambiente Construído, v. 18, n. 3, p. 149–160, 2018.

BARBOSA, K. H.; GHISI, E. Proposta de calibração de um modelo computacional de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia. **ENCAC 2017 - XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, p. 1–10, 2017.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações. **Ambiente Construído**, n. 48, p. 117–136, 2008.

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações. **Ambiente Construído**, n. 48, p. 89–108, 2007.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Influências dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulações do comportamento térmico de edificações. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 79–97, 2011.

BELAZI, W. et al. Uncertainty analysis of occupant behavior and building envelope materials in office building performance simulation. **Journal of Building Engineering**, v. 19, n. May, p. 434–448, 2018.

BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO Christina. Ventilação natural em edificações. **PROCEL EDIFICA**. Rio de Janeiro, 2010.

BM PROJETOS. **Caderno de especificação de esquadrias**. Belo Horizonte. Revisão: 0. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Comissão Nacional de Ética em Pesquisa. **Plataforma Brasil**. Disponível em: <<http://plataformabrasil.saude.gov.br>>. Acesso em: 18 out. 2018a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1981-2010**. Brasília: INMET, 2018b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática: Belo Horizonte - Pampulha**. Brasília: INMET, 2018c.

BRÍGITTE, G. T. N. et al. Modelo de informação da construção para o projeto

baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 4, p. 9–26, 2016.

BUONOCORE, C. et al. Avaliação de conforto térmico em um ambiente acadêmico naturalmente ventilado localizado em Florianópolis - SC. **XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC**, n. 1, p. 672–681, 2017.

CASTALDO, V. L. et al. How subjective and non-physical parameters affect occupants' environmental comfort perception. **Energy and Buildings**, v. 178, p. 107–129, 2018.

CHAVES, V. L. et al. Análise De Conforto Térmico Para Diferentes Estratégias De Melhorias Climáticas Em Salas De Aulas: Comparação Entre Dados Técnicos E a Percepção Dos Usuários. **Xvi Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, p. 682–697, 2016.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1998. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1998.

COAKLEY, D.; RAFTERY, P.; KEANE, M. A review of methods to match building energy simulation models to measured data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 123–141, 2014.

COUTINHO, A. S. Conforto e Insalubridade Térmica em Ambiente de Trabalho. Edições PPGEM: João Pessoa, 1998.

DE DEAR, R. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**, v. 14, n. s7, p. 32–39, ago. 2004.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, n. Part 1, p. 1–18, 1997.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549–561, 1 jul. 2002.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. **Memorial descritivo e caderno de especificações – Moradia Universitária III.** Versão. R02_07/2015. Belo Horizonte: UFMG, 2015a.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Moradia Universitária III. **Projeto Executivo: Implantação.** DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Projeto final. N. da ordem: 51138. Folha: 38/60. Belo Horizonte: UFMG, 2014a.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Moradia Universitária III. **Projeto Executivo: Bloco I – Unidade habitacional: planta geral e paginação de piso.** DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Projeto final. N. da ordem: 51105. Folha: 05/60. Belo Horizonte: UFMG, 2014b.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Moradia Universitária III. **Projeto executivo: Bloco 01 - Planta baixa: 1º e 2º pavimentos.** Projeto final. N. da ordem: 51143. Folha: 42/60. Belo Horizonte: UFMG, 2014c.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Moradia Universitária III. **Projeto executivo: Blocos 01 e 02 – cobertura: plantas e cortes.** Projeto final. N. da ordem: 51101. Folha: 01/60. Belo Horizonte: UFMG, 2014d.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absortância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 109–127, 2007.

ENESCU, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, n. May, p. 1353–1379, 2017.

EVANS, J. R.; MATHUR, A. The value of online survey. **Internet Res**, v. 15, n. 2, p. 195-219, 2005.

ESURV. **eSurv - Free Survey Maker**. Disponível em: < <https://esurv.org/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

FANGER, P. O. **Thermal comfort : analysis and applications in environmental**

engineering. Copenhagen: R.E. Krieger Pub. Co, 1970.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara; FROTA, Anésia Barros. **Ventilação Natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios – Avaliação com Modelos Adaptativos.** Nutau (Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo) 2008 - FAUUSP.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FARIA, M. A. **Avaliação das Condições de Conforto Térmico nas Salas de Aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP.** Ouro Preto, 2013. 157 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

FERREIRA, C. C.; ARTUR, H.; SAD, E. Comparação de Desempenho de Envoltórias Recomendadas Por Normas de Desempenho e Mahoney. **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, p. 1–10, 2015.

FINGER, F.; GOEDERT, G.; MELO, N. R. Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais do usuário. **Xvi Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, p. 1627–1643, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 5. ed. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GALVARRO, S. F. S. et al. CALIBRAÇÃO DE SIMULAÇÃO TÉRMICA DE UMA UNIDADE HABITACIONAL EM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR. **ENCAC 2013 - XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, p. 1–10, 2013.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** 2ª Edição. Applied Science Publishers, Londres, 1976.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1 jan. 1992.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Vários autores. 1. ed.

GONÇALVES, W. B. **Estudo de Índices de Conforto Térmico Avaliados com Base em População Universitária na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

GONÇALVES, WILLI DE B.; VALLE, RAMÓN M.; GARCIA, E. S. Estudo de índices de conforto térmico para aplicação em belo horizonte - mg, com base em pesquisa de população universitária. **ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2001.

GOSSARD, D.; LARTIGUE, B.; THELLIER, F. Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 253–260, 2013.

GRIGOLETTI, G. DE C.; LINCK, G. I. Análise de comportamento térmico de HIS térreas unifamiliares em Santa Maria, RS. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 109–123, 2014.

HALAWA, E.; VAN HOOFF, J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. **Energy and Buildings**, v. 51, p. 101–110, 1 ago. 2012.

HE, Y. et al. Field study on adaptive comfort in air conditioned dormitories of university with hot-humid climate in summer. **Energy and Buildings**, v. 119, p. 1–12, 2016.

HAN, Jie et al. Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. **Building and Environment**, v. 42, n. 12, p. 4043–4050, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306003763>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG**. 225f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HONG, Sung H. et al. A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment. **Building and Environment**, v. 44, n. 6, p. 1228–1236, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308002254>>. Acesso

em: 18 fev. 2019.

HOYT, T. et al. **CBE Thermal Comfort Tool**. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2013. Disponível em: <<http://www.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

HUANG, C.-C. (JEFF); YANG, R.; NEWMAN, M. W. **The potential and challenges of inferring thermal comfort at home using commodity sensors**. Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '15. **Anais...**New York, New York, USA: ACM Press, 2015. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2750858.2805831>>. Acesso em: 1 maio. 2018

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, Watfort, v. 44, p. 5-27, 1976.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. The validity of ISO PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 667–684, 2002.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort**.: ISO 7730. Suíça, 2005.

_____. **Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**.: ISO 10551. Geneva, 1995.

_____. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities**.: ISO 7726. Suíça, 1998.

_____. **Determination of metabolic heat production**. ISO 8996. Genebra, 2004.

JINDAL, A. Thermal comfort study in naturally ventilated school classrooms in composite climate of India. **Building and Environment**, v. 142, n. February, p. 34–46, 2018.

KARYONO, T. H. Bandung thermal comfort study: Assessing the applicability of an adaptive model in indonesia. **Architectural Science Review**, v. 51, n. 1, p. 60–65, 2008.

KLEPEIS, N. E. et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, v. 11, n. 3, p. 231–252, 26 jul. 2001.

KUCHEN, E. et al. Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha. **Ambiente construído**, Porto Alegre , v. 11, n. 3, p. 39-53. 2011.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Simulação computacional do desempenho termo-energético**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v. 1. 53p.

LAMBERTS, R; XAVIER, A.A.P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Apostila LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - LABEEE. **Arquivos climáticos INMET 2018**. Download. Florianópolis, [201-]. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>>. Acesso em 12 set. de 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MARCONDES, M. P. et al. Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 7–29, 2010.

MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, n. 1, p. 43–49, 1987.

MAYKOT, J. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessment of gender on requirements for thermal comfort in office buildings located in the Brazilian humid subtropical climate. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1170–1183, 2018.

MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa EnergyPlus**. p. 22, 2013.

MAZZAFERRO, L.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador Slab no programa EnergyPlus**. Florianópolis, 2013.

MEMON, R. A.; CHIRARATTANANON, S.; VANGTOOK, P. Thermal comfort assessment and application of radiant cooling: A case study. **Building and**

Environment, v. 43, n. 7, p. 1185–1196, 2008.

MONTEIRO, L. M., ALUCCI, M. P. Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 61–79, 2012.

MONTEIRO, L. M. **Modelos Preditivos de Conforto Térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 378 f. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NAKANO, J.; TANABE, S. I.; KIMURA, K. I. Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 615–621, 2002.

NEMATCHOUA, M. K. et al. A field study on thermal comfort in naturally ventilated buildings located in the equatorial climatic region of Cameroon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 381–393, 2014.

NICO-RODRIGUES, E. A. et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7–23, 2015.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 7, p. 628–637, 2004.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, 2002.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. New standards for comfort and energy use in buildings. **Building Research and Information**, v. 37, n. 1, p. 68–73, 2009.

PEDRINI, A. Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações. **Universidade Federal de Santa Catarina, PPGE**C, 1997.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. **Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis**. Encontro Nacional e Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Campinas, 2015.

PEREIRA, C. D. et al. Avaliação experimental do espectrômetro Alta II e sua aplicação na normatização brasileira. **Ambiente Construído**, p. 197–213, 2017.

PEREIRA, H. A. DA C. et al. Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus -Versão 8.0. p. 56, 2013.

PEREIRA, Iraci Miranda; ASSIS, Eleonora Sad De. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 31–51, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000100002&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 18 fev. 2019.

PROJEX. **Projeto elétrico executivo: Tomadas e Iluminação - Bloco 01 - Planta do 3º, 4º e 5º pavimento, distribuição interna, diagrama unifilar e detalhe do quadro de distribuição**. N. da ordem: 50533. Folha: 03/16. Belo Horizonte, 2014.

RAFTERY, P.; KEANE, M.; O'DONNELL, J. Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 9, p. 2356–2364, 2011.

RENCKLY, R. T. **Air university sampling and surveying handbook** – Guidelines for planning, organizing and conducting surveys. Air University, Maxwell Force Base, Alabama, 1996.

RIOS, Gisele Auxiliadora de Almeida. **Desempenho termoenergético de habitação de interesse social**. 2015. 147 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/123970>>.

ROBERTI, F.; OBEREGGER, U. F.; GASPARELLA, A. Calibrating historic building energy models to hourly indoor air and surface temperatures: Methodology and case study. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 236–243, 2015.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. p. 66, 2000.

RORIZ, M. 2012. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto termico em ambientes**

edificados e sua aplicação num software. p. 196, 2002.

RUIZ, G. R. et al. Genetic algorithm for building envelope calibration. **Applied Energy**, v. 168, p. 691–705, 2016.

RUPP, R. F. et al. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 111–123, 2017.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Predicting thermal comfort in office buildings in a Brazilian temperate and humid climate. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 152–166, 2017.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, p. 660–669, 2009.

SCHMID, A. **A Ideia de Conforto: Reflexões sobre o ambiente construído.** [s.l.: s.n.].

SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto.** Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Schmid, A. L. **A ideia de conforto - Reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba, Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of the computer model in building performance simulation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 258–269, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação - 4a edição. **Portal**, p. 138p, 2005.

SOUZA, H. A. DE; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 113–128, 2011.

STRAUB, K. W. et al. Determinação da temperatura de neutralidade em salas de aula do ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de Mato Grosso. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 97–109, 2017.

TERTOLINO, R. P. Análise do desempenho térmico de uma biblioteca setorial: medição e voto médio dos usuários. **ENCAC 2017 - XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, p. 768–777, 2017.

VECCHI, R. DE; LAMBERTS, R.; CANDIDO, C. M. The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 17, p. 69–81, 2017.

WANG, Z. et al. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192–196, 2014.

WANG, Z. et al. Individual difference in thermal comfort: A literature review. **Building and Environment**, v. 138, n. February, p. 181–193, 2018.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 3, p. 306–316, 2007.

ANEXO A - Pranchas do projeto arquitetônico do estudo de caso

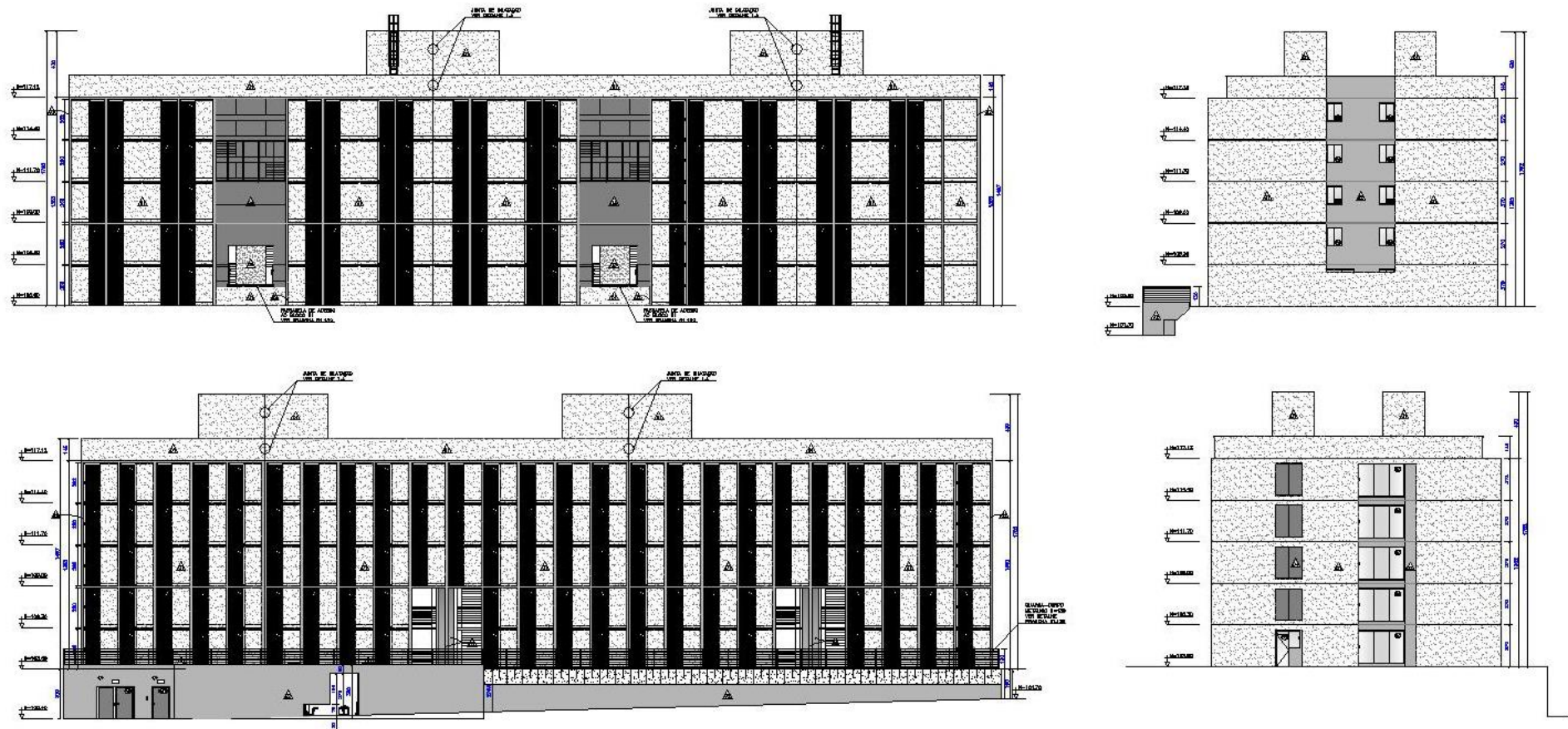


Figura 24: Fachadas correspondentes ao Bloco I
Fonte: DPFP, 2014c

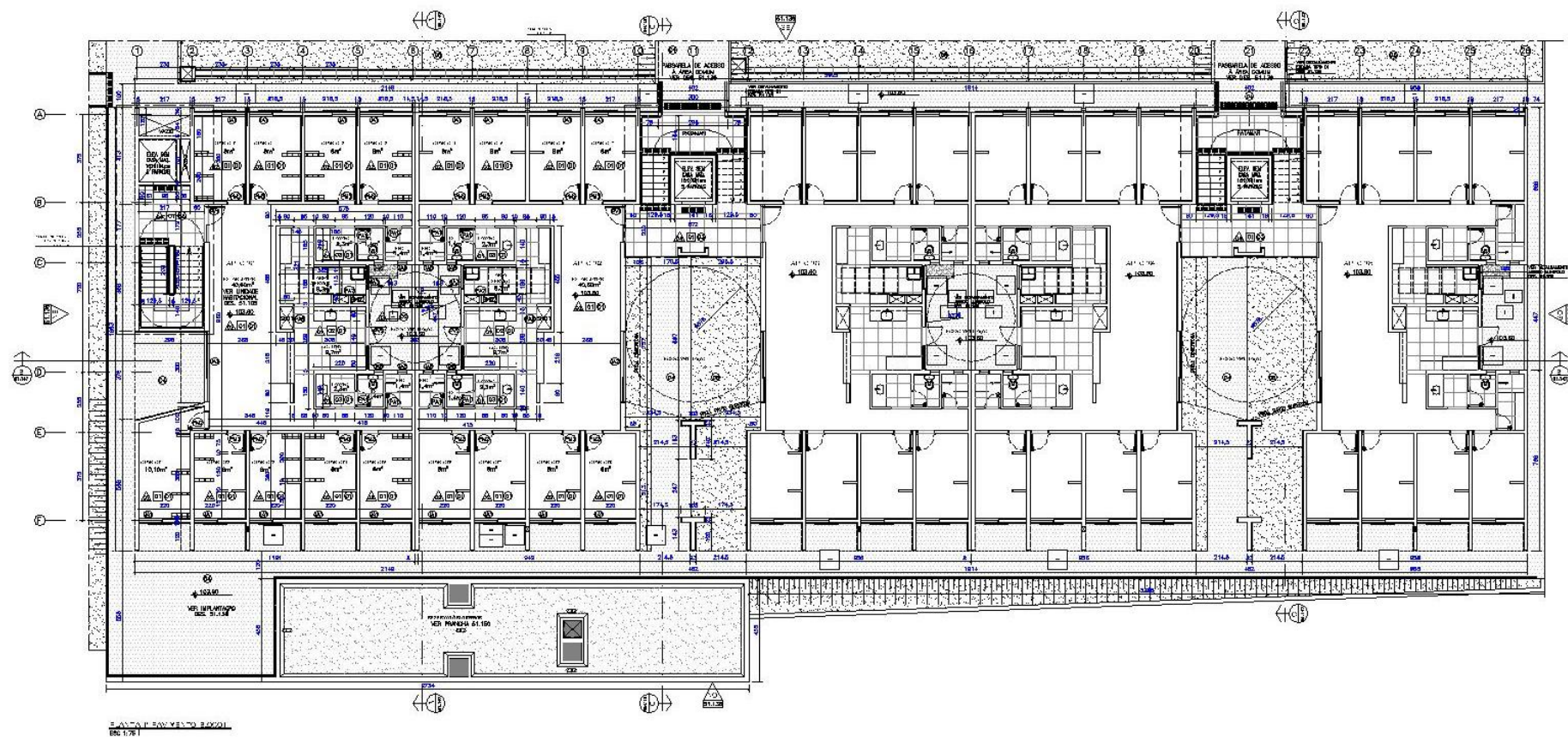


Figura 25: Planta do primeiro pavimento, Bloco I
Fonte: DPFP, 2014c

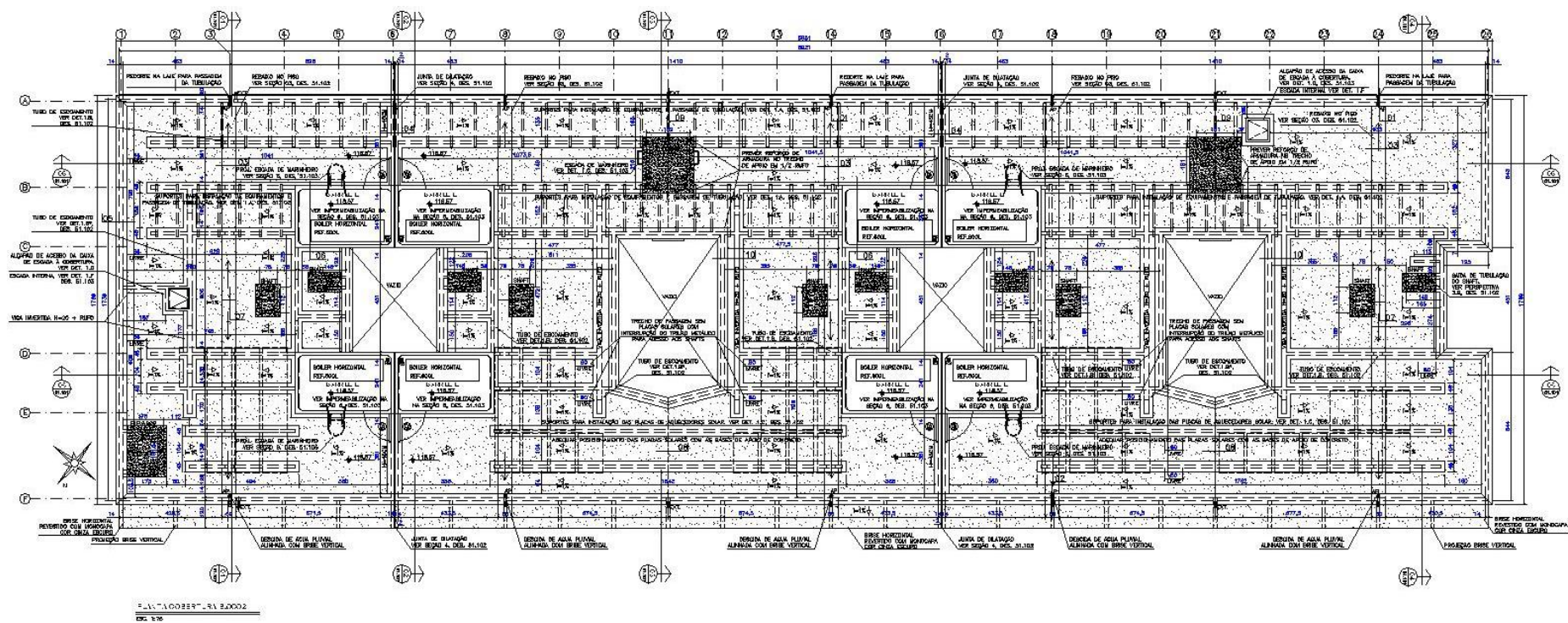
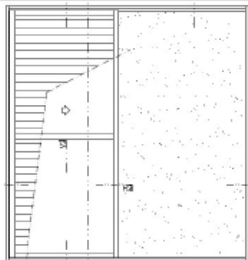
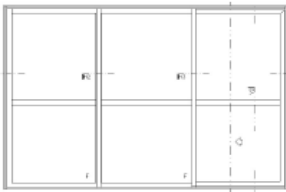
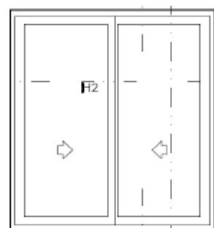
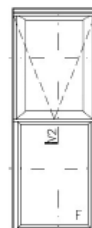
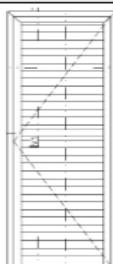
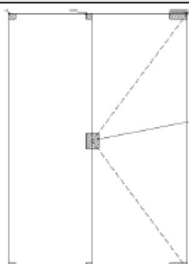
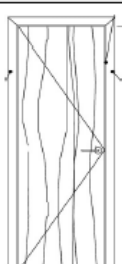


Figura 26: Planta de cobertura do Bloco I
Fonte: DPFP, 2014d

ANEXO B – Esquadrias utilizadas na moradia universitária

Tabela 22: Tabela com esquadrias utilizadas na moradia universitária

JANELAS	Nomenclatura	JA01	JA02	JA03		JA05	
	Local	Quartos	Sala	Cozinha	Área de serviço	Banheiro	Sanitário
	Tipo de janela	1 folha, de correr	3 folhas, 1 de correr	2 folhas, 1 de correr	2 folhas, 1 de correr	2 folhas, 1 basculante	2 folhas, 1 basculante
	Dimensões (cm)	103x240	300x220	100x120	100x120	40x120	40x120
	Material	Vidro temperado 6 mm, veneziana ventilada	Vidro temperado 6 mm	Vidro mini boreal 6mm	Vidro mini boreal 6mm	Vidro mini boreal 6mm	Vidro mini boreal 6mm
	Representação gráfica (sem escala) Fonte: Projeto de esquadrias da moradia						

PORTAS	Nomenclatura	PA01	PV01	PM02
	Local	Sanitários e chuveiros	Entrada dos apartamentos	Quartos
	Tipo de porta	1 folha, de giro	1 folha fixa e 1 folha móvel, pivotante	1 folha, de giro
	Dimensões (cm)	65x210	150x240	72x210
	Material	Alumínio anodizado natural fosco, classe A13	Vidro temperado jateado de 10 mm	Madeira tipo prancheta com acabamento laminado padrão angelim e espessura de 3,5 cm
	Representação gráfica (sem escala) Fonte: Projeto de esquadrias da moradia			

Fonte: BM PROJETOS, 2016. Modificado pela autora.

ANEXO C – Certificado de calibração do medidor de stress térmico

1935/2018-2



Contratante Adriana Rodrigues Pereira

Solicitante: Adriana Rodrigues Pereira

2. Descrição

Instrumento: Termômetro de Globo
Marca: Instrutherm
Modelo: TGD-300

Identificação:  **111292**
Série: 070307667

3. Método utilizado:

3.1 Procedimentos

Conforme solicitação, nosso Laboratório realizou calibração no instrumento acima, com base em nosso procedimento de confirmação metroológica PGQ-005 e instrução de processo IPR-036 conforme última revisão.

4. Padrão(ões) utilizado(s)

Descrição Padrão	Identificação	Certificado	Validade	Calibrado por
Calibrador Portátil Micro Processado	CAP.002	3631/17	05/2020	Ecil
Termoresistência Tipo Pt-100 a 4 Fios	TPP.005	5710/17	08/2018	Ecil

5. Incerteza das medições:

U = Incerteza das medição

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos correspondente a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA 4/02.

6. Condições ambientais:

Temperatura: 23 ± 5 °C

Umidade relativa: 52 ± 23 % u.r

7. Resultados

Devido o instrumento apresentar-se danificado, não foi possível efetuar a calibração antes do ajuste.

Resultados após ajuste					
TEMPERATURA - BULBO ÚMIDO					
Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	14,0	-1,0	2,00	0,1	1,1
20,2	18,2	-2,0	2,00	0,1	2,1
29,5	27,3	-2,2	2,00	0,1	2,3
40,1	38,6	-1,5	2,00	0,1	1,6
50,2	48,7	-1,5	2,00	0,1	1,6

TEMPERATURA - BULBO SECO					
Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	14,9	-0,1	2,00	0,1	0,2
20,2	19,9	-0,3	2,00	0,1	0,4
29,5	29,2	-0,3	2,00	0,1	0,4
40,1	39,8	-0,3	2,00	0,1	0,4
50,2	49,9	-0,3	2,00	0,1	0,4

CALIBRATEC Comércio e Calibrações de Instrumentos de Medição Ltda.
Av.: Severino Ballesteros Rodrigues, 2999 - B. Ressaca - Contagem-MG - CEP 32110-005
Telefax: (31) 3398-9022 - calibratec.mg@calibratec.com.br - www.calibratec.com.br



Só não medimos esforços!

1935/2018-2

 CALIBRATEC
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12978/2018

TEMPERATURA - GLOBO					
Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	15,0	0,0	2,00	0,1	0,1
20,2	20,0	-0,2	2,00	0,1	0,3
29,5	29,2	-0,3	2,00	0,1	0,4
40,1	39,7	-0,4	2,00	0,1	0,5
50,2	50,0	-0,2	2,00	0,1	0,3

8. Notas

Os valores obtidos foram considerados após média de três medições

Nota: Instrumento calibrado com ajuste.

Erro Total = (|Tendência| + |U|)

U = Incerteza expandida de medição.

K = Fator de abrangência

Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.

Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

A validade de calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema qualidade de acordo com a Norma 17025:2005 - Item 5.10.4.4.

Este certificado está em conformidade com a norma NBR - ISO - IEC-17025/2005.

Certificado digital, dispensa cópia física.

9. Observações

-

10. Considerações finais:

Data de Calibração: 24/04/2018

Data de emissão: 24/04/2018

Data de recebimento: 13/04/2018


Lucas Vinícius Chamone Lima
Técnico Executante


FREDERICO CAMPOS
Coord. Qualidade

CALIBRATEC Comércio e Calibrações de Instrumentos de Medição Ltda.
Av.: Severino Ballesteros Rodrigues, 2999 - B. Ressaca - Contagem-MG - CEP 32110-005
Telefax: (31) 3398-9022 - calibratec.mg@calibratec.com.br - www.calibratec.com.br



2/2

ANEXO D – Certificado de calibração do anemômetro

Só não medimos esforços!

1935/2018-1



Contratante Adriana Rodrigues Pereira

Solicitante: Adriana Rodrigues Pereira

2. Descrição

Instrumento: Anemômetro

Marca: Instrutherm

Modelo: AD-250

Identificação: 

111294

Série:

08071500385963

3. Método utilizado:

3.1 Procedimentos

Conforme solicitação, nosso Laboratório realizou calibração no instrumento acima, com base em nosso procedimento de confirmação metrológica PGQ-005 e instrução de processo IPR-123 conforme última revisão.

4. Padrão(ões) utilizado(s)

Descrição Padrão

Identificação

Certificado

Validade

Calibrado por

Anemômetro

AND.001

S378092/2017

10/2019

Kellab

5. Incerteza das medições:

U = Incerteza das medições

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos correspondente a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA 4/02.

6. Condições ambientais:

Temperatura: 22 ± 2 °C

Umidade relativa: 50 ± 15 % u.r

7. Resultados

RESULTADOS - ESCALA DE 0 A 30 m/s - RESOLUÇÃO: 0,01 m/s					
Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(m/s)	(m/s)	(m/s)		(m/s)	(m/s)
7,00	7,1	0,10	2,00	0,65	0,75
14,00	14,2	0,20	2,00	0,90	1,10
21,00	21,2	0,20	2,00	1,13	1,33

8. Notas

Os valores obtidos foram considerados após média de três medições

Nota: Instrumento calibrado sem ajuste.

Erro Total = (|Tendência| + |U|)

U = Incerteza expandida de medição.

K = Fator de abrangência

Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.

Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

A validade de calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema qualidade de acordo com a Norma 17025:2005 - Item 5.10.4.4.

Este certificado esta em conformidade com a norma NBR - ISO - IEC-17025/2005.

Certificado digital, dispensa cópia física.

9. Observações

-

Só não medimos esforços!

1935/2018-1



CALIBRATEC[®]

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 13036/2018

10. Considerações finais:

Data de Calibração: 24/04/2018

Data de emissão: 24/04/2018

Data de recebimento: 13/04/2018

Evandro Reis

EVANDRO DOS REIS COSTA
Técnico Executante

®

F. Campos

FREDERICO CAMPOS
Coord. Qualidade



CALIBRATEC Comércio e Calibrações de Instrumentos de Medição Ltda.
Av.: Severino Ballesteros Rodrigues, 2999 - B. Ressaca - Contagem-MG - CEP 32110-005
Telefax: (31) 3398-9022 - calibratec.mg@calibratec.com.br - www.calibratec.com.br



2/2

ANEXO E – Certificado de calibração do termo-higrômetro



Certificado de Calibração Laboratório Medição Contagem

Certificado: 51412/18

Data Calibração: 03/04/2018

OS: 460390-B/2018

1 / 2

Solicitante: THIAGO JOSÉ VIEIRA SILVA

Contratante: O MESMO

Características do Instrumento

Descrição: REGISTRADOR DE TEMPERATURA/UMIDADE (DOIS SENSORES) Identificação: 904042

Marca: HOB0

Modelo: U12-012

Nº. Serie: 904042

Condições Ambientais:

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 21,3 °C ± 1 °C Umidade: 44,2 %ur ± 5%ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 1

Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0225	ROTRONIC	LV16487-17-R0	VISOMES-CAL0127	06/2018
PTT-0114	ECIL	PTT011411/11/15	MEDICÃO-CAL0183	11/2018
PTT-0119	ALUTAL	A0366/2017	PHARMA-CAL0467	06/2020

Resultados Obtidos

1.0 TEMPERATURA GLOBO 1

Faixa de Uso: -20,0 a 70,0 °C

Faixa de Indicação: -20,0 a 70,0 °C Resolução: 0,1 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
10,0	10,2	0,2	0,3	0,5	2,00	Infinito
20,0	20,2	0,2	0,3	0,5	2,00	Infinito
30,0	30,0	0,0	0,3	0,3	2,00	Infinito

1.1 TEMPERATURA GLOBO 2

Faixa de Uso: -20,0 a 70,0 °C

Faixa de Indicação: -20,0 a 70,0 °C Resolução: 0,1 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
10,0	10,1	0,1	0,3	0,4	2,00	Infinito
20,0	20,1	0,1	0,3	0,4	2,00	Infinito
30,0	29,9	-0,1	0,3	0,4	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

Certificado de Calibração Laboratório Medição Contagem

Certificado: 51412/18

Data Calibração: 03/04/2018

OS: 460390-B/2018

2 / 2

1.2 UMIDADE GLOBO 1

Faixa de Uso: 5,0 a 95,0 %ur

Faixa de Indicação: 5,0 a 95,0 %ur

Resolução: 0,1 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
40,0	46,3	6,3	1,5	7,8	2,00	Infinito
60,0	62,4	2,4	1,5	3,9	2,00	Infinito
80,0	77,2	-2,8	2,0	4,8	2,00	Infinito

1.3 UMIDADE GLOBO 2

Faixa de Uso: 5,0 a 95,0 %ur

Faixa de Indicação: 5,0 a 95,0 %ur

Resolução: 0,1 %ur

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur		
40,0	46,7	6,7	1,5	8,2	2,00	Infinito
60,0	62,4	2,4	1,5	3,9	2,00	Infinito
80,0	77,6	-2,4	2,0	4,4	2,00	Infinito

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: Rua Dona Maria Da Conceição, 261 - Jardim Industrial - Contagem - MG

Data de emissão: 04 de abril de 2018



 Assinado Eletronicamente
 CRISTIANO DELFIM
 Gerente Técnico

 Digitally signed by CRISTIANO
 DELFIM:89656610644
 Date: 2018.04.05 09:16:53 -03:00
 Reason: Certificado de Calibração
 Location: Laboratorio Medicao
 Contagem

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Projeto CAAE: 97587218.9.0000.8507, aprovado pelo Sistema CEP/CONEP, em 19 de outubro de 2018.

Prezado(a),

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada: Análise das condições e percepção de conforto térmico propiciadas aos usuários de uma moradia universitária. Este convite se deve ao fato de você ser residente de uma moradia universitária, o que seria muito útil para o andamento da pesquisa.

A pesquisadora responsável pela pesquisa é Adriana Rodrigues Pereira, RG MG-14778817 (mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG). A pesquisa se propõe a estudar as condicionantes ambientais vivenciadas pelos usuários de uma moradia universitária em Belo Horizonte.

Para esta pesquisa adotaremos os seguintes procedimentos: os dados para o estudo serão coletados mediante a aplicação de um questionário e por meio de medições de variáveis ambientais com a utilização de equipamentos. O tempo médio para a realização da pesquisa é de 20 minutos. O questionário será aplicado pela pesquisadora responsável em um quarto da moradia universitária, terá duração média de 5 minutos e a sua aplicação acarreta riscos mínimos ao participante.

Dentre os riscos e desconfortos que essa pesquisa pode ocasionar, estão inclusos: invasão de privacidade; divulgação de dados confidenciais (registrados no TCLE); ocupação do tempo do participante ao responder ao questionário; divulgação de imagem. As medidas mitigadoras dos riscos apresentados incluem: acesso aos resultados dos questionários individuais; liberdade para não responder questões constrangedoras; sigilo absoluto sobre as questões respondidas, sendo resguardado o nome e imagem dos participantes, bem como a identificação do local da coleta de dados. A divulgação do trabalho terá finalidade acadêmica, esperando contribuir para um maior conhecimento do tema estudado. Os resultados obtidos pela pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. O (A) Sr. (a) não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar desta pesquisa. Caso

sejam realizadas fotografias durante a pesquisa, as mesmas não permitirão a identificação dos participantes.

Não há benefícios diretos ou indiretos esperados ao participante de pesquisa. A participação nessa pesquisa é voluntária, não acarretará em custos para o participante da pesquisa e não será disponibilizada nenhuma compensação financeira.

Como participante de uma pesquisa e de acordo com a legislação brasileira, você é portador de diversos direitos, além do anonimato, da confidencialidade, do sigilo e da privacidade, mesmo após o término ou interrupção da pesquisa. Assim, lhe é garantido:

- A observância das práticas determinadas pela legislação aplicável, incluindo as Resoluções 466 (e, em especial, seu item IV.3) e 510 do Conselho Nacional de Saúde, que disciplinam a ética em pesquisa e este Termo;
- A plena liberdade para decidir sobre sua participação sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza;
- A plena liberdade de retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza. Nesse caso, os dados colhidos de sua participação até o momento da retirada do consentimento serão descartados a menos que você autorize explicitamente o contrário;
- O acompanhamento e a assistência, mesmo que posteriores ao encerramento ou interrupção da pesquisa, de forma gratuita, integral e imediata, pelo tempo necessário, sempre que requerido e relacionado a sua participação na pesquisa, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- O acesso aos resultados da pesquisa;
- O ressarcimento de qualquer despesa relativa à participação na pesquisa (por exemplo, custo de locomoção até o local combinado para a entrevista), inclusive de eventual acompanhante, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- A indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa;
- O acesso a este Termo. Este documento é rubricado e assinado por você e por um pesquisador da equipe de pesquisa, em duas vias, sendo que uma

via ficará em sua propriedade. Se perder a sua via, poderá ainda solicitar uma cópia do documento ao pesquisador responsável.

Qualquer dúvida ou necessidade – nesse momento, no decorrer da sua participação ou após o encerramento ou eventual interrupção da pesquisa – pode ser dirigida ao pesquisador, por e-mail: adrianaengcivil@hotmail.com ou celular (31) 989293945.

Se preferir, ou em caso de reclamação ou denúncia de descumprimento de qualquer aspecto ético relacionado à pesquisa, você poderá recorrer ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), vinculado à CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa), comissões colegiadas, que têm a atribuição legal de defender os direitos e interesses dos participantes de pesquisa em sua integridade e dignidade, e para contribuir com o desenvolvimento das pesquisas dentro dos padrões éticos. Você poderá acessar a página do CEP, disponível em: <http://www.cep.cefetmg.br> ou contatá-lo pelo endereço: Av. Amazonas, n. 5855 - Campus VI; E-mail: cep@cefetmg.br; Telefone: +55 (31) 3379-3004 ou presencialmente, no horário de atendimento ao público: às terças-feiras: 12:00 às 16:00 horas e quintas-feiras: 07:30 às 12:30 horas.

Se optar por participar da pesquisa, peço-lhe que rubrique todas as páginas deste Termo, identifique-se e assine a declaração a seguir, que também deve ser rubricada e assinada pelo pesquisador.

DECLARAÇÃO

Eu, _____, abaixo assinado, de forma livre e esclarecida, declaro que aceito participar da pesquisa como estabelecido neste TERMO.

Assinatura do participante de pesquisa:

Assinatura do pesquisador:

Belo Horizonte, _____ de _____ de 20____

Se quiser receber os resultados da pesquisa, indique seu e-mail ou, se preferir, endereço postal, no espaço a seguir:

APÊNDICE B - Questionário aplicado na pesquisa

Prezado(a),

você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa de mestrado intitulada: "Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória".

Para esta pesquisa adotaremos os seguintes procedimentos: os dados para o estudo serão coletados mediante a aplicação de um questionário e por meio da utilização de equipamentos.

O tempo médio para a realização da pesquisa é de 20 minutos.

Qualquer dúvida ou necessidade – nesse momento, no decorrer da sua participação ou após o encerramento ou eventual interrupção da pesquisa – pode ser dirigida ao pesquisador, por e-mail: adrianaengcivil@hotmail.com ou celular (31) 989293945.

Projeto CAAE: 97587218.9.0000.8507, aprovado pelo Sistema CEP/CONEP, em 19 de outubro de 2018.

*** 1. Horário:**

*** 2. Gênero:**

- ☐ Feminino
☐ Masculino
☐ Outro

*** 3. Idade**

*** 4. Altura (em cm):**

*** 5. Peso:**

*** 6. Etnia (Classes adotadas pelo Censo do IBGE):**

- ☐ Branco
☐ Pardo
☐ Negro
☐ Indígena
☐ Amarelo

*** 7. Naturalidade:**

*** 8. Em quais cidades já viveu e por quanto tempo?**

*** 9. Há quanto tempo reside em Belo Horizonte?**

- ☐ Menos de seis meses
- ☐ Mais de seis meses e menos de um ano
- ☐ Mais de um ano

*** 10. Com relação às condições climáticas, como você se sente neste momento?**

- ☐ Com muito frio
- ☐ Com frio
- ☐ Com um pouco de frio
- ☐ Bem, nem com frio e nem com calor
- ☐ Com um pouco de calor
- ☐ Com calor
- ☐ Com muito calor

*** 11. Com relação às condições climáticas neste momento, agora você está:**

- ☐ Confortável
- ☐ Um pouco desconfortável
- ☐ Desconfortável
- ☐ Muito desconfortável

*** 12. Com relação às condições climáticas, como você gostaria de estar se sentindo agora?**

- ☐ Com muito mais frio
- ☐ Com mais frio
- ☐ Com um pouco mais de frio
- ☐ Sem mudanças
- ☐ Com um pouco mais de calor
- ☐ Com mais calor
- ☐ Com muito mais calor

*** 13. Levando em conta apenas a sua preferência pessoal, você aprova ou reprova este ambiente?**

- ☐ Aprovo
- ☐ Reprovo

*** 14. Neste momento, em relação às condições climáticas, na minha opinião estar neste local é:**

- ☐ Perfeitamente tolerável
- ☐ Facilmente tolerável
- ☐ Dificilmente tolerável
- ☐ Intolerável

*** 15. Você é uma pessoa que, geralmente, sente:**

- ☐ Muito frio
- ☐ Muito calor
- ☐ Nem um nem outro

*** 16. Com relação ao vento, eu preferia que esse estivesse:**

- ☐ Mais fraco
- ☐ Como está
- ☐ Mais forte
- ☐ Não sei dizer

*** 17. Com relação à temperatura do ar, eu preferia que essa estivesse:**

- ☐ Mais baixa
- ☐ Como está
- ☐ Mais alta
- ☐ Não sei dizer

*** 18. Com relação à umidade do ar, eu preferia que o ar estivesse:**

- ☐ Mais seco
- ☐ Como está
- ☐ Mais úmido
- ☐ Não sei dizer

*** 19. Qual o seu tipo de atividade no momento:**

- ☐ Sentado, atividade leve (relaxado, lendo)
- ☐ Sentado, atividade moderada (digitando)
- ☐ Em pé, relaxado
- ☐ Atividade leve em pé
- ☐ Atividade moderada, em pé
- ☐ Atividade pesada

*** 20. Você está próximo a uma janela com abertura externa?**

- ☐ Sim
- ☐ Não

*** 21. Você está próximo de uma parede externa?**

- ☐ Sim
- ☐ Não

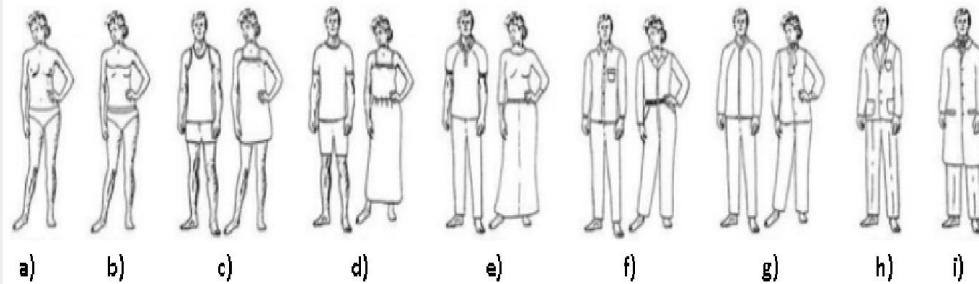
*** 22. Como a janela do quarto se encontra?**

- ☐ Com a folha em veneziana ventilada e a folha em vidro abertas
- ☐ Apenas com a folha em veneziana ventilada fechada
- ☐ Apenas com a folha em vidro fechada
- ☐ Com ambas as folhas fechadas

* 23. Como a porta do quarto se encontra?

- ☐ Aberta
- ☐ Fechada

* 24.



Qual das opções acima representa o seu vestuário?

- ☐ a)
- ☐ b)
- ☐ c)
- ☐ d)
- ☐ e)
- ☐ f)
- ☐ g)
- ☐ h)
- ☐ i)

APÊNDICE C – Estudo piloto

O estudo piloto foi realizado no dia 27/04/18. Nessa data, a edificação se encontrava em fase de finalização da obra. Assim, o estudo piloto teve início às 16h devido ao término do expediente dos funcionários.

O medidor de stress térmico foi posicionado no ambiente 30 minutos antes do início das entrevistas, devido ao tempo necessário para a estabilização das medidas.

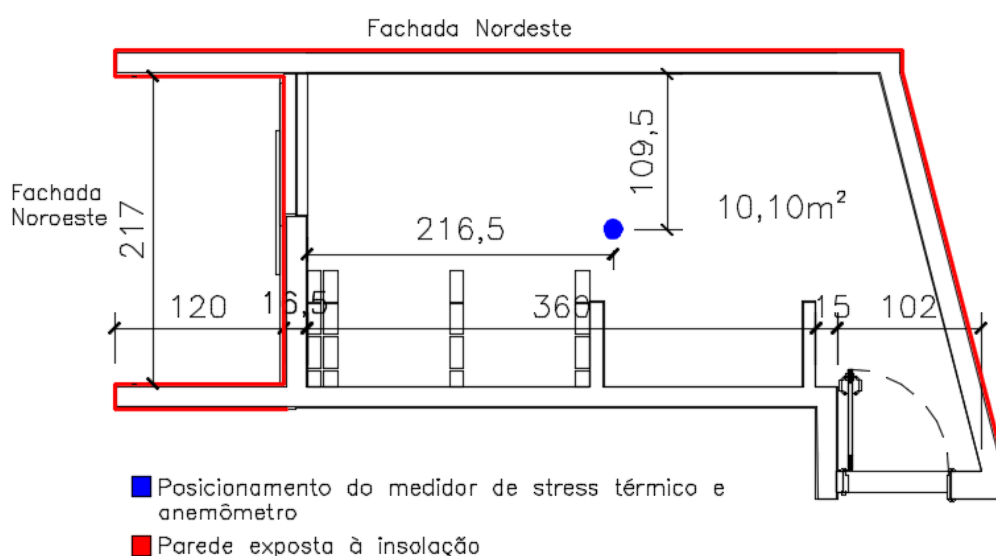


Figura 27: Posicionamento dos equipamentos durante o estudo piloto

O estudo piloto foi realizado em duas seções: o primeiro grupo foi constituído por duas pessoas e o segundo grupo por três pessoas. Foi realizada essa opção para verificar o número ideal de participantes por seção. Após a realização do estudo piloto com a aplicação dos questionários e devido à área do quarto (10,10m²), foi definido que as entrevistas nessa pesquisa serão realizadas com, no máximo, dois participantes por seção.

Durante o experimento, não houve nenhuma interferência da pesquisadora em relação às interações dos sujeitos de pesquisa com o ambiente. Os entrevistados ficaram à vontade no quarto para abrir ou fechar a porta ou janela, assim como para permanecerem em pé ou sentados.

Foi constatada a incidência de radiação solar direta em uma área significativa no interior do quarto (Figura 28). Dessa forma, optou-se por, além do medidor de stress térmico, utilizar um termo-higrômetro protegido por uma barreira radiante

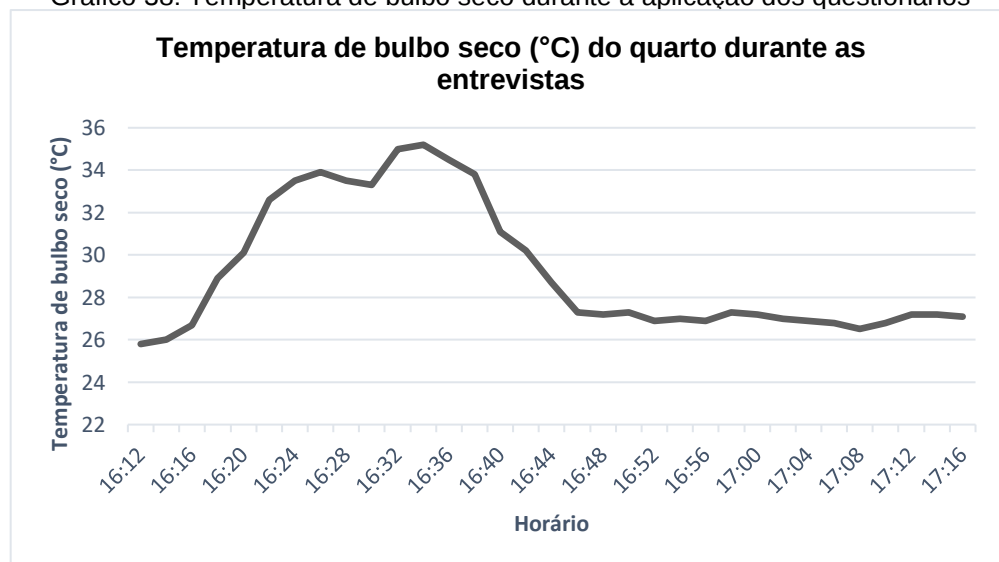
confeccionada por garrafa PET envolvida em papel de alumínio, de maneira a obter a temperatura de conforto para a situação de insolação direta no interior do ambiente.



Figura 28: Incidência de radiação solar direta no interior do ambiente analisado

O Gráfico 38 apresenta os dados coletados para a temperatura de bulbo seco durante a aplicação dos questionários no quarto analisado. Nota-se uma elevada amplitude térmica (9,4 °C) entre o início e o fim das seções, devido à incidência solar direta no sensor do medidor de stress térmico.

Gráfico 38: Temperatura de bulbo seco durante a aplicação dos questionários



Fonte: Autora, 2018

Uma outra alteração definida durante a realização do estudo piloto foi a forma de aplicação do questionário. Inicialmente, os questionários seriam respondidos em

papel e seriam aplicados dois tipos de questionários: um a ser preenchido pelos entrevistados e outro a ser preenchido pela pesquisadora abrangendo dados gerais (sexo, atividade, vestimenta, informações sobre abertura de portas e janelas, entre outros). Optou-se por essa forma de aplicação para o tempo de preenchimento do questionário pelos entrevistados fosse minimizado. Entretanto, após o estudo piloto, foi definida a aplicação de um questionário único por meio da plataforma online *e-Surv* (esurv.org).

APÊNDICE D – Cálculo da absortância mediante a utilização do Espectrômetro Alta II

O Espectrômetro Alta II foi adotado nesta pesquisa para a realização do ensaio de absortância. Esse equipamento é utilizado para a medição de refletância espectral e realiza medições em onze comprimentos de onda, entre 470nm e 940nm, sendo sete deles na região visível e quatro na região do infravermelho próximo (PEREIRA et al., 2016). Como o Alta II é portátil, foi escolhido para ser utilizado nesta pesquisa devido ao fato de poder ser utilizado nas medições em campo.

Estudos realizados por Pereira et al. (2016), demonstraram que o equipamento pode apresentar uma imprecisão considerável, com incerteza de $\pm 0,10$ nos valores absolutos de refletância solar.

Na face inferior do Alta II (Figura 24a) existe uma abertura com 11 LEDs referentes a cada um dos comprimentos de onda, dispostos em círculo e, no centro do mesmo, há um sensor que detecta a quantidade de energia que é refletida. Cada um dos LEDs emite energia correspondente a um comprimento de onda, que pode ser selecionado por meio dos botões localizados na face superior (Figura 24b) do equipamento.



Figura 29: Espectrômetro a) Face inferior do equipamento; b) Face superior do equipamento
Fonte: Autora, 2018

Para realizar as medições, são necessários alguns cuidados para minimizar a imprecisão do equipamento. A superfície a ser ensaiada deve ser plana e deve haver contato total entre ela e a face inferior do Alta II, de modo que a abertura inferior fique completamente coberta. De acordo com estudos realizados por PEREIRA et al. (2016), a luminosidade do ambiente pode influenciar nos resultados

das medições obtidas com o Alta II. Assim, os autores recomendam a utilização de algum tipo de proteção sobre o equipamento de modo a minimizar a incidência de luz.

Os valores de refletância são obtidos a partir de cálculos matemáticos após realizar as leituras na tela do Alta II, fornecidos em milivolts (mV). Para isso, também é necessário realizar a medição em uma amostra de referência, com refletância espectral conhecida, para os onze comprimentos de onda fornecidos pelo equipamento próximo (PEREIRA et al., 2016). Como referência, neste ensaio foi utilizada uma folha de papel branco no formato A4 de 75 g/m², dobrada ao meio (para que a superfície sob ela não influencie o resultado).

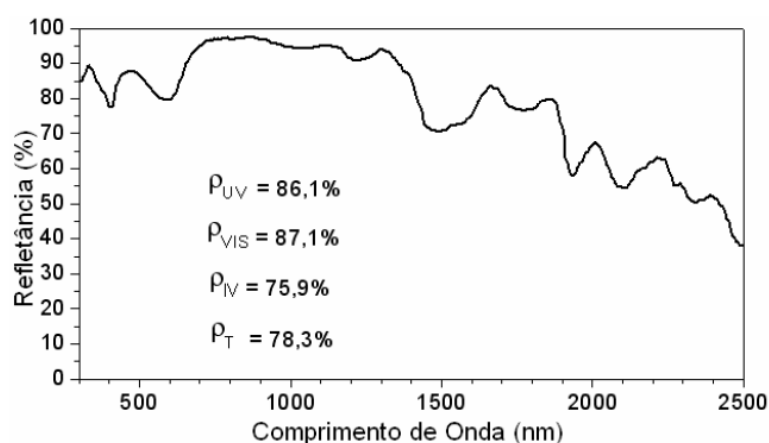


Gráfico 39: Curva de refletância espectral do papel branco Ripax 75 g/m²
Fonte: DORNELLES; RORIZ, 2007

Durante as medições, foram adotados os seguintes cuidados com o intuito de minimizar a imprecisão do ensaio:

- Os botões referentes a cada comprimento de onda foram pressionados de maneira uniforme;
- Aguardou-se a estabilização do valor da voltagem durante a medição das amostras;
- Para eliminar a diferença de altura entre o sensor e a amostra, foi utilizada uma espuma em torno do perímetro da abertura inferior do Alta II. Assim, evitou-se que a radiação emitida pelo equipamento se propagasse para o meio externo ou que a radiação externa infiltrasse pelas bordas do mesmo;
- Foi utilizada uma proteção sobre o equipamento que consistiu em um tecido preto, grosso e opaco (feltro preto), de modo a minimizar a incidência de luz.

Além disso, as bordas do tecido foram fixadas na superfície a ser analisada mediante a utilização de fita crepe.

Procedimentos realizados durante as medições

Para obter a absorvância das amostras ensaiadas, foram adotados os procedimentos abordados em diversas pesquisas (SANTOS; MARINOSKI; LAMBERTS, 2009; DORNELLES; RORIZ, 2007; PEREIRA et al., 2017):

- 1) Inicialmente, o Alta II foi ligado e posicionado sobre a amostra de referência. Então, após ocorrer a estabilização, foi anotada a voltagem de fundo (valor fornecido pelo equipamento sem selecionar nenhum dos botões referentes aos onze comprimentos de onda), seguido pelos valores obtidos para cada um dos onze comprimentos de onda.
- 2) Após obter os resultados para a amostra de referência, foram realizadas as medições para as superfícies referentes à envoltória da edificação. Para estas, mediu-se a voltagem de fundo e as voltagens referentes a cada comprimento de onda três vezes (é utilizada a média para o cálculo da refletância).



Figura 30: Medição da refletância espectral em campo utilizando o Alta II
Fonte: Autora, 2018

- 3) Após a obtenção das voltagens referentes aos onze comprimentos de onda, para cada uma das superfícies, foi calculada a refletância, de acordo com a Equação 9.

$$\rho_{amostra} = \left(\frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referencia} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referencia} \quad (9)$$

Sendo:

$\rho_{amostra}$ = refletância da amostra, para cada comprimento de onda (%);

$V_{amostra}$ = voltagem da amostra (mV);

V_{fundo} = voltagem de fundo (mV);

$V_{referencia}$ = voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{referencia}$ = refletância da amostra de referência, para cada comprimento de onda (%).

Então, os valores de refletância obtidos para cada amostra foram corrigidos conforme a intensidade da radiação solar, para cada comprimento de onda, a partir do espectro solar padrão adotado pela ASTM (2003).

- 4) A partir do espectro solar padrão adotado, é possível obter o valor da irradiação solar padrão refletida para cada amostra, em cada intervalo de comprimento de onda (Equação 10).

$$I_{(\lambda)refle} = I_{(\lambda)} \times \rho_{(\lambda)amostra} \quad (10)$$

Em que:

$I_{(\lambda)refle}$ = irradiação do espectro solar padrão refletida pela amostra, por comprimento de onda ($Wm^{-2}nm^{-1}$);

$I_{(\lambda)}$ = irradiação solar global, por comprimento de onda ($Wm^{-2}nm^{-1}$);

$\rho_{(\lambda)amostra}$ = refletância da amostra, por comprimento de onda (%).

- 5) Então, calcula-se a intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda, de acordo com a Equação 11:

$$IR_{(\lambda_{b-a})refle} = \frac{I_{(\lambda_a)refle} + I_{(\lambda_b)refle} \times \Delta\lambda_{b-a}}{2} \quad (11)$$

Em que:

$IR_{(\lambda_{b-a})refle}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

$I_{(\lambda)refle}$ = irradiação no espectro solar padrão refletida pela amostra, por comprimento de onda ($Wm^{-2}nm^{-1}$);

$\Delta\lambda_{b-a}$ = intervalo de comprimento de onda analisado (nm).

- 6) Calcula-se a intensidade de irradiação solar refletida total para cada amostra:

$$IR_{\text{refle,total}} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} (IR_{(\lambda+1)-\lambda}) \quad (12)$$

Em que:

$IR_{\text{refle,total}}$ = intensidade de irradiação solar global total refletida pela amostra (W/m^2);

$IR_{(\lambda+1)-\lambda}$ = intensidade de irradiação solar global refletida pela amostra, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

- 7) Calcula-se a intensidade total da irradiação no espectro solar padrão, ao longo da faixa espectral de interesse (Equação 13).

$$IR_{(\Delta\lambda)\text{Total}} = \sum_{\lambda=470}^{\lambda=940} \frac{(I_{(\lambda)} + I_{(\lambda+1)})_{\text{Global}} \times (\Delta\lambda_{(\lambda+1)-\lambda})}{2} \quad (13)$$

Sendo:

$IR_{(\Delta\lambda)\text{Total}}$ = intensidade total da irradiação solar padrão, por intervalo de comprimento de onda (W/m^2);

$I_{(\lambda)}$ = irradiação solar global, por comprimento de onda ($Wm^{-2}nm^{-1}$);

$\Delta\lambda$ = intervalo de comprimento de onda (nm).

- 8) Calcula-se a refletância total da amostra e a absortância total da amostra (Equações 14 e 15).

$$\rho_{\text{amostra}} = \frac{IR_{\text{refle,total}}}{IR_{(\Delta\lambda)\text{total}}} \times 100 \quad (14)$$

$$\alpha_{\text{amostra}} = 100 - \rho_{\text{amostra}} \quad (15)$$

Resultados

A Tabela 23 apresenta a média das três leituras coletadas em campo, para cada comprimento de onda, das superfícies ensaiadas.

Tabela 23: Média das medições, em milivolts, das três leituras em cada comprimento de onda, para cada uma das superfícies ensaiadas

Comprimento de onda (nm)	Voltagem da amostra (mV)						
	Referência PAPEL	Parede interna	Teto interno	Piso interno	Brise externo	Parede externa	Cobertura (argamassada)
470	698	516	685	321	316	689	161
525	728	604	775	414	356	769	231
560	666	564	726	408	349	729	240

Comprimento de onda (nm)	Voltagem da amostra (mV)						
	Referência PAPEL	Parede interna	Teto interno	Piso interno	Brise externo	Parede externa	Cobertura (argamassada)
585	595	489	632	356	305	635	212
600	711	583	765	443	377	769	265
645	781	588	787	491	392	785	282
700	782	562	784	536	386	780	279
735	758	544	780	548	386	693	286
810	783	551	799	572	385	806	285
880	769	536	784	567	368	787	277
940	588	400	596	425	276	602	208

Fonte: Autora, 2018

O Gráfico 40 apresenta as curvas de refletância espectral para cada uma das superfícies ensaiadas, considerando energia constante ao longo de todo o espectro avaliado.

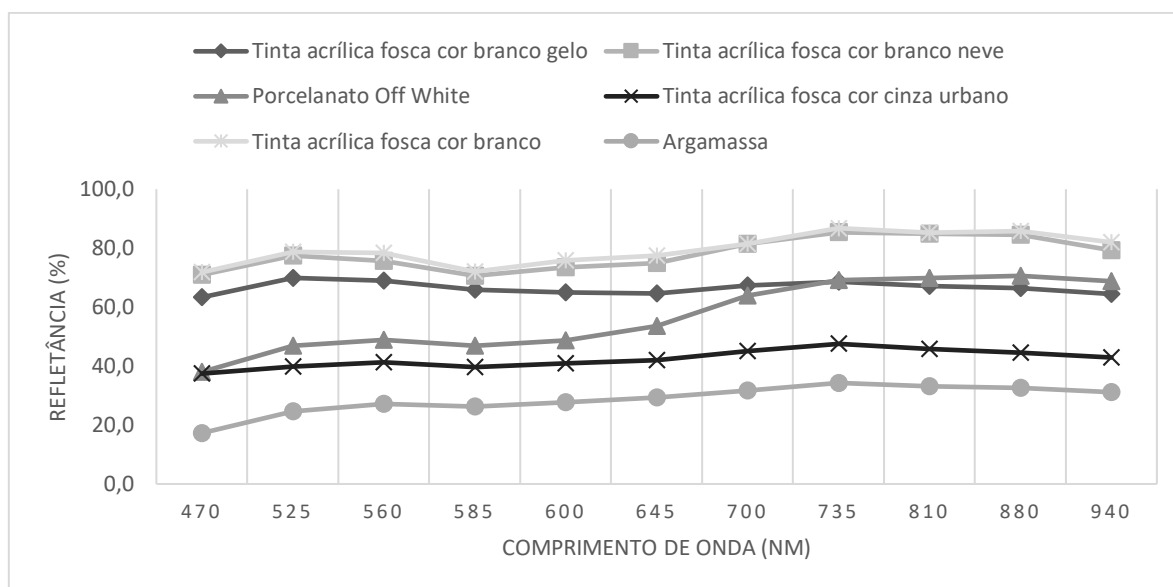


Gráfico 40: Refletância das amostras, para cada comprimento de onda (%)

Fonte: Autora, 2018

Os resultados finais obtidos para a absorvância e a refletância das superfícies ensaiadas em campo estão descritos na

Tabela 24.

Tabela 24: Resultados obtidos para as superfícies ensaiadas em campo

Amostra	Refletância (%)	Absorvância (%)
Tinta acrílica fosca cor branco gelo	66,84	33,16
Tinta acrílica fosca cor branco neve	78,96	21,04
Porcelanato cor Off White	57,68	42,32
Tinta acrílica fosca cor cinza urbano	42,90	57,10
Tinta acrílica fosca cor branco	80,36	19,64
Argamassa	29,15	70,85

Fonte: Autora, 2018

APÊNDICE E: Variáveis ambientais medidas durante a aplicação dos questionários

A Tabela 25 apresenta os valores referentes às variáveis ambientais, coletados durante a aplicação dos questionários, em 22/10/2018.

Tabela 25: Variáveis ambientais coletadas durante a aplicação dos questionários

Hora	Tar, int (°C)	UR (%)	Tg (°C)	Trm (°C)	Tar, ext (°C)	Var (m/s)
09:30	22,50	84,00	22,70	22,75	22,68	< 0,1
09:35	22,60	82,40	22,70	22,72	22,82	< 0,1
09:40	22,70	82,00	22,60	22,58	22,94	< 0,1
09:45	22,60	82,30	23,00	23,12	23,02	< 0,1
09:50	22,60	81,80	22,80	22,85	23,21	< 0,1
09:55	22,70	79,50	22,80	22,82	24,17	< 0,1
10:00	22,50	82,30	22,70	22,75	24,92	< 0,1
10:05	22,40	81,50	22,70	22,79	25,60	< 0,1
10:10	23,00	77,30	23,00	23,00	26,38	< 0,1
10:15	23,10	79,00	23,10	23,10	26,52	< 0,1
10:20	22,80	79,10	23,00	23,05	26,21	< 0,1
10:25	23,20	77,70	23,20	23,20	25,82	< 0,1
10:30	22,80	79,30	23,20	23,32	25,16	< 0,1
10:35	23,30	77,60	23,30	23,30	24,53	< 0,1
10:40	23,20	78,00	23,30	23,32	23,86	< 0,1
10:45	23,10	76,90	23,20	23,22	24,56	< 0,1
10:50	23,20	77,70	23,20	23,20	25,21	< 0,1
10:55	23,20	76,70	23,30	23,32	25,11	< 0,1
11:00	23,20	76,40	23,30	23,32	24,61	< 0,1
11:05	23,20	75,80	23,30	23,32	25,40	< 0,1
11:10	23,40	75,50	23,40	23,40	26,43	< 0,1
11:15	23,90	75,20	23,70	23,65	27,53	< 0,1
11:20	24,00	75,10	23,90	23,88	27,88	< 0,1
11:25	23,80	74,80	23,90	23,92	28,02	< 0,1
11:30	23,60	76,10	23,80	23,85	28,44	< 0,1
11:35	23,80	76,60	23,80	23,80	28,10	< 0,1
11:40	23,80	74,70	23,80	23,80	27,88	< 0,1
11:45	23,60	75,10	23,70	23,72	27,36	< 0,1
11:50	23,90	73,90	23,80	23,78	26,84	< 0,1
11:55	23,80	74,30	23,90	23,92	27,19	< 0,1
12:00	24,10	74,90	24,00	23,98	27,75	< 0,1
12:05	24,50	73,40	24,20	24,12	27,97	< 0,1
12:10	24,20	70,30	24,30	24,32	27,26	< 0,1
12:15	24,70	67,40	24,60	24,58	27,90	< 0,1
12:20	24,80	66,30	24,60	24,55	29,19	< 0,1

Hora	Tar, int (°C)	UR (%)	Tg (°C)	Trm (°C)	Tar, ext (°C)	Var (m/s)
12:25	25,20	65,80	24,70	24,54	29,92	< 0,1
12:30	25,10	66,60	24,80	24,72	30,19	< 0,1
12:35	24,70	68,20	24,80	24,82	29,92	< 0,1
12:40	24,70	65,10	24,80	24,82	29,87	< 0,1
12:45	24,50	68,10	24,70	24,75	29,97	< 0,1
12:50	24,70	66,00	24,90	24,95	29,69	< 0,1
12:55	24,80	67,90	24,80	24,80	30,07	< 0,1
13:00	24,60	66,60	24,60	24,60	30,07	0,1
13:05	24,70	66,50	24,60	24,58	30,39	< 0,1
13:10	25,20	64,20	25,00	24,95	30,85	< 0,1
13:15	24,90	67,50	25,00	25,02	31,46	< 0,1
13:20	25,20	65,90	25,20	25,20	31,69	< 0,1
13:25	25,10	64,50	25,20	25,22	31,84	< 0,1
13:30	25,80	61,30	25,50	25,42	32,18	< 0,1
13:35	24,90	65,50	25,30	25,42	32,36	< 0,1
13:40	26,00	62,60	25,60	25,48	32,23	< 0,1
13:45	25,10	65,10	25,40	25,48	32,07	< 0,1
13:50	25,20	64,80	25,40	25,45	32,46	0,1
13:55	25,20	67,40	25,40	25,45	31,69	< 0,1
14:00	26,20	61,50	25,70	25,54	31,05	< 0,1
14:05	25,40	64,40	25,70	25,78	30,60	< 0,1
14:10	25,60	62,10	25,70	25,72	30,70	< 0,1
14:15	25,60	64,60	25,70	25,72	31,26	< 0,1
14:20	25,90	65,40	26,30	26,42	31,69	< 0,1
14:25	25,60	63,50	26,00	26,12	32,02	< 0,1
14:30	25,70	66,00	26,00	26,08	31,82	< 0,1
14:35	25,50	65,10	25,90	26,02	31,84	< 0,1
14:40	25,70	63,40	26,00	26,08	31,74	0,1
14:45	25,70	63,70	26,20	26,36	31,61	< 0,1
14:50	25,90	62,20	26,20	26,28	32,05	< 0,1
14:55	25,80	62,90	26,20	26,32	32,05	0,1
15:00	25,70	62,20	26,20	26,36	32,20	0,1
15:05	26,10	62,60	26,80	27,04	32,28	< 0,1
15:10	26,30	62,40	26,70	26,82	32,30	< 0,1
15:15	26,00	63,60	26,50	26,66	32,10	< 0,1
15:20	27,40	60,60	26,90	26,74	32,23	< 0,1
15:25	26,20	63,00	26,80	27,00	32,72	0,1
15:30	26,30	62,40	26,80	26,96	32,79	0,1
15:35	26,20	64,80	26,80	27,00	32,87	< 0,1
15:40	26,30	63,10	27,00	27,24	32,74	< 0,1
15:45	26,20	64,20	26,90	27,14	32,72	< 0,1
15:50	26,40	62,10	27,10	27,34	32,90	0,1
15:55	26,20	64,30	26,90	27,14	33,24	< 0,1

Hora	Tar, int (°C)	UR (%)	Tg (°C)	Trm (°C)	Tar, ext (°C)	Var (m/s)
16:00	26,20	62,70	27,00	27,28	33,11	0,1
16:05	26,30	65,80	27,10	27,38	32,15	< 0,1
16:10	26,40	64,80	27,30	27,62	31,87	< 0,1
16:15	26,20	64,10	27,30	27,72	32,20	< 0,1
16:20	26,40	64,80	27,20	27,48	32,20	< 0,1
16:25	26,40	64,00	27,30	27,62	32,02	0,1
16:30	26,60	64,60	27,50	27,82	31,77	0,1
16:35	26,40	64,10	27,70	28,21	31,03	< 0,1
16:40	26,50	66,10	27,50	27,87	29,79	< 0,1
16:45	26,20	63,00	27,20	27,57	29,04	< 0,1
16:50	26,00	68,30	26,40	26,52	28,44	< 0,1
16:55	25,80	68,20	26,30	26,46	28,07	< 0,1
17:00	25,60	69,10	25,90	25,98	28,05	< 0,1
17:05	25,60	67,90	25,70	25,72	27,88	< 0,1
17:10	25,40	67,50	25,60	25,65	27,90	< 0,1
17:15	25,70	67,00	26,00	26,08	27,95	< 0,1
17:20	25,80	67,10	26,40	26,60	27,85	< 0,1
17:25	26,40	66,10	26,70	26,78	27,78	< 0,1
17:30	25,80	67,60	26,60	26,88	27,73	< 0,1
17:35	25,70	70,40	26,20	26,36	27,65	< 0,1
17:40	25,50	69,00	25,80	25,88	27,55	< 0,1
17:45	25,40	68,10	25,60	25,65	27,46	< 0,1
17:50	25,30	68,20	25,50	25,55	27,24	< 0,1
17:55	25,20	69,90	25,40	25,45	27,06	< 0,1
18:00	25,20	69,20	25,30	25,32	26,92	< 0,1
18:05	25,20	69,90	25,20	25,20	26,74	< 0,1
18:10	25,10	70,10	25,20	25,22	26,60	< 0,1
18:15	25,00	72,00	25,10	25,12	26,43	< 0,1
18:20	25,20	73,50	25,10	25,08	26,28	< 0,1
18:25	25,40	74,90	25,30	25,28	26,13	< 0,1
18:30	25,40	76,30	25,40	25,40	26,04	< 0,1

APÊNDICE F: Variáveis pessoais coletadas durante a aplicação dos questionários

A Tabela 26 apresenta as variáveis pessoais coletadas mediante a aplicação dos questionários, no dia 22/10/2018.

Tabela 26: Variáveis pessoais coletadas durante a aplicação dos questionários

Nº	Sexo	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Vestimenta (clo)	Metabolismo (met)	Etnia	Naturalidad e	Há quanto tempo reside em Belo Horizonte?
1	Masculino	21	177	59	0,7	1	Negro	Barbacena	Mais de um ano
2	Feminino	21	166	50	0,7	1	Branco	Carmo da Mata	Mais de um ano
3	Feminino	27	168	60	0,5	1,6	Pardo	Belo Horizonte	Mais de um ano
4	Feminino	20	170	65	0,5	1	Branco	Itajubá	Mais de um ano
5	Feminino	21	183	79	0,5	1	Pardo	Ubatuba	Mais de um ano
6	Feminino	20	165	57	0,6	1	Branco	Diamantina	Mais de um ano
7	Masculino	21	1.75	73	0,4	1	Branco	Piranga	Mais de um ano
8	Masculino	21	185	82	0,4	1	Pardo	Cláudio	Mais de um ano
9	Feminino	27	168	60	0,5	1	Pardo	Conselheiro Lafaiete	Mais de um ano
10	Feminino	20	167	52	0,5	1	Branco	Martinho Campos	Mais de um ano
11	Feminino	21	165	59	0,5	1	Branco	Januária	Mais de um ano
12	Feminino	21	166	50	0,5	1	Branco	Curvelo	Mais de um ano
13	Masculino	22	168	87	0,5	1	Branco	Uberlândia	Mais de um ano
14	Feminino	25	166	62	0,5	1	Branco	Divinópolis	Mais de um ano
15	Feminino	25	169	59	0,5	1	Branco	Formiga	Mais de um ano
16	Feminino	24	167	63	0,6	1	Branco	Governador Valadares	Mais de um ano
17	Masculino	23	172	68	0,5	1	Branco	Juiz de Fora	Mais de um ano
18	Feminino	21	165	55	0,5	1	Branco	Oliveira	Mais de um ano
19	Masculino	20	178	75	0,5	1,4	Pardo	Ipatinga	Mais de um ano
20	Feminino	20	164	51	0,6	1,4	Pardo	João Monlevade	Mais de um ano
21	Feminino	22	170	68	0,5	1	Branco	Itapecerica	Mais de um ano
22	Feminino	19	164	58	0,6	1	Branco	Barão de cocais	Mais de um ano
23	Feminino	25	163	113	0,5	1	Negro	Divinópolis	Mais de um ano
24	Feminino	27	165	65	0,5	1	Branco	Pará de Minas	Mais de um ano

Nº	Sexo	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Vestimenta (clo)	Metabolismo (met)	Etnia	Naturalidade	Há quanto tempo reside em Belo Horizonte?
25	Masculino	21	179	78	0,5	1	Branco	São José dos Campos	Mais de um ano
26	Feminino	20	164	52	0,5	1,4	Branco	Pará de Minas	Mais de um ano
27	Masculino	22	169	64	0,5	1	Branco	São Paulo	Mais de um ano
28	Masculino	29	175	78	0,4	1	Branco	Oliveira	Mais de um ano
29	Feminino	23	169	63	0,5	1	Pardo	Barão de cocais	Mais de um ano
30	Feminino	28	174	96	0,4	1	Pardo	Lagoa da prata	Mais de um ano
31	Feminino	21	162	75	0,5	1	Branco	Bom despacho	Mais de um ano
32	Feminino	26	165	55	0,5	1	Branco	Volta Redonda	Mais de um ano
33	Feminino	23	160	49	0,5	1,2	Branco	Itapecerica	Mais de seis meses e menos de um ano
34	Feminino	21	169	63	0,5	1	Pardo	Nova Serrana	Mais de um ano
35	Masculino	25	189	87	0,4	1	Branco	Itabirito	Mais de um ano
36	Masculino	24	178	97	0,3	1,2	Branco	Ribeirão Preto	Mais de um ano
37	Masculino	21	178	97	0,3	1,2	Branco	Formiga	Mais de um ano
38	Feminino	21	166	54	0,5	1	Branco	Pompéu	Mais de um ano

APÊNDICE G: Temperatura neutra mensal para Belo Horizonte

Por meio dos dados referentes às temperaturas médias mensais para Belo Horizonte, extraídos das Normais Climatológicas de 1981-2010 (BRASIL, 2018b), foi possível obter a temperatura neutra mensal para Belo Horizonte. A temperatura neutra foi obtida por meio da Equação 4, apresentada neste trabalho.

A Tabela 27 sumariza os resultados obtidos para os limites da temperatura neutra em Belo Horizonte.

Tabela 27: Limites para a temperatura neutra obtidos para Belo Horizonte, de acordo com as Normais Climatológicas (1981-2010)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média compensada anual (°C)	23,40	23,80	23,40	22,50	20,50	19,30	19,10	20,30	21,60	22,60	22,70	22,90
Temperatura neutra (°C)	25,05	25,18	25,05	24,78	24,16	23,78	23,72	24,09	24,50	24,81	24,84	24,90
Limite inferior (°C)	21,55	21,68	21,55	21,28	20,66	20,28	20,22	20,59	21,00	21,31	21,34	21,40
Limite superior (°C)	28,55	28,68	28,55	28,28	27,66	27,28	27,22	27,59	28,00	28,31	28,34	28,40

Fonte: Autora, 2018