

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

JÉSSICA DE MELLO MACHADO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
MULTIFAMILIARES CONSIDERANDO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
FUTURAS**

VITÓRIA
2019

JÉSSICA DE MELLO MACHADO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
MULTIFAMILIARES CONSIDERANDO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
FUTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Edna Aparecida Nico Rodrigues

VITÓRIA

2019

JÉSSICA DE MELLO MACHADO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
MULTIFAMILIARES CONSIDERANDO O IMPACTO DAS MUDANÇAS
PROJETADAS PARA O CLIMA FUTURO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 14 de maio de 2019 por:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Edna Aparecida Nico Rodrigues

Doutora em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Cristina Engel de Alvarez

Doutora em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro interno

Prof^a. Dr^a. Luciana Aparecida Netto de Jesus

Doutora em Engenharia Civil
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro externo

Aos meus pais e ao Léo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar meus passos e dar-me força e sabedoria, para que mais um sonho pudesse ser concretizado.

À professora orientadora Dr.^a Edna Aparecida Nico Rodrigues, pelas valiosas orientações, disponibilidade, dedicação, motivação e gentil condução à pesquisa, fundamentais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À professora Dr.^a Cristina Engel de Alvarez, por seu voto de confiança em mim depositado, pelo suporte com o tema da pesquisa colocando-se sempre à disposição, e por todo conhecimento compartilhado com afeição.

À professora Dr.^a Luciana Aparecida Netto de Jesus, pela disponibilidade e gentil solicitude em participar da avaliação, dedicando atenção e valiosas contribuições para o progresso da pesquisa.

Aos amigos do mestrado, por compartilharem conhecimento e por tonarem as ocasiões rotineiras mais aprazíveis, especialmente à Bruna, pelo auxílio perseverante e atencioso, prontamente disponível, sobretudo pela amizade. À Nayara e ao Anderson por se colocarem voluntariamente solícitos para o que fosse necessário.

A todos os amigos do Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), pelos encontros, conversas, cafés e aprendizado, em especial à Ábila e Juliana pela disposição em ajudar.

Aos meus pais Elísia e Valdeir, pelo apoio incondicional e amor imensurável, que mesmo de longe sempre intercederam por mim. Ao Léo, por todo incentivo, companheirismo, paciência e cuidado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

A todos aqueles que torceram pela minha conquista, e que de alguma forma contribuíram para a evolução deste trabalho e para minha própria, meus sinceros agradecimentos!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem constatado alterações nos padrões climáticos, evidenciando uma tendência de aquecimento a longo prazo na temperatura média global, que constituirão grandes impactos ambientais sobre as condições de vida no planeta. O comportamento térmico e conseqüentemente o consumo energético das edificações, serão fortemente afetados. Assim, tanto as edificações existentes quanto as novas precisarão sofrer adaptações. As estratégias projetuais passivas, constituem-se como soluções valiosas para melhorar o desempenho das edificações em prol da eficiência energética. O principal objetivo, foi avaliar o desempenho térmico de um edifício residencial multifamiliar naturalmente ventilado, localizado em diferentes contextos de clima brasileiros, considerando estratégias passivas para mitigação do impacto das mudanças climáticas. A metodologia adotada dividiu-se em três etapas principais. Inicialmente, foi utilizada a ferramenta computacional *Climate Change World Weather File Generator* para a geração dos arquivos climáticos futuros, referentes aos anos de 2020, 2050 e 2080, tomando como base o cenário A2 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, para as cidades de Manaus, Brasília, Porto Alegre e Vitória. Como objeto de estudo para a investigação, foi considerada uma tipologia residencial multifamiliar hipotética, representativa para os edifícios construídos no Brasil. A partir desse modelo, foram propostas medidas de adaptação passivas embasadas pela NBR 15220-3:2008. Foram realizadas simulações térmicas para os modelos paramétricos por meio do *software DesignBuilder*. A avaliação do desempenho foi efetuada por meio dos índices de frequência e graus horas de desconforto térmico. Os resultados demonstraram níveis de desconforto térmico para os dois modelos. A proposta de retrofit permitiu melhoras significativas para todas as cidades, no entanto, ainda resultou em desconforto térmico. Assim, verificou-se que a adoção de estratégias bioclimáticas adequadas pode contribuir para a melhoria do conforto no ambiente interno, entretanto, quando consideradas as mudanças climáticas para o período futuro, são necessárias outras formas de adaptação, sejam elas na edificação ou nas propostas normativas, que obrigatoriamente constituam edificações mais eficientes, reforçando a ideia de que toda edificação deve ser projetada para o futuro e não para o passado.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Eficiência energética. Mudanças climáticas. *Retrofit*.

ABSTRACT

In the late decades, the scientific community have noticed changes in the climate patterns, indicating a warming trend on the average global temperature, in the long run. This warming trend which will lead to great environmental impacts over the life conditions on the planet. The thermal behavior and consequently the energetic consumption by buildings will be severely affected. Therefore, the existing construction as far as the new ones will require adjustment. The passive design strategies are valuable solutions to increase building performance in favor of the energy efficiency. The main goal was evaluating the thermal performance of multifamily residency building naturally ventilated, placed in different Brazilian climate contexts, considering passive strategies to mitigate the impact of climate change. The adopted methodology was segmented in three major steps. Initially it was selected the computational tool Climate Change World Weather File Generator in order to create future climate files, relative to years of 2020, 2050, and 2080 . These years were selected using as basis the A2 scenery from Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, established for the cities of Manaus, Brasília, Porto Alegre e Vitória. To validate the evaluation, a hypothetical multifamily residential typology was considered, designed as representative buildings built in Brazil. From the hypothetical model, measurements were proposed for passive adaptation based on the Brazilian norm NBR 15220:3-2008. Thermal simulations were ran using the two parametric models assembled in the software DesignBuilder. The performance evaluation was done through indexes of frequency and hours-grade of thermal discomfort and the results have shown levels of thermal discomfort for the two models simulated. The retrofit proposal revealed significant improvements for all the cities, yet with thermal discomfort. Therefore, it was found that the adoption of suitable bioclimatic strategies can contribute for comfort improvements into internal space. However, when the climate changes for the future period are considered, other ways of readjustment will be necessary, either for the building or for normative proposals, emphasizing the idea that every building should be designed for the future, not for the past.

Palavras-chave: Thermal performance. Energy efficiency. Climate changes. Retrofit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da rede cartesiana dos modelos climáticos de circulação geral.....	24
Figura 2: Diagrama dos cenários de emissões (SRES) disponibilizados pelo AR4.	25
Figura 3: Diagrama dos cenários de emissões (RCP's) disponibilizados pelo AR5.....	26
Figura 4: Mudanças projetadas para o padrão de temperatura média da superfície terrestre e dos oceanos, na precipitação média e na elevação média do nível do mar.	27
Figura 5: Intervalos de aceitabilidade de temperatura operativa para espaços naturalmente ventilados.	33
Figura 6: Zoneamento bioclimático brasileiro.	35
Figura 7: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia em edificações.....	36
Figura 8: Classificação climática de Koppen-Geiger para o Brasil.	46
Figura 9: Projeções de anomalias de temperatura para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em relação ao período base 1961-90, para a América do Sul no cenário A2, pelo modelo HadCM3 para os períodos de 2020, 2050 e 2080.	47
Figura 10: Cidades selecionadas para investigação.	48
Figura 11: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Manaus com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.....	51
Figura 12: Frequência de ocorrência, direção e velocidade dos ventos, para a cidade de Manaus.....	51
Figura 13: Carta Solar da cidade de Manaus.....	52
Figura 14: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Brasília com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.....	53
Figura 15: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Brasília.	54
Figura 16: Carta solar da cidade de Brasília.	55
Figura 17: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Porto Alegre com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.	56
Figura 18: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Porto Alegre.....	57
Figura 19: Carta solar da cidade de Porto Alegre.	58
Figura 20: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Vitória com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.	59
Figura 21: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Vitória.....	60
Figura 22: Carta solar da cidade de Vitória.	61
Figura 23: Interface da ferramenta CCWorldWeatherGen.	62
Figura 24: Modelo de edificação multifamiliar (volumetria e planta baixa).....	64
Figura 25: Modelo representativo de janela.	66
Figura 26: Materiais de vedação selecionados para simulação.	66
Figura 27: Dimensões para as janelas propostas.	69
Figura 28: Modelo de janela com venezianas.	70
Figura 29: Sistema de fachada ventilada.	70
Figura 30: Metodologia para modelagem, simulação e análise de um projeto no software DesignBuilder.	72
Figura 31: Posicionamento do ambiente simulado em relação às aberturas.	73
Figura 32: Exemplo da obtenção dos limites de temperatura de conforto, de acordo com os índices de aceitabilidade dos usuários demonstrados na ASHRAE 55.	78

Figura 33: Demonstrativo da obtenção do FDT diário.....	79
Figura 34: Demonstrativo da obtenção do GhDT diário.	80
Figura 35: Diagrama de fluabilidade dos indicadores FDT e GhDT.....	81
Figura 36: Modelo de Referência (a) e Modelo Proposto (b) para a edificação em análise.	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperaturas máximas mensais de conforto para o calor para cada cidade no período atual, baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55.....	83
Gráfico 2: Temperaturas médias mensais de conforto para a cidade de Porto Alegre.	83
Gráfico 3: Somatório anual dos valores de GhDT (°C.h/dia) obtidos para cada material de vedação nas cidades analisadas.	85
Gráfico 4: Porcentagem de aumento relativo no GhDT (°C.h/dia) com sistema de bloco cerâmico para os períodos futuros.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese de informações sobre os relatórios publicados pelo IPCC.....	23
Quadro 2: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima das cidades de Manaus e Vitória.....	67
Quadro 3: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima da cidade de Brasília.....	67
Quadro 4: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima da cidade de Porto Alegre.....	68
Quadro 5: Síntese dos resultados das simulações com o melhor e o pior desempenho. ...	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões mínimas exigidas pelos Códigos de Edificações para cada cidade estudada.....	65
Tabela 2: Parâmetros de ocupação, características e ganhos térmicos dos equipamentos.....	74
Tabela 3: Propriedades térmicas dos componentes das paredes internas e externas com bloco de concreto.....	74
Tabela 4: Propriedades térmicas dos componentes das paredes internas e externas com bloco cerâmico.....	75
Tabela 5: Propriedades térmicas das lajes e coberturas.....	75
Tabela 6: Características das aberturas, operacionalização e propriedades térmicas dos materiais que compõem as esquadrias.....	76
Tabela 7: Características das aberturas propostas, operacionalização e propriedades térmicas dos materiais que compõem as esquadrias.....	77
Tabela 8: Características dos materiais componentes da fachada ventilada.....	77
Tabela 9: Diagramas de fluutuabilidade do MR para a Primavera na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	89
Tabela 10: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	90
Tabela 11: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	92
Tabela 12: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	93
Tabela 13: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	94
Tabela 14: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	95
Tabela 15: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	96
Tabela 16: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.....	97
Tabela 17: Diagramas de fluutuabilidade do MR para a Primavera na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	99
Tabela 18: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	100
Tabela 19: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	102
Tabela 20: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	103
Tabela 21: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	104
Tabela 22: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	105
Tabela 23: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	106
Tabela 24: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.....	107
Tabela 25: Diagramas de fluutuabilidade do MR para a Primavera na cidade de porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	108

Tabela 26: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	110
Tabela 27: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	111
Tabela 28: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	112
Tabela 29: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	114
Tabela 30: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	115
Tabela 31: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	116
Tabela 32: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.....	117
Tabela 33: Diagramas de fluutuabilidade do MR para a Primavera na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.....	119
Tabela 34: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	120
Tabela 35: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	122
Tabela 36: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	123
Tabela 37: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	125
Tabela 38: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	126
Tabela 39: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	127
Tabela 40: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.	128
Tabela 41: Maiores valores de GhDT para os modelos avaliados.....	133
Tabela 42: Comparativo entre os diagramas de fluutuabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Manaus.	134
Tabela 43: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Manaus.	135
Tabela 44: Comparativo entre os diagramas de fluutuabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Brasília.	137
Tabela 45: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Brasília.	138
Tabela 46: Comparativo entre os diagramas de fluutuabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Porto Alegre.	139
Tabela 47: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Porto Alegre.	140
Tabela 48: Comparativo entre os diagramas de fluutuabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Vitória.....	142
Tabela 49: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Vitória.....	143

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	<i>Assessment Reports</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EPW	<i>EnergyPlus Weather</i>
HadCM3	<i>Hadley Centre Coupled Model version 3</i>
IAG-USP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMET	Instituto de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LAT	Latitude
MCG	Modelo de Circulação Geral
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Modelo Proposto
MR	Modelo de Referência
NBR	Norma Brasileira
NE	Nordeste
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i>
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais
SRES	<i>Special Report Emission Scenarios</i>
TAS	<i>Thermal Analysis Software</i>
TMY	<i>Test Meteorological Year</i>
TRY	<i>Test Reference Year</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
ZB	Zona bioclimática

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	21
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	31
2.3 ADAPTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	40
3. METODOLOGIA.....	45
3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES E CONFIGURAÇÃO DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS FUTUROS.....	45
3.1.1 Critérios para a seleção de cidades	45
3.1.2 Características climáticas das cidades.....	50
3.1.3 Ferramenta para conversão dos arquivos climáticos.....	62
3.2 SIMULAÇÕES TÉRMICAS E CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS	63
3.2.1 Caracterização do objeto de estudo.....	64
3.2.2 Proposta de adaptação à edificação	67
3.2.3 Seleção do software de simulação	71
3.2.4 Configuração dos parâmetros de simulação.....	72
3.3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	77
4. RESULTADOS	82
4.1 DEFINIÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO.....	82
4.2 SIMULAÇÕES.....	87
4.2.1 Modelo de referência	88
4.2.2 Comparativo entre o modelo de referência e o modelo proposto	132
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	146
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	147
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
APÊNDICE A	157
APÊNDICE B	159

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, as mudanças climáticas configuraram-se como uma ameaça à biodiversidade, ecossistemas e à vida humana, e como um desafio substancial a ser enfrentado pelas gerações atuais e futuras (FARAH *et al.*, 2019). A preocupação acerca das ações antrópicas exploratórias tem sido amplamente discutida, com o intuito de expor as consequências devastadoras das atividades humanas sobre o meio ambiente, bem como sua contribuição para as mudanças climáticas do planeta (INVIDIATA, 2017).

Nesse contexto, muitos países firmaram acordos com a intenção de mitigar as emissões de gases de efeito estufa, e conseqüentemente, de impedir o aumento da temperatura global e seus efeitos (UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE, 2019). No entanto, apesar deste esforço, as previsões relatam que a temperatura da Terra continuará a aumentar ainda por muitas décadas, o que implica na necessidade de adaptações dos seres humanos às novas condições do clima (FARAH *et al.*, 2019).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) é o órgão mais importante dedicado a esse fenômeno, e tem como missão, estruturar a situação atual dos conhecimentos científicos que dizem respeito aos impactos ocasionados pelas alterações climáticas. Em seu último relatório publicado, o AR5 (*Fifth Assessment Report*), verifica-se que a previsão relacionada ao aquecimento da superfície terrestre foi agravada, sendo constatadas altas probabilidades de que este fenômeno esteja sendo provocado pelas ações antrópicas. O documento alertou ainda, para os possíveis desastres ambientais que poderão ocorrer, caso não sejam tomadas medidas preventivas o mais prontamente possível (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

O prognóstico do relatório para o consumo energético mundial é de que haverá um aumento de um terço em relação ao atual, proveniente em grande parte, de fontes não renováveis de energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018). Como fator colaborador para este cenário catastrófico, está o setor da construção civil, responsável pelo consumo de 40 a 75% dos recursos naturais existentes no Brasil. Mundialmente as edificações respondem por 40% do consumo global de energia e por até 30% das emissões de gases de efeito estufa, desde sua construção até a demolição (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2012),

destacando-se como uma indústria responsável por grandes impactos ambientais, dada a necessidade de consumo de recursos e dos altos índices de emissões para a realização de suas atividades.

No Brasil, as edificações são responsáveis pelo consumo de uma parcela significativa de energia elétrica, podendo atingir até 50,8% do total da eletricidade consumida em todo o país, levando-se em consideração os edifícios comerciais, residenciais, públicos e de serviços (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018). Os altos índices de consumo no setor, explicam-se em parte, pela ineficiência de muitos edifícios, em não corresponder às condições climáticas atuais do local em que estão inseridas, assim como, tendem a não corresponder às mudanças do clima futuro.

Diante desses aspectos, tem se tornado cada vez mais comum o uso de sistemas de climatização artificial para melhoria nos níveis de conforto, contribuindo também para o aumento do consumo de eletricidade (MONTES, 2016). Dessa forma, o alcance de índices adequados de conforto através da adoção das denominadas “estratégias bioclimáticas”, principalmente no que diz respeito ao aspecto térmico, contribui significativamente para a redução do consumo de energia e, conseqüentemente, para a redução das emissões de gases de efeito estufa, configurando-se como uma importante medida em prol da eficiência energética nas edificações.

Buscando alcançar edificações energeticamente mais eficientes, a utilização de estratégias bioclimáticas, eletrodomésticos e eletroeletrônicos com selos energéticos, instalação de fontes alternativas de energia, métodos de refrigeração mais avançados para edifícios, bem como adequações no comportamento do usuário, podem contribuir para esta finalidade e, ao mesmo tempo, garantir um melhor conforto no ambiente interno (MARDOOKHY *et al.*, 2014; SANTAMOURIS; KOLOKOTSA, 2013). Estas técnicas configuram-se ainda como estratégias de mitigação e adaptação aos cenários futuros de mudanças climáticas, evidenciando a importância de projetar os edifícios atuais considerando as alterações previstas para o clima futuro (SANTAMOURIS; KOLOKOTSA, 2013).

Em virtude desses aspectos, as edificações se apresentam como peças chave para um futuro potencial de eficiência energética e baixa emissão de carbono, e um desafio global para a integração com o desenvolvimento sustentável (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Tendo em vista que a edificação oferece uma interface entre o ambiente interno e externo, sujeito às mudanças climáticas, é necessário que o interior apresente condições tais, que ofereçam conforto e segurança aos usuários, sendo assim, este trabalho justifica-se por prospectar sobre o comportamento térmico dos edifícios residenciais multifamiliares quanto à inserção de estratégias passivas para a adaptação das edificações ao clima futuro.

1.1 Objetivos geral e específicos

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho térmico de um modelo de edifício residencial multifamiliar naturalmente ventilado, localizado em diferentes contextos de clima brasileiros, considerando estratégias construtivas para mitigação do impacto das mudanças projetadas para o clima futuro.

Visando alcançar os resultados esperados, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Definir o modelo representativo de edificação, caracterizar o local onde se insere e investigar a influência de variáveis arquitetônicas no desempenho térmico considerando os períodos do presente, 2020, 2050 e 2080;
- Selecionar o *software* de conversão de arquivos climáticos e de simulação de desempenho térmico adequado aos objetivos e à metodologia adotada; e
- Avaliar e classificar comparativamente os níveis de desconforto térmico do edifício para os modelos paramétricos estabelecidos nos períodos atual e futuros.

2.1 Estrutura da dissertação

Além desta **Introdução**, que apresenta a contextualização do tema, a colocação do problema e as justificativas para a pesquisa, a dissertação segue apresentada de acordo com os seguintes capítulos:

O **Capítulo 2** apresenta a base teórica a respeito dos principais assuntos que embasam este trabalho. Inicia com uma visão geral sobre o estudo das mudanças climáticas e suas implicações sobre as cidades e edifícios do Brasil e, posteriormente,

são discutidos os conceitos relacionados à eficiência energética, abrangendo o conforto e o desempenho térmico de edificações, assim como as normativas regulamentadoras vigentes, bem como a adoção de medidas mitigadoras para a adaptação das edificações aos efeitos das mudanças climáticas.

O **Capítulo 3** contempla a descrição dos procedimentos metodológicos adotados para a obtenção dos resultados, enfatizando os processos para preparação de arquivos climáticos, as estratégias projetuais adotadas para a adaptação das edificações às mudanças no clima e o processo de simulação termoenergética das edificações;

O **Capítulo 4** expõe as análises dos resultados obtidos a partir das simulações computacionais, de maneira a comparar o desempenho térmico da edificação para os cenários climáticos atual e futuros; e

O **Capítulo 5** contém as considerações finais sobre a pesquisa, abrangendo as principais conclusões sobre o estudo, tendo em vista o referencial teórico e os resultados alcançados, avaliando-se os objetivos alcançados, além de serem levantadas as limitações da pesquisa e possibilidades de continuação do estudo para trabalhos futuros.

Nas **Referências Bibliográficas** foram descritos os títulos consultados para a elaboração da dissertação, seguido pelos **Apêndices**.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a base conceitual da dissertação, desenvolvido a partir de três focos de abordagem. O primeiro apresenta um panorama sobre as mudanças climáticas, bem como os estudos relacionados ao tema. O segundo apresenta o contexto de eficiência energética nas edificações, apontando as normativas e regulamentos vigentes como premissa para a elaboração de projetos condizentes com a realidade climática local, ressaltando ainda a utilização de ferramentas de simulação computacional como forma de predição para a influência de estratégias projetuais que podem favorecer o desempenho da edificação. O terceiro destaca os impactos das mudanças climáticas sobre o desempenho térmico das edificações, e que medidas podem ser tomadas para mitigar os efeitos dessas mudanças.

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

No decorrer das últimas décadas, a comunidade científica tem constatado alterações nos padrões climáticos, evidenciando uma tendência de aquecimento de longo prazo na temperatura média global da superfície, causada supostamente pelo aumento contínuo da emissão de gases de efeito estufa antropogênicos na atmosfera, resultado do modelo humano de ocupação do planeta, determinado pelo rápido crescimento econômico e populacional (KOČÍ, *et al.*, 2019).

À medida que a temperatura média do globo continua a subir, diversas consequências provenientes das mudanças no clima tornam-se evidentes, como o aquecimento das águas dos oceanos, provocando a morte de espécies animais e vegetais; o aumento da temperatura média global, impactando no derretimento das calotas polares e, conseqüentemente na elevação do nível do mar; além da intensificação de eventos extremos de chuvas, secas e ondas de calor (MARENGO, 2007). De acordo com Alvarez e Bragança (2018), essas implicações podem acarretar ainda “efeitos secundários”, principalmente nas cidades, como a proliferação de doenças; o aumento do número de focos de incêndios nos períodos de seca; redução da disponibilidade de água; deslizamentos de terra e inundações, mortalidade de populações fisicamente mais vulneráveis, como idosos e crianças, entre outros.

A nível global, o relatório publicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) no ano de 2018, afirmou que o ano de 2016 foi o mais quente já registrado na história do planeta, apresentando um aumento de 1,1° C acima dos níveis pré-industriais (1850-1900). Na sequência, os anos de 2017 e 2015 foram efetivamente indistinguíveis como sendo o segundo e o terceiro anos mais quentes do planeta (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2018) e, de acordo com o último relatório divulgado pela OMM sobre o estado do clima global, o ano de 2018 foi considerado o quarto ano mais quente já registrado, indicando as quatro últimas décadas mais quentes desde 1850 (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2019). Se as emissões de gases de efeito estufa continuarem seguindo os padrões atuais, a estimativa é de que a temperatura média do ar aumente em até 4,8°C até o período de 2100 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Diante de tais indicativos, as mudanças climáticas se apresentam como um desafio substancial a ser enfrentado pela sociedade, uma vez que a temperatura global deve continuar a aumentar, indicando que apesar dos atuais esforços para combater as mudanças no clima, os seres humanos terão que encontrar meios de se adaptar a elas (FARAH *et al.*, 2019). Nesse sentido, Kočí e outros (2019) destacam o aumento de pesquisas com enfoque na investigação desse fenômeno, de forma a apresentar novas tecnologias e discutir estratégias e prioridades futuras em relação a um cenário de aquecimento global.

A principal organização mundial dedicada à ciência relacionada às mudanças climáticas é o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela OMM, com intuito de fornecer avaliações regulares de bases científicas relevantes para a compreensão dos riscos sobre as mudanças percebidas no clima, seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos, riscos futuros e alternativas de adaptação e mitigação por meio da compilação e avaliação das informações científicas disponíveis sobre o assunto (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Desde sua fundação, o IPCC já elaborou uma série de relatórios técnicos publicados periodicamente, que se tornaram referências amplamente utilizadas como base para diversas pesquisas, denominados *Assessment Reports* (AR), tendo suas principais características apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Síntese de informações sobre os relatórios publicados pelo IPCC.

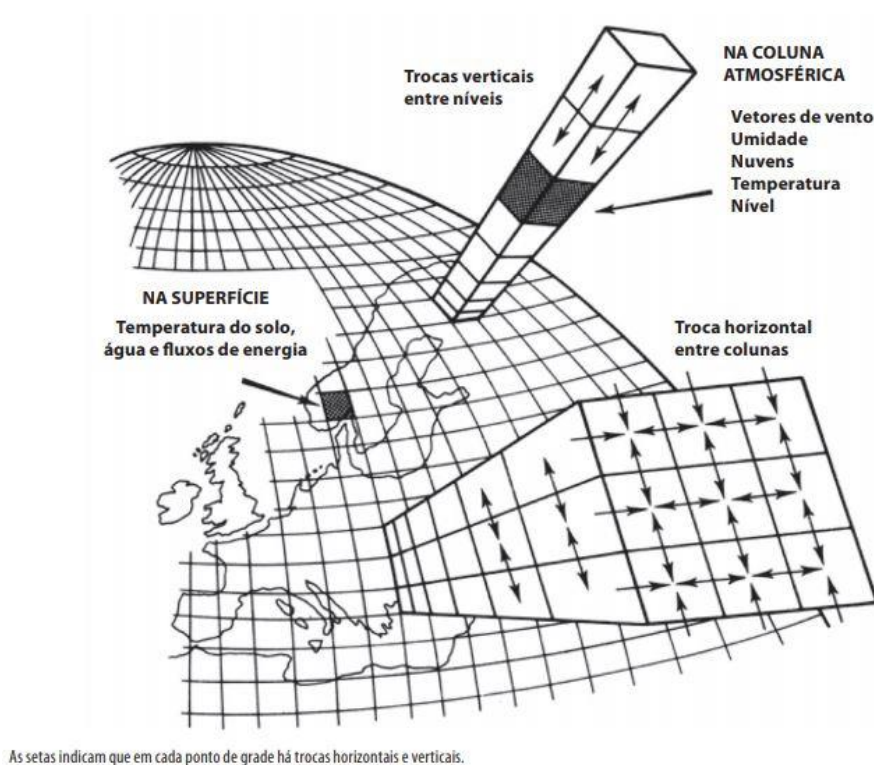
Relatório	Ano	Descrição	Fonte
AR1	1990	Apontou que a crescente acumulação de gases antropogênicos na atmosfera resultaria em um aquecimento adicional da superfície terrestre, de cerca de 0,3°C por década até o final do século XXI, no entanto ainda com alto grau de incertezas.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1990)
AR2	1995	Concluiu que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera continuaram em ascensão. Apresentou-se de forma muito relevante no contexto mundial, servindo de fomento para conferências internacionais e como um instrumento ponderoso para a proposição do Protocolo de Kyoto.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1995)
AR3	2001	Reforçou os resultados dos relatórios anteriores e destacaram um aumento no grau de confiança dos modelos em projetar cenários futuros, evidenciando as atividades antrópicas como a causadora do aquecimento terrestre, podendo atingir até 5,8°C no período de 1900 a 2100.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001)
AR4	2007	Evidenciou que as ações antrópicas influenciam significativamente no aumento das emissões e concentrações de gases de efeito estufa, na atmosfera, contribuindo para as alterações climáticas do planeta; Apontou um aumento médio das temperaturas globais variando de 1,8°C a 4,0°C até 2100, no entanto, se o crescimento econômico e populacional continuarem em rápida ascensão, bem como o intenso consumo de combustíveis fósseis, pode-se considerar um aumento de até 6,4°C; Enfaticou que o desenvolvimento sustentável pode contribuir para a redução da vulnerabilidade às mudanças climáticas, aumentando a resiliência e a capacidade de adaptação.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007)
AR5	2014	Afirmou, com alto grau de confiança, que a emissão antropogênica de gases de efeito estufa apresentaram crescimento desde a era pré-industrial, determinadas principalmente pelo progresso econômico e populacional, afirmando-se como uma das principais causas das mudanças climáticas, impactando diretamente sobre as condições de vida humana e dos ecossistemas; Apontou que a população residente em áreas mais vulneráveis será ainda mais exposta aos efeitos das alterações no clima.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014)
AR6	2022	Encontra-se ainda em fase de avaliação. Estima-se que seja finalizado até o ano de 2022.	(INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019)

Fonte: A autora, com base nas referências da coluna à direita.

A fim de estimar as possíveis consequências causadas pelas mudanças climáticas no futuro, o IPCC apresentou cenários de emissões que podem ser utilizados para traçar estratégias de mitigação ou adaptação em diversos aspectos (NAKICENOVIC; SWART, 2000). Para esta finalidade, muitos modelos matemáticos têm sido elaborados, dentre eles se destaca o Modelo de Circulação Geral (MCG), considerado um dos mais complexos, por abordar processos físicos significativos para o clima,

como precipitação, umidade, temperatura, vento, pressão atmosférica, dentre outras, considerando a latitude, longitude, altitude e o tempo, por meio de uma rede cartesiana, tanto na superfície ou próximo dela, quanto em diversos níveis verticais e horizontais (SAMPAIO; DIAS, 2014), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Representação esquemática da rede cartesiana dos modelos climáticos de circulação geral.



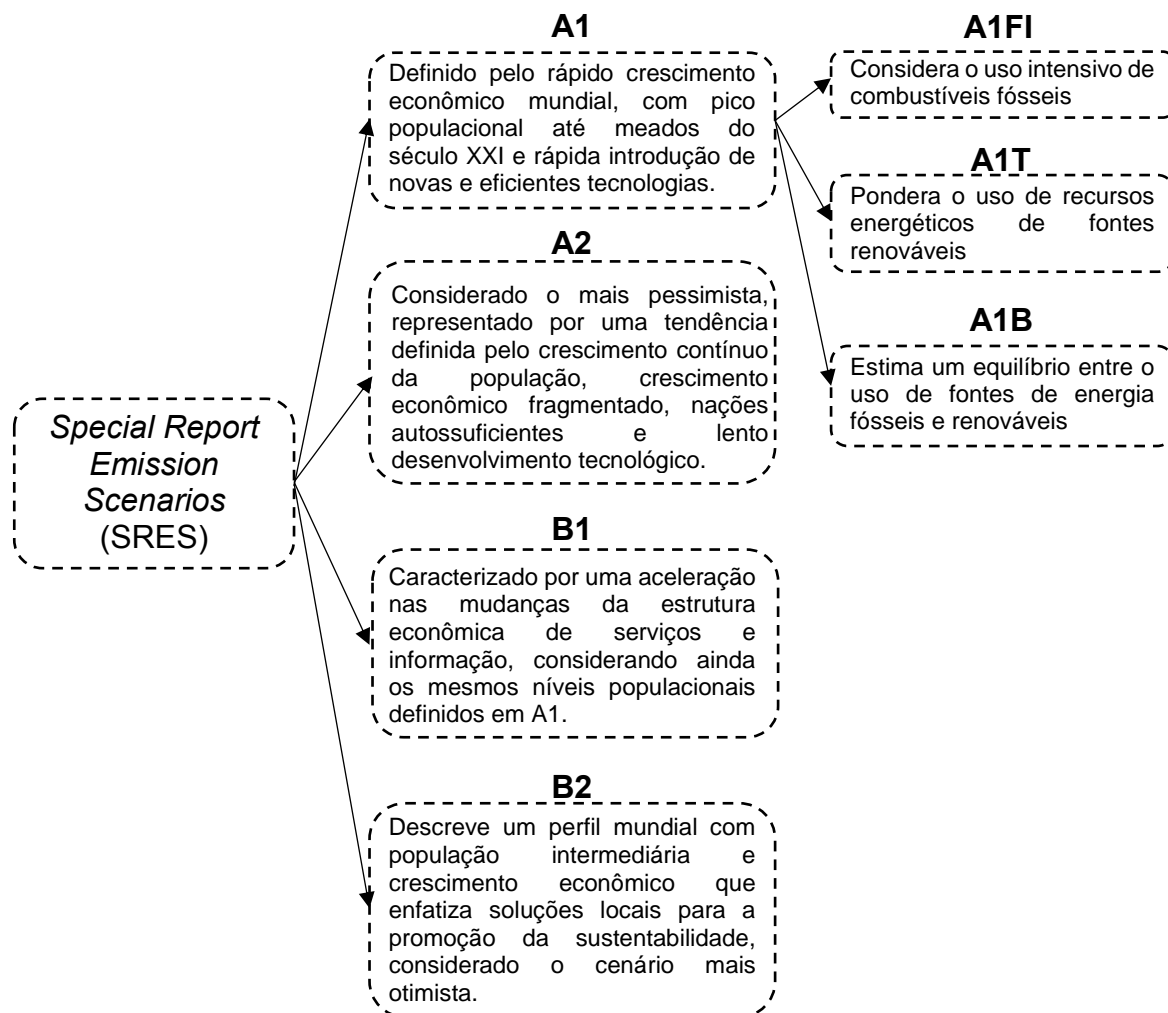
Fonte: Sampaio e Dias (2014).

Um dos MCG's mais utilizados no AR4 é o *Hadley Centre Coupled Model version 3* (HadCM3), caracterizado por ser um modelo de circulação atmosférica oceânica, possuindo como horizontes climáticos típicos os anos de 2020 (representando o período de 2011 a 2040), 2050 (período de 2041 a 2070) e 2080 (período de 2071 a 2100).

Para o AR4 foram utilizados os cenários de emissões de gases de efeito estufa com base em históricos de evolução demográfica, socioeconômicos e tecnológicos, conhecidos como *Special Report Emission Scenarios* (SRES). Estes são agrupados em quatro famílias, denominadas como A1, A2, B1 e B2 onde, A corresponde ao baixo compromisso com a sustentabilidade do planeta, e B representa o alto

comprometimento (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), resumidos na Figura 2.

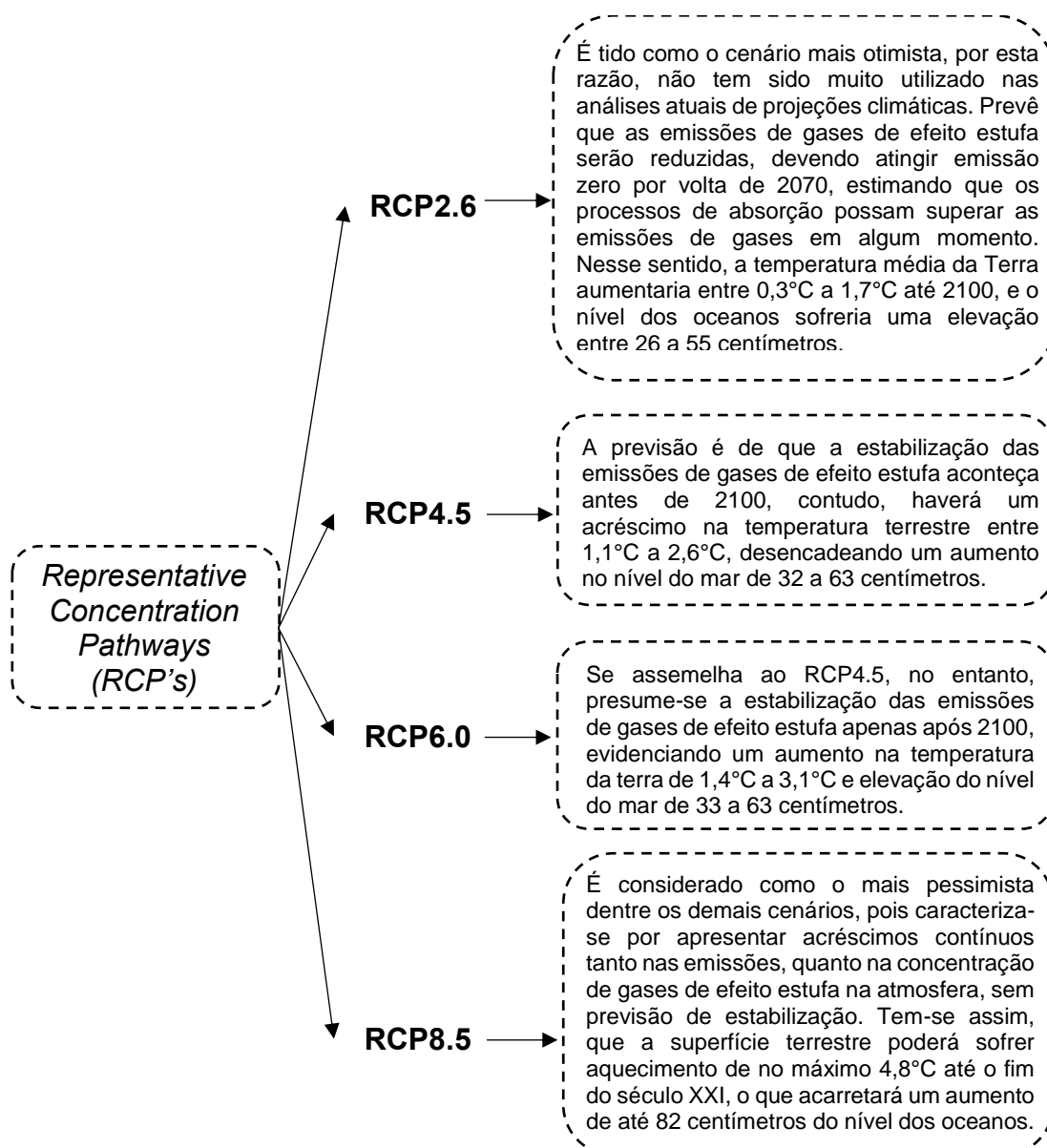
Figura 2: Diagrama dos cenários de emissões (SRES) disponibilizados pelo AR4.



Fonte: A autora, com base em *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2007).

Para o AR5, quatro novos cenários de emissão foram propostos, denominados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que incluem um cenário de mitigação mais rigoroso com baixas emissões de gases de efeito estufa (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.5 e RCP6.0) e um cenário com altas emissões (RCP8.5), apresentados na Figura 3. Cada um desses cenários toma como base para mensurar as projeções climáticas, o histórico evolutivo das emissões de gases de efeito estufa, as diferentes tecnologias de geração de energia, as informações sobre o uso do solo e as políticas climáticas de controle de poluição e mitigação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Figura 3: Diagrama dos cenários de emissões (RCP's) disponibilizados pelo AR5.

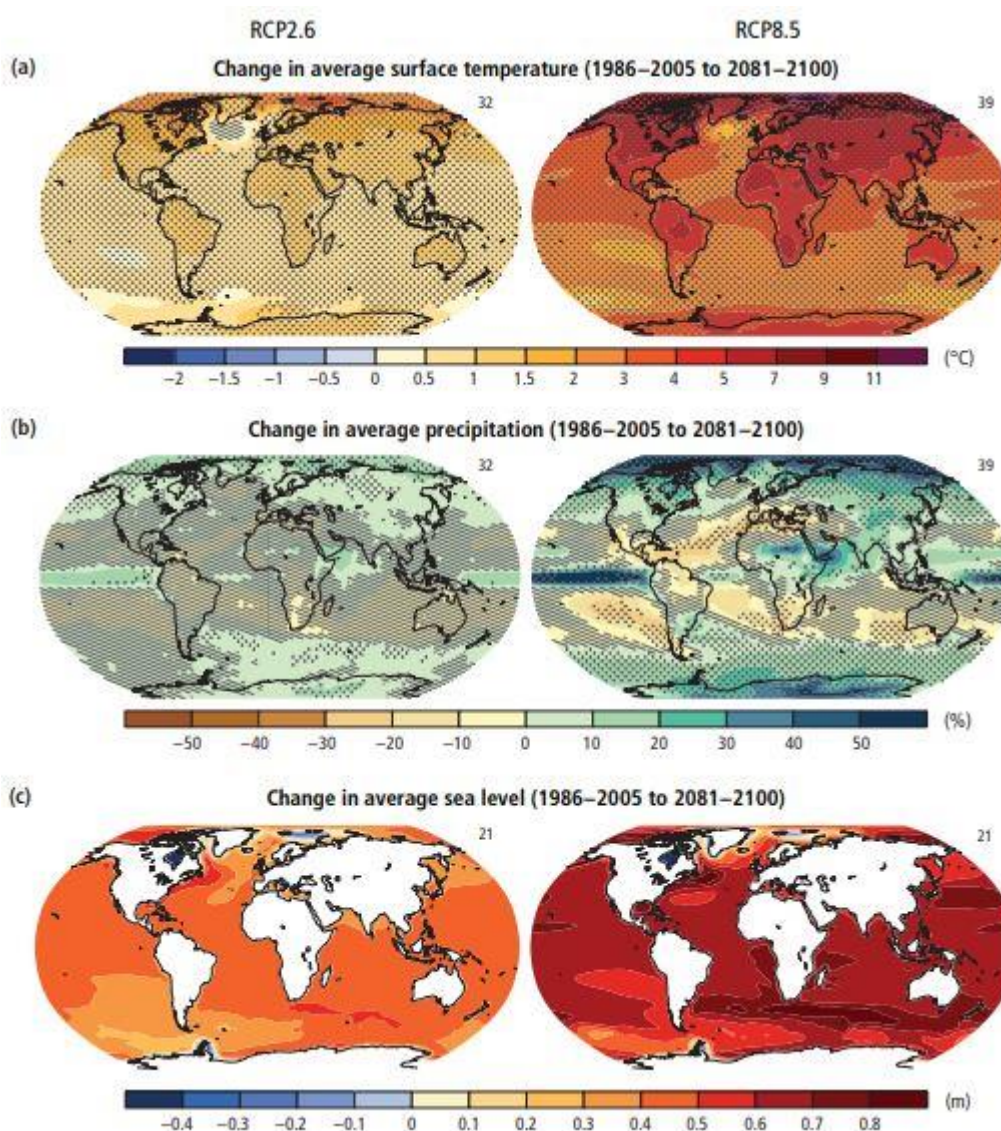


Fonte: A autora, com base em *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014).

A Figura 4 demonstra as possíveis mudanças na temperatura média da superfície terrestre e dos oceanos, na média de precipitação e na média de elevação do nível do mar para os cenários climáticos RCP2.6 (mais otimista) e RCP8.5 (mais pessimista) do AR5 em relação ao período 1986-2005 até 2081-2100. De acordo com o AR5 do IPCC, é provável que o aquecimento médio da terra seja maior do que o do oceano, sendo que a região do Ártico passará por este processo mais rapidamente do que a média global. No entanto, os oceanos também sofrerão com este problema, sua superfície será aquecida afetando as regiões tropicais e subtropicais do Hemisfério Norte majoritariamente, já o aquecimento das águas profundas, será mais

pronunciado no Oceano Antártico. Esses fatores poderão ocasionar extremos de calor na maioria das áreas terrestres além de favorecer o derretimento das calotas polares, contribuindo para a elevação do nível do mar, à medida em que a temperatura média global da superfície aumenta (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Figura 4: Mudanças projetadas para o padrão de temperatura média da superfície terrestre e dos oceanos, na precipitação média e na elevação média do nível do mar.



Fonte: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014).

Ressalta-se que os cenários climáticos se apresentam como perspectivas de como pode se comportar o clima futuro, no entanto apontam alto grau de incertezas, permitindo analisar os impactos causados pelas mudanças climáticas, e de que maneira ações adaptativas e mitigatórias podem acontecer para atenuar esses

efeitos. Contudo, deve-se considerar que nenhum cenário tem maior possibilidade de ocorrência em detrimento a outro (MONTES, 2016).

Em escala nacional, seguindo os preceitos instituídos pelo IPCC, foi instaurado em setembro de 2009, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) pelos Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com o intuito de reunir, sintetizar e fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas de relevância para o país, incluindo os impactos, vulnerabilidades e ações de adaptação e mitigação (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016a).

As projeções climáticas futuras para o Brasil, apontadas pelo PBMC, evidenciam um aumento na temperatura de maneira não uniforme, indicando variações entre 2°C a 8°C acima da média climatológica até o final do século XXI, apontando máximos de aquecimento para a Região Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste. Nessas regiões ocorrerão, ainda, a máxima redução no volume de chuvas durante o Verão, enquanto para a Região Sul é esperado o contrário, um aumento no volume de chuvas para esta mesma estação, acarretando a intensificação e a frequência de desastres naturais (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016; MARENGO, 2014).

Em virtude dos fatos mencionados, os sistemas naturais, humanos, de infraestrutura e produtivo do país serão fortemente afetados. Ainda que exista certo grau de incertezas diante dessas projeções, diversas hipóteses são levantadas quanto ao acontecimento de eventos climáticos extremos, como alterações no regime e na distribuição de chuvas, maior ocorrência de secas, intensas ondas de calor e aumento do nível do mar, implicando em inúmeras consequências para a sociedade, ecossistemas e setores econômicos nas diferentes regiões brasileiras (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016). Nesse sentido, Marengo (2007), há mais de uma década atrás, já destacava que com os cenários mais agravados, aqueles que possuem menor disponibilidade de recursos, enfrentarão maiores dificuldades ainda de adaptação às novas condições climáticas.

Assim sendo, as projeções climáticas futuras são consideradas imprescindíveis para o planejamento de ações, que buscam maneiras de adaptação e mitigação dos efeitos do clima em diversos aspectos (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016). Levando-se em consideração essas questões, Moazami e outros (2019) destacam o desenvolvimento de pesquisas com a finalidade de estimar as projeções futuras do clima, contribuindo para a criação de arquivos climáticos que possam ser utilizados em simulações computacionais do ambiente construído, no entanto, obter uma representação adequada dos padrões de longo prazo das mudanças climáticas e das condições extremas tem se mostrado um desafio.

Estima-se que as edificações existentes ou recém-construídas necessitam durar por várias décadas, dessa forma, a avaliação de desempenho deve prever as possíveis alterações climáticas, de modo a facilitar a concepção projetual por meio da utilização de estratégias construtivas pertinentes, que mantenham o desempenho adequado do edifício frente às alterações do clima. (FARAH *et al.*, 2019).

Uma das metodologias que se mostrou mais bem aceita até os dias atuais para a conversão de arquivos climáticos atuais em futuros, foi elaborada por Belcher, Hacker e Powell (2005), e é denominada como “*morphing*”. Este procedimento foi desenvolvido para produzir arquivos climáticos, considerando futuras mudanças no clima, por meio da combinação de dados climáticos atuais em formato TRY (*Test Reference Year*) ou TMY (*Test Meteorological Year*), com os resultados dos modelos climáticos de circulação geral (MCG’s), a fim de representar uma possível condição futura, por meio dos valores mensais de algumas variáveis climáticas para determinadas localidades (BELCHER; HACKER; POWELL, 2005).

Tomando como base o método proposto por Belcher, Hacker e Powell (2005), duas ferramentas foram desenvolvidas para gerar arquivos climáticos de cenários futuros: a *Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data (CCWorldWeatherGen)* e a *WeatherShift*. Moazami, Carlucci e Geving (2017), realizaram um estudo comparativo quanto aos arquivos climáticos futuros produzidos por ambas as ferramentas, sendo identificada larga semelhança entre elas, permitindo a geração de dados meteorológicos de projeção futura para aplicação na execução de simulações computacionais de desempenho de edificações por ambas as ferramentas.

A *CCWorldWeatherGen* possibilita a concepção de arquivos climáticos futuros para simulação de desempenho para qualquer localidade do mundo, a partir de conjuntos

de dados prontamente disponíveis (JENTSCH; BAHAJ; JAMES, 2008; JENTSCH, *et al.*, 2013). Esta ferramenta é disponibilizada gratuitamente, e apresenta uma abordagem integrada entre os dados existentes em formato EPW (*EnergyPlus Weather*) com as previsões do Modelo de Circulação Geral HadCM3, elaborado pelo *Meteorological Office Hadley Centre* do Reino Unido para o Terceiro e Quarto Relatórios do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

A *CCWorldWeatherGen* atua na transformação de arquivos climáticos em formato EPW "atuais", em arquivos EPW ou TMY2 de mudança climática compatíveis com a maioria dos programas de simulação de desempenho em edificações, considerando o cenário A2 de altas emissões para três horizontes de tempo típicos: 2020, 2050 e 2080, relativos ao período de referência (1961-1990), o que significa que os arquivos climáticos criados usando esses dados de EPW podem superestimar o efeito da mudança climática para o local determinado (JENTSCH, *et al.*, 2013).

De forma semelhante, a ferramenta *WeatherShift*, desenvolvida pelas empresas *Arup* e *Argos Analytics*, disponibiliza dados climáticos para várias localidades do mundo, inclusive para o Brasil, com base nos cenários de emissões RCP4.5 e RCP8.5 mencionados no AR5 do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014), estabelecendo projeções futuras para três períodos de tempo: 2035 (período de 2026 a 2044), 2065 (período de 2056 a 2075) e 2090 (período de 2081 a 2100). Alguns dados, como as médias de temperatura, são disponibilizados gratuitamente em forma de resumo e gráficos no site da própria ferramenta, no entanto, os arquivos climáticos futuros com base horária para inserção nas simulações computacionais devem ser comprados (DICKINSON; BRANNON, 2016).

A utilização de arquivos climáticos futuros aplicados às simulações termoenergéticas, representa um papel significativo para a prévia compreensão sobre o comportamento das edificações frente a questões relacionadas às alterações no clima (MONTES, 2016). Dessa forma, é primordial que o processo projetual e as avaliações de desempenho, levem em consideração dados meteorológicos que incorporem os impactos proporcionados pelas mudanças no padrão atmosférico, em oposição ao uso de apenas dados climáticos baseados em séries históricas (FARAH, *et al.*, 2019), uma vez que estas afetam diretamente o comportamento térmico dos edifícios,

contribuindo para o aumento significativo do consumo de energia para obtenção de condições adequadas de habitabilidade (NAKICENOVIC; SWART, 2000; OLONSCHECK; HOLSTEN; KROPP, 2011; MOAZAMI *et al.*, 2019).

Tais condições destacam ainda, a importância de se obter soluções para a garantia de um melhor desempenho termoenergético ao longo da vida útil do edifício (MONTES, 2016) pois tendo em vista um cenário no qual o consumo de energia tende a aumentar significativamente, é necessário um planejamento visando a segurança energética do país (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016b), e se estas não forem consideradas, problemas dispendiosos como apagões podem ocorrer a curto e longo prazos (FIELD, *et al.*, 2012), atenuando a necessidade de pensar estrategicamente na eficiência energética das edificações.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito mais elementar de eficiência energética está relacionado ao consumo consciente de energia, isto é, à capacidade de desenvolver determinada atividade, com o menor consumo energético sem comprometer sua qualidade. Esse conceito estende-se também às edificações, quando as mesmas condições ambientais satisfatórias são alcançadas com o mínimo consumo energético (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; ELETROBRAS, 2010).

O comportamento térmico e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica das edificações, são fortemente afetados pelos efeitos das mudanças climáticas (OLONSCHECK; HOLSTEN; KROPP, 2011). Estudos recentes realizados pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) e pela *International Energy Agency* (IEA) evidenciam o setor de edificações como a principal fonte de consumo de eletricidade do mundo, representando cerca de 40% da demanda global, além de serem responsáveis por 33% das emissões de carbono na atmosfera, com tendência a permanecer em ascensão (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2017; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018). Segundo as projeções do AR5, o uso de energia e as emissões de gases de efeito estufa combinados, deverão dobrar ou potencialmente triplicar até meados do século XXI (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

A ineficiência energética das edificações, em grande parte, pode ser atribuída ao comportamento dos usuários e suas sensações de conforto (MENDONÇA, 2014), assim como à envoltória do edifício, aos sistemas de condicionamento ambiental e de iluminação, dentre outros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Neste contexto, os edifícios se apresentam como um elemento crítico para um futuro de baixo carbono, e um desafio global para a integração com o desenvolvimento sustentável (FLORES-LARSEN; FILIPPÍN; BAREA, 2019).

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018) ano base 2017, a produção de energia elétrica teve um aumento de 1,6% em relação ao ano de 2016. O consumo total de eletricidade pelo setor de edificações correspondeu a 50,8% da produção interna, representando a principal fonte de consumo de energia elétrica do país, sendo 25,5% por edifícios residenciais, 17,1% por edifícios comerciais e 8,2% por edifícios públicos, tendo a fonte de geração hidráulica como a principal matriz elétrica, correspondendo a 65,2% da oferta do país.

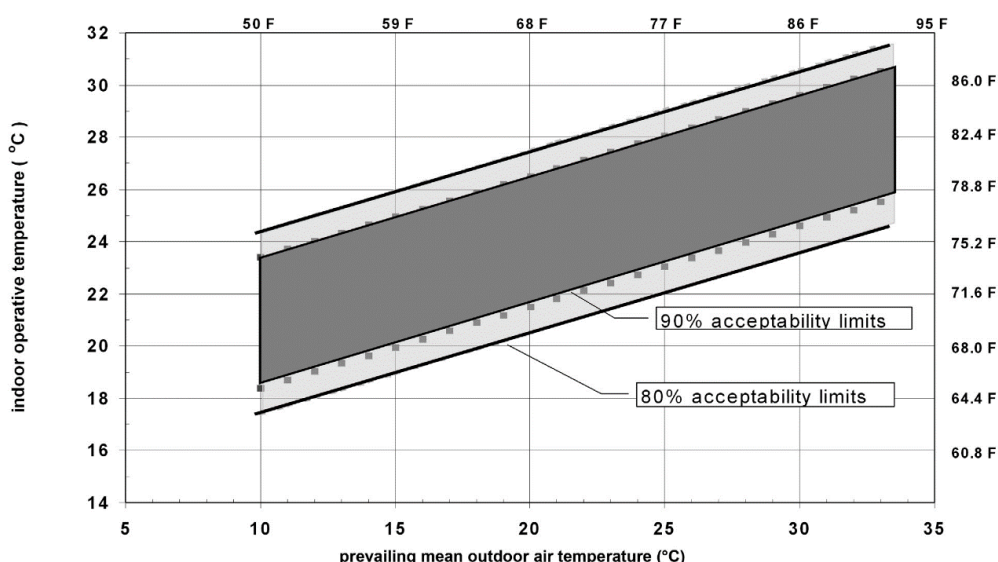
Desde a década de 1970, a crise mundial do petróleo forçou os países mais desenvolvidos a implantarem medidas relacionadas à eficiência energética. Nessa mesma época, as pesquisas sobre o conforto térmico adaptativo foram intensificadas, despertando a conscientização de que as fontes energéticas utilizadas para o condicionamento natural de ambientes não eram inesgotáveis (BRAGER; DE DEAR, 2001). Dessa forma, ações comportamentais adaptativas por parte dos usuários passaram a ser consideradas, como alterações no isolamento das vestimentas, mudanças na realização de atividades, além do controle das aberturas e seus componentes, de maneira a amenizar as insatisfações relacionadas ao desconforto, proporcionando o equilíbrio dinâmico do próprio usuário com o meio térmico envolvente (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

Esse cenário global resultou também, em esforços governamentais para a criação de leis, diretrizes e projetos, que contribuíssem para a conservação e a redução do consumo energético para as novas edificações e para adaptações daquelas já existentes (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2017).

Sob esse contexto, foi publicada a *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* - ASHRAE 55. Esta norma fundamenta-se no método adaptativo proposto por De Dear e Brager (1998) e pressupõe que para melhor

aceitabilidade das condições térmicas do ambiente interno, estratégias passivas de condicionamento devem ser aplicadas, com a intenção de analisar as condições de conforto térmico aceitáveis para ambientes ventilados naturalmente. O método relaciona as temperaturas operativas internas, com a média mensal das temperaturas externas, avaliadas por meio de um intervalo de conforto com 80% e 90% de aceitabilidade (Figura 5), considerando-se que o grau de satisfação dos usuários é dado pela condição psicológica de bem-estar, e pode variar de indivíduo para indivíduo (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55, 2013).

Figura 5: Intervalos de aceitabilidade de temperatura operativa para espaços naturalmente ventilados.



Fonte: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers 55 (2013).

No âmbito nacional, o Brasil enfrentou no ano de 2001, uma forte crise energética em consequência dos baixos níveis nos reservatórios das hidrelétricas, e também pela falta de investimentos no setor, conhecida como a “Crise do Apagão”. Esta crise, contudo, serviu como um incentivo para que o país tomasse as providências necessárias quanto ao racionamento de eletricidade (MENDONÇA, 2014), resultando na Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, responsável pelo desenvolvimento de instrumentos que visam à promoção da eficiência energética de máquinas, equipamentos e edificações produzidas no país (BRASIL, 2001).

As tentativas para minimizar os impactos gerados pela crise energética, devem levar em consideração a qualidade dos espaços edificados e a qualidade de vida dos

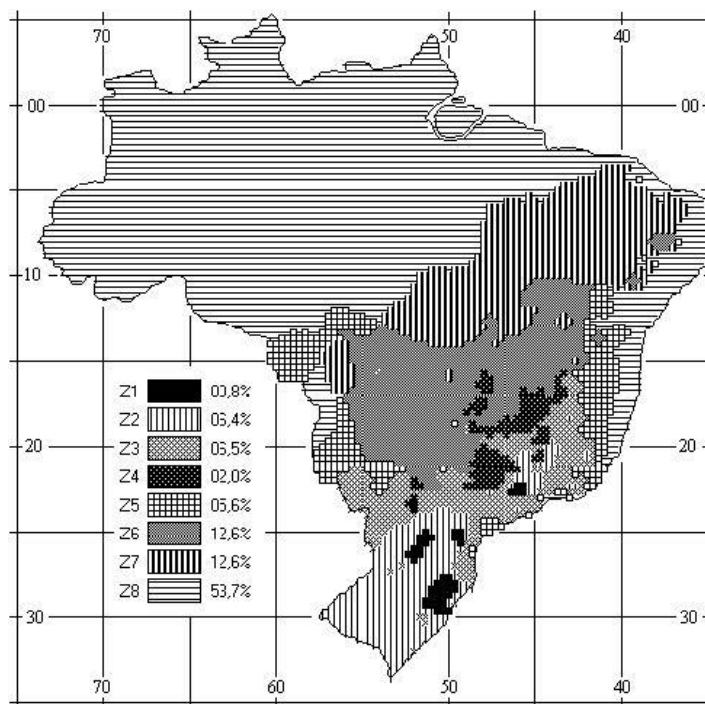
usuários, utilizando como premissa a redução no consumo de energia, principalmente para o condicionamento ambiental (FROTA; SCHIFFER, 2009). Nesse sentido, foram produzidas importantes normas e regulamentos nacionais para avaliação de questões relacionadas ao desempenho térmico e à eficiência energética de edificações, fundamentados em normalizações internacionais.

No ano de 2005, foi então publicada a primeira edição da NBR 15220, direcionada ao desempenho térmico de edificações. Os procedimentos estabelecidos pela norma, tendem à otimização do desempenho térmico, alicerçadas em estratégias de adequação da edificação ao clima no qual está submetida, dividindo-se em cinco partes:

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

A parte 3 desta norma (ABNT NBR 15220-3) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o país em 8 zonas bioclimáticas (Figura 6), propondo uma série de recomendações e diretrizes construtivas, baseadas em quatro parâmetros: a dimensão das aberturas para ventilação e o sombreamento das mesmas; a seleção de vedações verticais e horizontais externas (tipos de paredes e coberturas); e as estratégias de condicionamento térmico passivo a serem aplicadas na construção de residências unifamiliares de até três níveis de interesse, como forma de reforçar a qualidade da habitação para cada uma das zonas bioclimáticas estabelecidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Figura 6: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005).

Posteriormente, foi sancionada a NBR 15575, com enfoque para o desempenho de edifícios residenciais de até cinco pavimentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Contudo, esta foi revisada em 2013, e passou a valer para todas as novas edificações residenciais, independentemente do número de pavimentos, segmentada em seis partes:

- 1) Requisitos gerais;
- 2) Requisitos para os sistemas estruturais;
- 3) Requisitos para os sistemas de pisos;
- 4) Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- 5) Requisitos para os sistemas de coberturas; e
- 6) Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada uma das partes estabelece uma série de critérios que contribuem para atingir um nível mínimo de desempenho de acordo com cada sistema construtivo, objetivando o melhor desempenho da edificação a fim de atender às exigências dos usuários em termos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade para cada um desses sistemas. Para a avaliação do desempenho térmico do edifício, a norma indica

três métodos distintos: simplificado, medição *in loco* e simulação computacional, sendo possível assim especificar o nível de desempenho térmico das edificações como insatisfatório, mínimo, intermediário ou superior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

No ano de 2010 foi lançado o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais (RTQ-R), com posterior revisão no ano de 2012. Este regulamento objetiva criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares quanto à envoltória, ao sistema de iluminação, ao sistema de condicionamento de ar e também ao edifício como um todo, a nível de projeto ou de construção, estipulando uma escala de classificação que varia de “A” para sistemas e edificações mais eficientes, até “E” para menos eficientes, conforme Figura 7. Para esta finalidade, são utilizados dois métodos: o prescritivo, baseado em equações e tabelas fornecidas pelo próprio regulamento, e o de simulação, por meio da utilização de softwares específicos (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012).

Figura 7: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia em edificações.



Fonte: PBE EDIFICA (2019).

Diante da aprovação de diversos instrumentos normativos, observa-se que ações como a etiquetagem de aparelhos de ar condicionado, incentivou e incrementou a cultura da busca pela eficiência e, conseqüentemente, uma maior conscientização quanto à importância na diminuição do consumo de energia, levando a procura por aparelhos com classificação energética satisfatória. Presume-se que até o ano de 2040, as edificações poderão atingir até 40% de eficiência energética a mais do que os dias atuais, sendo os sistemas de aquecimento responsáveis por mais de 10% dessa economia, devido ao fenômeno do aquecimento da superfície terrestre, enquanto os sistemas de resfriamento exigirão ainda mais atenção para obtenção de ganhos de eficiência (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

Nesse sentido, considerando as potenciais mudanças no clima como um fator prioritário nas agendas globais, a conservação de energia nas edificações torna-se excepcionalmente relevante, tendo em vista que a inclusão de normas e regulamentações aplicadas ao setor da construção fundamenta-se, sobretudo, na necessidade de contribuir para um desenvolvimento mais sustentável, por meio de estratégias para o enfrentamento da disponibilidade e conservação de recursos naturais no futuro (LOPES *et al.*, 2016).

Assim, o principal desafio imposto para reduzir o consumo energético, sem apresentar prejuízos às condições ambientais internas, será o desenvolvimento de soluções construtivas favoráveis ao melhor desempenho da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para isso, é necessário considerar o estudo das condições climáticas locais, materiais construtivos, assim como a orientação e o uso da edificação (INVIDIATA, 2017), ponderando em relação à vida útil do edifício, estipulado pela ABNT NBR 15575:2013 para durar minimamente por 50 anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Nesse sentido, a interação entre o edifício e o meio em que se insere pode ser, até certo ponto, regulada pelos projetistas por meio dos sistemas de vedação e condicionamento ambiental (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A envoltória da edificação pode ser considerada como um dos elementos construtivos mais importantes na determinação do conforto térmico, bem como na adaptação do usuário, visto que por intermédio dela é que ocorrem as trocas térmicas entre o meio interno e externo, facilitando os ganhos de calor devido a sua capacidade de

transmissão da radiação solar, tornando-se um sistema importante a ser levado em consideração na concepção do projeto, uma vez que contribuir para a eficiência energética das edificações resulta na redução do consumo de energia para climatização artificial dos ambientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016b).

No caso de edificações em fase projetual, a inclusão de medidas bioclimáticas para a redução das demandas energéticas pode ocorrer com mais facilidade, no entanto, para o caso de edificações já existentes a adoção de estratégias de *retrofit*, com alterações mais radicais na estrutura física da edificação ou até mesmo mudanças mais sutis, como adaptações nas rotinas operacionais do edifício e no comportamento dos usuários, podem resultar em melhorias no consumo de energia (CHIDIAC *et al.*, 2011).

O conceito de *retrofit* pode ser definido como a remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, por meio da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando a valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Amenizar os efeitos que os edifícios consolidados sofrem em relação às condições do ambiente é uma opção mais eficaz do que considerar sua demolição e posterior concepção de novas edificações, mesmo que com atributos mais sustentáveis (JAGARAJANA *et al.*, 2017).

Sabe-se que a aplicação de estratégias por meio do uso de novas tecnologias, permite o alcance de resultados mais abrangentes, que podem culminar em novos modelos de vida para a coletividade (DUCATTI; TIBÚRCIO; CARMO, 2011), com tendência a mitigar os impactos ambientais advindos de ações antrópicas (SANTOS; BATTISTELLE; VARUM, 2013), contribuindo também para a economia de energia, podendo atingir até 30% para os edifícios existentes e até 50% para os novos edifícios (SILVERO *et al.*, 2019). De acordo com Roaf, Crichton e Nicol (2009) a única solução para manter a integridade da sociedade é por meio do desenvolvimento de edifícios resilientes, de baixo impacto ambiental e que operem com o uso de energias limpas e renováveis.

A utilização de ferramentas computacionais permite testar a influência de diversas estratégias projetuais que podem favorecer o desempenho da edificação, contribuindo

para a economia dos recursos energéticos. O processo de simulação exige a elaboração de modelos de forma a representar o edifício avaliado da maneira mais fiel possível, no entanto, o processo de avaliação de desempenho térmico de uma edificação é uma tarefa complexa, por envolver inúmeras variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. A evolução tecnológica das ferramentas de simulações computacionais permitiu o desenvolvimento de modelos capazes de representar o comportamento térmico das edificações em diversos aspectos (MENDES *et al.*, 2005).

Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos, diversas ferramentas estão disponíveis e habilitadas para efetuar este tipo de avaliação, dentre as quais pode-se destacar o *software EnergyPlus*, desenvolvido nos Estados Unidos e disponibilizado gratuitamente, tornando-o um instrumento amplamente utilizado em pesquisas nacionais e internacionais (MAILE; FISCHER; BAZJANAC, 2007). Outro *software* que merece ser destacado é o *DesignBuilder*, elaborado no Reino Unido e reconhecido por possuir uma interface gráfica mais amigável, facilitando a modelagem e configuração dos parâmetros da edificação (DESIGN BUILER SOFTWARE LTDA, 2018).

A utilização de *softwares* de simulação computacional ainda na fase de concepção projetual mostra-se eficaz por possibilitar uma avaliação geral da edificação, tanto nas questões relacionadas à localização do edifício, quanto à inserção de alternativas favoráveis ao desempenho térmico antes mesmo de serem executadas. Neste caso é necessário maior detalhamento para a construção do modelo virtual, considerando uma grande quantidade de variáveis para os dados de entrada, como as características climáticas da região onde se insere, orientação solar, geometria do edifício, propriedades termo físicas dos materiais que a compõem, rotinas de uso e ocupação, entre outras, aumentando a confiabilidade dos resultados (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2018).

Por meio das simulações, é possível gerir dados em tempo hábil, permitindo a identificação antecipada do impacto causado pelas decisões de projeto em diferentes circunstâncias e, assim, avaliar possibilidades para conceber edifícios mais eficientes. No entanto, apesar do processo de simulação estar sendo cada vez mais utilizado e consolidado como uma alternativa confiável para a avaliação do desempenho de

edifícios, vale ressaltar ainda a necessidade de uma avaliação cautelosa sobre os resultados alcançados.

2.3 ADAPTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As principais abordagens que dizem respeito às mudanças climáticas associadas às edificações são a mitigação e a adaptação. A mitigação tem como propósito a redução das emissões de gases de efeito estufa e dos impactos causados pelo aquecimento global. A adaptação incentiva a promoção de mudanças comportamentais para resistir às alterações do clima, tanto daquelas que já estão ocorrendo quanto aquelas que ainda ocorrerão (REN; CHEN; WANG, 2011).

Nesse sentido, adaptar as edificações de forma a torná-las mais resilientes aos impactos das mudanças no clima, pode ser uma estratégia primordial na luta pela viabilização da eficiência energética. O AR5 do IPCC aponta, ainda, que as reduções na demanda de energia, por meio de mudanças comportamentais nos padrões de consumo e na escolha de produtos mais duradouros, constituem estratégias de mitigação de baixo custo, contribuindo para a redução de até 90% no consumo de energia (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014), favorecendo o desenvolvimento sustentável, principalmente em estoques prediais já estabelecidos.

Os estudos apontados a seguir foram desenvolvidos com intuito de investigar medidas de mitigação e adaptação das edificações, diante dos impactos proporcionados pelas mudanças climáticas. Alguns deles evidenciaram que o uso de estratégias passivas de projeto pode ser de grande importância para a redução na demanda de energia elétrica em edifícios.

Pesquisas realizadas por Gupta e Gregg (2012) avaliaram uma série de medidas de adaptação passiva, visando minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas e identificar as medidas mais eficazes para a redução do consumo de energia, e para a melhoria do conforto térmico em residências típicas inglesas. Confirmaram que a estratégia de sombreamento controlado pelo usuário é a melhor opção, porém destacaram que nenhuma estratégia é capaz de eliminar completamente o risco de superaquecimento em residências, considerando o horizonte de 2080.

Na Holanda, estudos desenvolvidos por Hooff e outros (2016) com relação a estratégias passivas de adaptação, indicaram que as medidas de sombreamento e o incremento na ventilação natural mostraram-se mais eficazes, podendo reduzir a demanda de energia para resfriamento entre 59 e 74% para os cenários RCP4.5 e RCP6.0 do AR5, até o período de 2100.

Nik e outros (2016), analisaram o potencial de economia de energia para aquecimento em edifícios residenciais na Suécia. Concluíram que um melhor isolamento térmico da envoltória do edifício, combinado com janelas energeticamente eficientes e com o ajuste da temperatura de *set-point* interna para aquecimento, mostrou-se como a alternativa mais eficaz para a economia de energia para a condição climática futura até 2100.

Huang e Hwang (2016) averiguaram o potencial de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas por meio da aplicação de estratégias passivas em uma edificação residencial multifamiliar de Taiwan. Os resultados revelaram aumento no consumo energético para resfriamento de até 82% para o período de 2080. Entretanto constataram que, embora nenhuma estratégia individual possa manter o uso de energia de resfriamento como os níveis atuais, a combinação de melhorar o isolamento térmico das paredes externas e da cobertura, aumentar o coeficiente de ganho de calor solar do envidraçamento e adicionar sombreamento nas aberturas, pode neutralizar os efeitos das mudanças climáticas para a redução do uso de energia para resfriamento.

Na Argentina, estudos realizados por Flores-Larsen, Filippín e Barea (2019), consideraram o impacto da mudança climática no desempenho energético de edifícios residenciais populares para quatro cidades, utilizando-se estratégias bioclimáticas para cada uma delas. Os resultados indicaram que haverá aumento na demanda de consumo energético para resfriamento e uma diminuição na demanda de aquecimento no inverno para todas as cidades analisadas. Algumas estratégias como o sombreamento das edificações e o aproveitamento da ventilação natural serão necessárias no futuro para reduzir a demanda por resfriamento, principalmente durante as estações mais quentes do ano. As condições de frio menos intenso no Inverno podem beneficiar o uso de energias renováveis em substituição a energia convencional, já que a demanda por aquecimento tende a ser reduzida.

No Brasil, alguns estudos também têm sido desenvolvidos recentemente com intuito de reduzir o efeito negativo das mudanças climáticas sobre as edificações, apontando que a adoção de estratégias projetuais adequadas para a adaptação dos edifícios pode ser fundamental na promoção do conforto térmico e na redução na demanda energética.

Casagrande (2013) investigou o impacto das alterações climáticas no desempenho térmico e energético de edificações comerciais em diferentes cidades brasileiras. Os resultados apontaram que a utilização de dispositivos de sombreamento na fachada do edifício, foi a variável com maior contribuição para a redução do consumo energético, no entanto, mesmo com a presença desses dispositivos houve ainda, um aumento médio no consumo anual de eletricidade para condicionamento dos ambientes, de 10,7% em 2020, 16,9% em 2050 e 25,6% em 2080, em relação ao consumo atual.

Alves, Duarte e Gonçalves (2016) investigaram o desempenho térmico de três edifícios residenciais na cidade de São Paulo, considerando a vulnerabilidade da população idosa sob os efeitos das mudanças climáticas e das ondas de calor. A avaliação foi realizada por meio de medições *in loco* e simulações computacionais com o *software* EDSL/Bentley TAS (*Thermal Analysis Software*). Os dados climáticos futuros utilizados nas simulações foram obtidos a partir de modelos regionais cedidos pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), representando os períodos presente (1975 a 2005), futuro próximo (2015 a 2044), futuro intermediário (2045 a 2074) e futuro distante (2076 a 2096), para o cenário RCP8.5 do Quinto Relatório (AR5) do IPCC. Os resultados indicaram que a combinação dos fenômenos de mudanças climáticas com ondas de calor, intensificam ainda mais o desconforto por calor, contribuindo para um aumento no consumo de energia para condicionamento ambiental. Evidenciaram ainda que a ventilação e a baixa carga térmica interna são fatores que contribuíram positivamente para o melhor desempenho térmico.

Invidiata e Ghisi (2016) estudaram o impacto das mudanças climáticas sobre as condições de conforto térmico dos usuários e na demanda energética para aquecimento e resfriamento de uma habitação social unifamiliar, localizada hipoteticamente em três cidades brasileiras, considerando como estratégias de

adaptação a proteção solar, a baixa absorvância e o isolamento térmico. Para este objetivo, foi utilizada a ferramenta *CCWorldWeatherGen* para a conversão dos arquivos climáticos atuais em arquivos futuros. Os resultados indicaram que o uso de estratégias passivas pode reduzir até 50% a demanda anual de resfriamento e aquecimento em edificações residenciais unifamiliares no Brasil.

Em suas pesquisas, Tateoka e Duarte (2017) propuseram um projeto de *retrofit* para uma edificação residencial localizada na cidade de São Paulo. O estudo destacou o uso de métodos passivos para a climatização dos ambientes internos, adotando o elemento varanda, somada a brises de madeira como elemento de proteção solar. Baseando-se na mesma metodologia utilizada por Alves (2015). Foi possível verificar que a proposta de adaptação à edificação resultou em uma diminuição de até 45% dos graus-hora de desconforto, evidenciando a importância da estratégia de sombreamento para a melhoria do conforto interno.

Triana, Lamberts e Sassi (2018) realçaram a importância das medidas de adaptação às mudanças climáticas para a melhoria do desempenho térmico e energético de habitações de interesse social em duas cidades brasileiras. Nesse estudo, foram consideradas propostas adaptativas para o envelope da edificação, por meio de componentes com maior resistência térmica e aumentos no fator de ventilação natural com a utilização de sombreamento nas aberturas, sendo estes, testados de forma isolada e combinada. Foi utilizada a ferramenta *CCWorldWeatherGen* para a conversão dos arquivos climáticos atuais em futuros. Em conclusão, o estudo apontou que as medidas de adaptação aplicadas a edificações de interesse social são fundamentais para melhorar o desempenho termoenergético e o conforto dos usuários, considerando os cenários de mudanças climáticas.

Recentemente, Guarda, Durante e Callejas (2018) examinaram os efeitos do aquecimento global sobre as estratégias passivas de projeto para o Estado de Mato Grosso. A pesquisa utilizou a ferramenta *CCWorldWeatherGen* para a conversão dos arquivos climáticos atuais em arquivos futuros. Os resultados indicaram aumento nas temperaturas médias anuais, podendo atingir até +60,5°C e diminuição da umidade relativa do ar anual em até 24%, evidenciando um aumento das horas em desconforto por calor e redução das horas em desconforto por frio até o fim do século XXI. As estratégias passivas de adaptação que sofreram os maiores incrementos anuais

foram o condicionamento artificial e o sombreamento dos edifícios, enquanto a massa térmica/aquecimento solar e ventilação terão a sua frequência anual reduzida para todas as zonas bioclimáticas (ZB) do Estado de Mato Grosso.

De forma geral, a partir das bases de dados utilizadas na pesquisa e considerando ainda o recorte estabelecido, verificou-se que até o presente momento poucos trabalhos desenvolvidos no Brasil utilizam arquivos climáticos locais para as simulações termoenergéticas, devido à dificuldade de elaboração de um arquivo padrão, já que envolve diversas variáveis climáticas para sua concepção. Dessa forma, a ferramenta *CCWorldWeatherGen* designou-se como um importante instrumento e de fácil manuseio. Para esta finalidade, os dados concedidos pelo IPCC mostraram-se fundamentais na previsão do comportamento térmico das edificações, considerando as tendências futuras de aquecimento.

Considerando o anteriormente exposto, o estudo dos efeitos das alterações no clima sobre o comportamento térmico e energético das edificações, torna-se extremamente importante quando se objetiva elevar a resiliência das edificações para absorver os impactos das mudanças climáticas previstas por meio de estratégias passivas, com o intuito de fornecer melhores condições de conforto térmico, além de promover a eficiência energética da edificação, contribuindo para um futuro sustentável.

3. METODOLOGIA

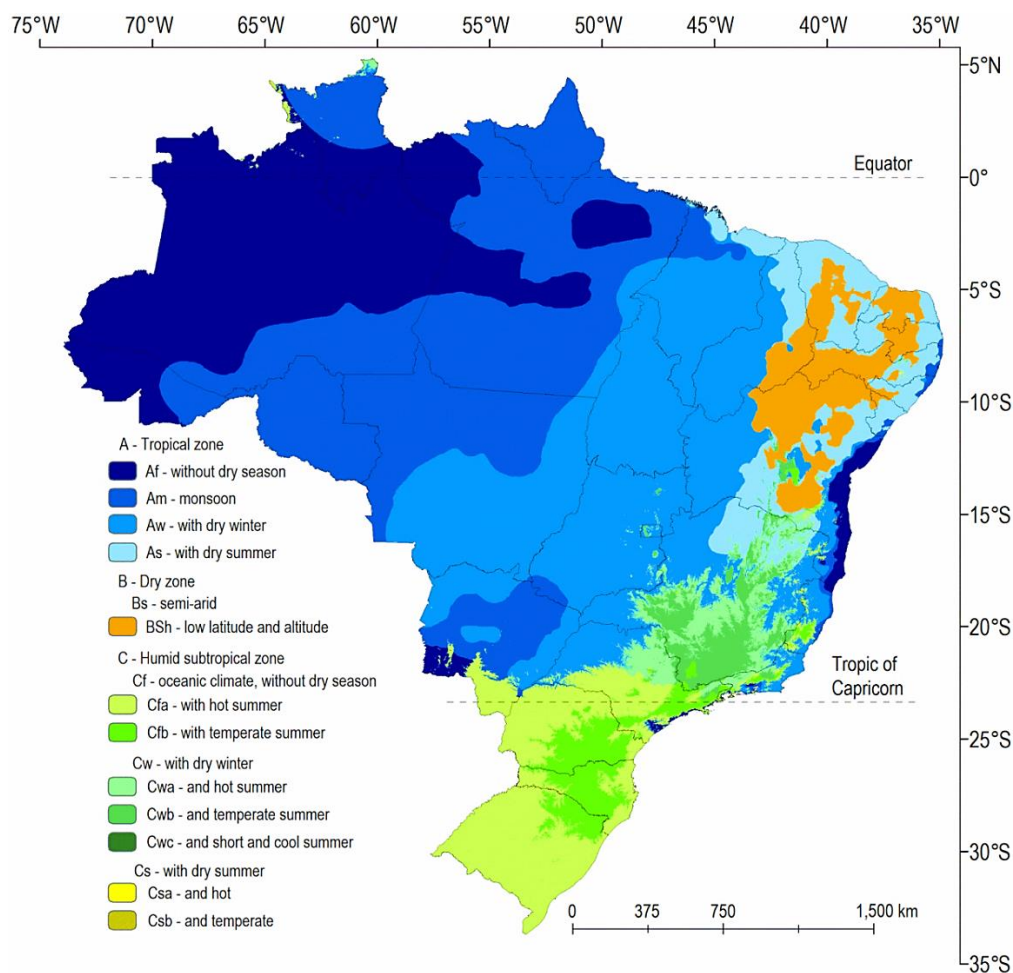
Para formulação do método a partir do qual esta pesquisa foi desenvolvida, três etapas principais foram delineadas na busca pelos efetivos resultados esperados. A primeira trata-se da seleção de cidades, suas características climáticas e da preparação de arquivos futuros para a posterior avaliação do desempenho térmico da edificação, considerando as possíveis mudanças do clima. A segunda etapa, refere-se às questões relacionadas às simulações termoenergéticas envolvendo a configuração dos modelos virtuais com as características da tipologia utilizada como referência e com as medidas de adaptação. Por fim, a terceira etapa, apresenta a metodologia para avaliação do desempenho térmico das edificações.

3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES E CONFIGURAÇÃO DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Para a definição da metodologia de configuração dos arquivos climáticos futuros, foram realizados levantamentos bibliográficos em pesquisas nacionais e internacionais publicadas a respeito do tema. Apesar de ser considerada uma prática relativamente recente, muitos pesquisadores vêm adotando este método para avaliar o desempenho futuro do ambiente construído, possibilitando assim o conhecimento dos benefícios proporcionados por esse tipo de investigação, e da complexidade em elaborar um cenário climático futuro adequado ao uso em *softwares* de simulação computacional de edificações.

3.1.1 Critérios para a seleção de cidades

O Brasil é caracterizado por uma vasta extensão territorial, com área de aproximadamente 8.510.820,623 km², configurando-se como o maior país da América Latina e o quinto maior do mundo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). Diante dessas proporções continentais, a amplitude do território brasileiro apresenta também regiões caracterizadas por climas distintos, distribuídos em três zonas e 12 tipologias climáticas, segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES, *et al.*, 2014), apresentada na Figura 8.

Figura 8: Classificação climática de Koppen-Geiger para o Brasil.

Fonte: Alvares e outros (2014).

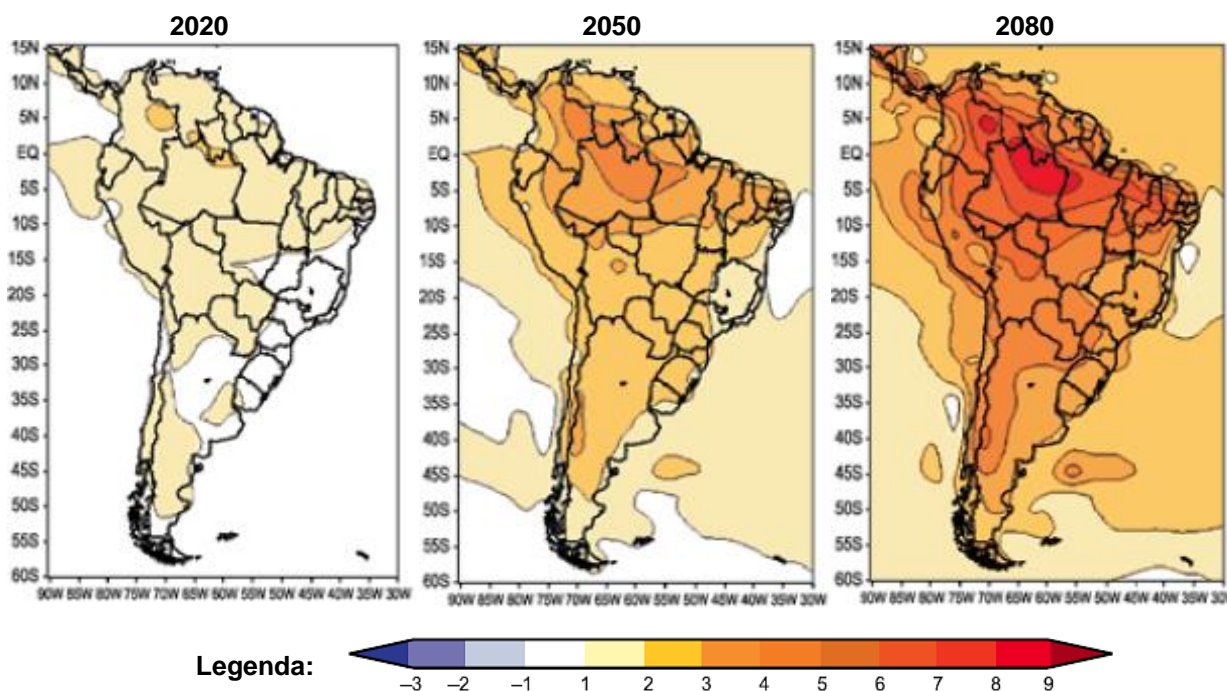
Com o objetivo de alcançar uma representação mais ampla das diferentes condições climáticas e geográficas do território brasileiro, foram estabelecidos dois critérios fundamentais para a definição das cidades a serem estudadas, buscando compreender as diversas particularidades de cada região e como será o comportamento de cada uma delas sob o contexto das mudanças climáticas:

- 1) Obrigatoriamente cidades submetidas a diferentes condições climáticas futuras, de acordo com projeções do modelo HadCM3, para o cenário de emissões A2;
- 2) Preferencialmente cidades capitais, situadas em diferentes latitudes e zonas bioclimáticas (ZB), com arquivo climático disponível em formato TRY ou EPW, aptos para a utilização na ferramenta de conversão.

Em análise aos mapas de anomalias projetadas pelo modelo climático global HadCM3, para a estação do Verão em relação ao período base 1961-1990, verificou-

se que o aumento na temperatura do ar apresentará um comportamento distinto entre as regiões brasileiras até o ano de 2080 (Figura 9).

Figura 9: Projeções de anomalias de temperatura para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em relação ao período base 1961-90, para a América do Sul no cenário A2, pelo modelo HadCM3 para os períodos de 2020, 2050 e 2080.



Fonte: Marengo (2007).

Para o período de 2020, será observado um aquecimento de até 2°C para a região Norte, e em partes das regiões Nordeste e Centro-Oeste.

Em 2050, todo o território nacional apresentará elevação na temperatura do ar, contudo, os maiores aumentos serão observados para a porção Norte da Amazônia, em até 5°C. As regiões Centro-Oeste, Sul e parte da Nordeste, sofrerão com acréscimo de até 4°C, e para a faixa compreendida entre o litoral Norte de São Paulo até, aproximadamente, o litoral do Rio Grande do Norte, indicará um aumento de até 2°C nas temperaturas para este período.

O período de 2080 será quando ocorrerão as maiores anomalias, concentradas na porção Norte do país, podendo atingir até 8°C próximo à cidade de Manaus, diminuindo gradativamente em direção a porção Sudeste do mapa, no entanto, registrando um aumento de até 5°C desde o Rio Grande do Sul até o Estado de Goiás.

Tendo em vista os aspectos observados, verificou-se que as cidades localizadas nas menores latitudes do Brasil, apresentarão maior acréscimo na temperatura do ar. Em

contrapartida, aquelas situadas nas maiores latitudes apresentarão as menores elevações, no entanto, todo o país sofrerá com o aumento das temperaturas, que acarretará em inúmeras mudanças.

Em atendimento ao primeiro critério estabelecido anteriormente, foram verificadas três regiões do país onde as alterações climáticas serão percebidas com maior intensidade, atuando de maneiras distintas em cada uma delas: a região Norte, mais especificamente à nordeste do Amazonas, a região Central e a Sul do país.

Tomando como base esta primeira triagem, considerando as três regiões citadas como as mais afetadas pelas mudanças no clima, foram selecionados quatro municípios para investigação, situados em diferentes latitudes e zonas bioclimáticas, a fim de atender também ao segundo critério estabelecido, resultando assim, nas cidades destacadas na Figura 10.

Figura 10: Cidades selecionadas para investigação.



Fonte: Adaptado de Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (2018).

Para representar a porção Norte do Brasil e as particularidades das mudanças climáticas projetadas para a região, foi selecionada a cidade de Manaus, no Estado do Amazonas, localizada na ZB8. Devido a sua posição geográfica (LAT 3°10' S), apresenta maior tendência de anomalias pluviométricas, com extensos períodos chuvosos, secas prolongadas e aumento nas temperaturas médias mensais do ar em até 9°C até o período de 2100 (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016). Além disso, Manaus destaca-se ainda, dentre as demais capitais da região Norte do país, devido à sua importância socioeconômica e pela maior concentração populacional, estimada em aproximadamente 2.145.444 de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018).

Apesar de não possuir arquivo climático formatado para o período de 1961-1990, como recomendado pela ferramenta de conversão, foi utilizado neste estudo, o arquivo em formato EPW, referente aos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o ano de 2016, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. Foram realizados testes prévios quanto à conversão do arquivo atual para os períodos futuros, e quanto às simulações computacionais do edifício, sendo possível constatar que o arquivo climático utilizado não apresentou nenhuma inconsistência na conversão e, tampouco, nas simulações mostrando-se condizente com os resultados esperados.

Para a região central do país, delineada a partir dos mapas de anomalias, foi escolhida a cidade de Brasília (LAT 15°78'S) em virtude de sua relevância como Capital Federal, configurando-se ainda como a quarta cidade mais populosa do país, estimada em 2.974.703 habitantes, (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). Além disso, está localizada na ZB4, apresentando condições climáticas diversas devido à distância em relação ao litoral, com projeção de acréscimo de até 4°C na temperatura do ar (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016).

A seleção da cidade de Porto Alegre, foi motivada pela posição geográfica desta capital, situada na extrema latitude sul do país (LAT 30°03'S) e inserida na ZB3. É considerada, segundo pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como a décima cidade mais populosa do Brasil, estimada em 1.479.101

peças, e poderá sofrer até o ano de 2100, um aumento de 4°C na temperatura do ar (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016).

Por fim, a cidade de Vitória, situada na ZB8, foi escolhida para a avaliação, por ser a capital na qual a pesquisa está sediada. Ademais, localiza-se na zona costeira brasileira, indicada com alta exposição à elevação do nível do mar (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016c) e ameaçada pelas alterações climáticas, apresentando projeções de aumento na temperatura do ar em até 4°C e redução da precipitação em até 2mm/dia até o período de 2100.

Apesar das cidades de Manaus e Vitória estarem classificadas dentro da mesma zona bioclimática (ZB8), o projeto de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro proposto por Roriz (2012), diferencia significativamente o clima de ambas as cidades.

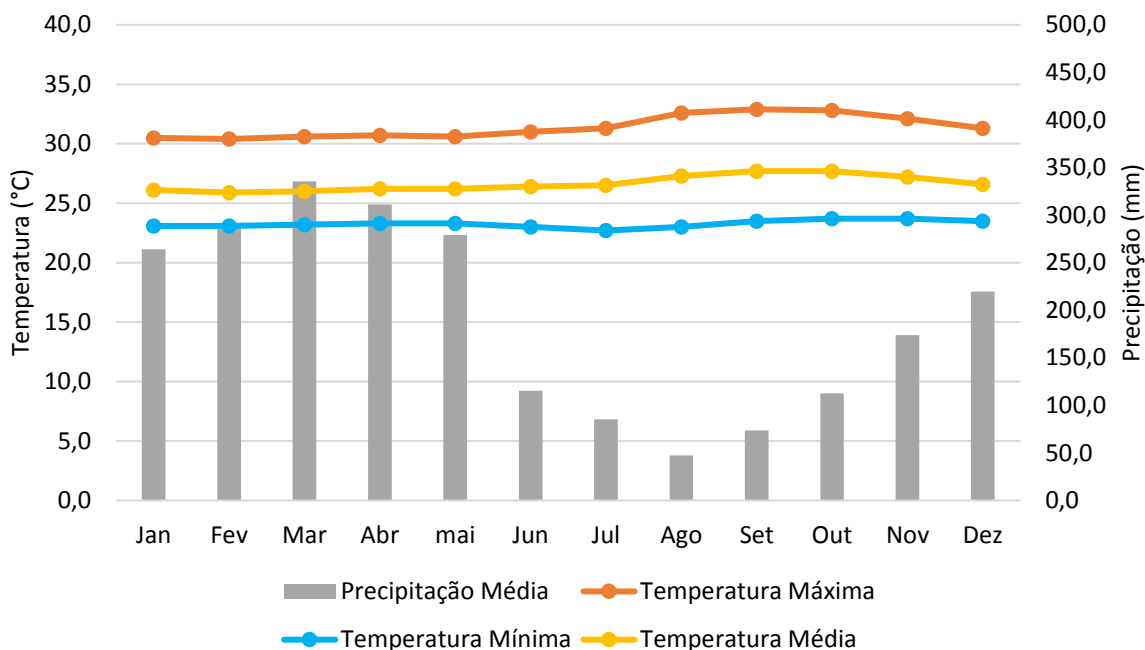
3.1.2 Características climáticas das cidades

Para cada uma das cidades selecionadas, fez-se necessário conhecer as características climáticas, com intuito de compreender e verificar o comportamento da edificação frente ao fenômeno das mudanças projetadas para o clima futuro.

I. MANAUS

A cidade de Manaus, possui, segundo a classificação de Köppen-Geiger, clima tropical com estação seca, (ALVARES *et al.*, 2014). Os valores máximos e mínimos mensais de temperatura, bem como os valores médios mensais de precipitação, são apresentados na Figura 11. A temperatura média anual é de 26,65°C, podendo sofrer algumas variações, que indicam mínima de 22,7°C para o mês de julho, e máxima de 32,9°C para o mês de setembro. A precipitação média anual registrada é de 2307,4mm, com alta precipitação nos meses de janeiro a maio, e baixa precipitação no mês de agosto. A umidade relativa possui média com variação de 77% a 88% ao longo do ano (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018).

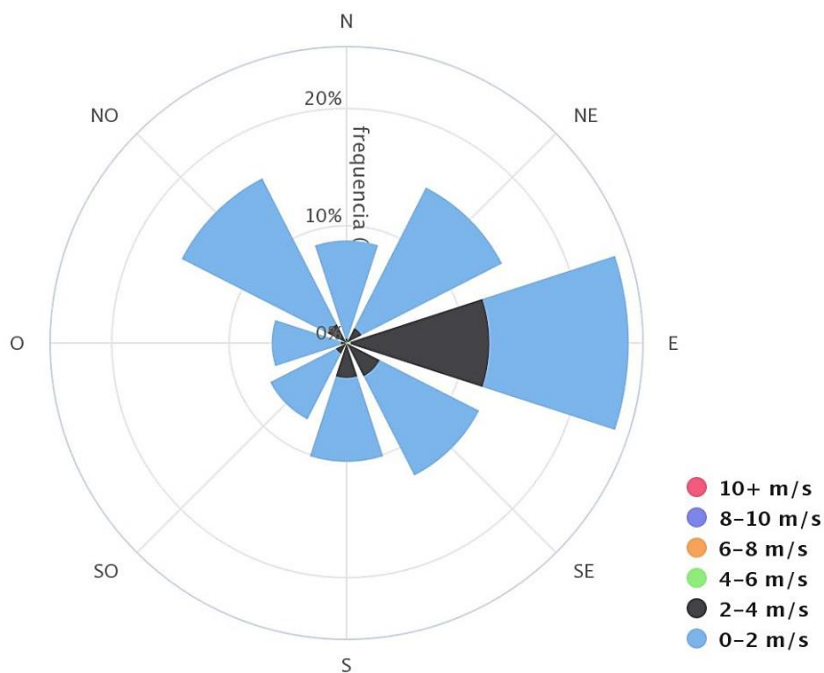
Figura 11: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Manaus com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.



Fonte: A autora, com base em Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

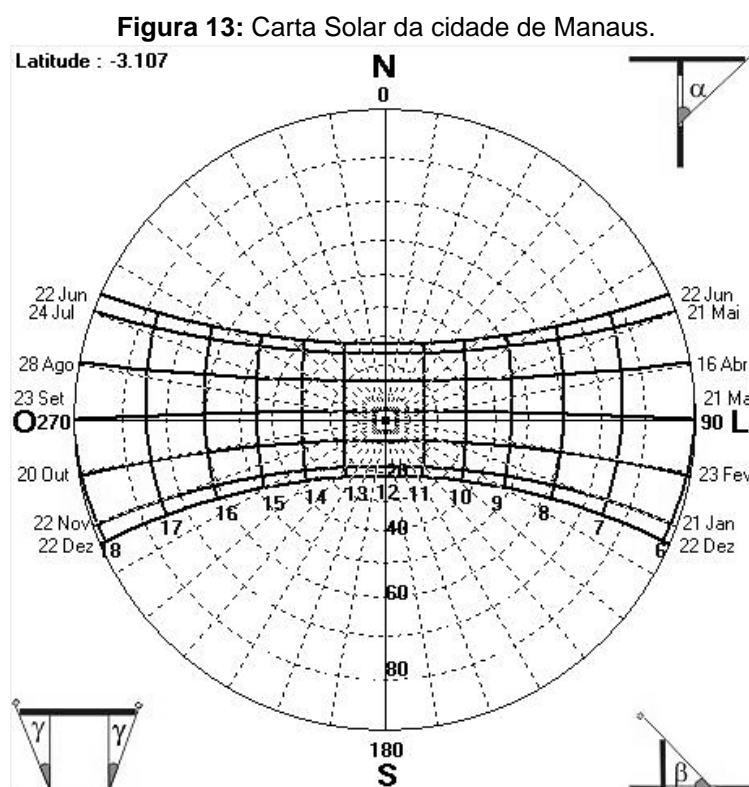
A maior frequência de incidência de ventos para cidade de Manaus, ocorre para os quadrantes Leste durante aproximadamente 28% do ano e para Noroeste durante 16%, no entanto, as maiores velocidades do vento ocorrem para Leste, com velocidades entre 2 e 4 m/s, observados na Figura 12.

Figura 12: Frequência de ocorrência, direção e velocidade dos ventos, para a cidade de Manaus.



Fonte: Projeteeee - Manaus (2018).

A carta solar da cidade de Manaus (LAT 3°10' S), apresentada na Figura 13, demonstra a incidência solar predominante para cada orientação. Observa-se que a insolação para as orientações Norte e Sul acontecem quase que de forma simétrica, devido à alta latitude da cidade, bem próxima a Linha do Equador (LAT 0°), apresentando ligeiras diferenças entre si. A orientação Norte recebe incidência solar durante os meses de março a setembro ao longo de todo o dia, enquanto a orientação Sul recebe insolação nos meses de janeiro e fevereiro, e posteriormente de outubro a dezembro, durante o dia todo. Neste caso, a orientação Sul é mais prejudicada devido ao tempo de exposição ao sol ao durante o dia e ao longo dos meses mais quentes de Primavera e Verão.

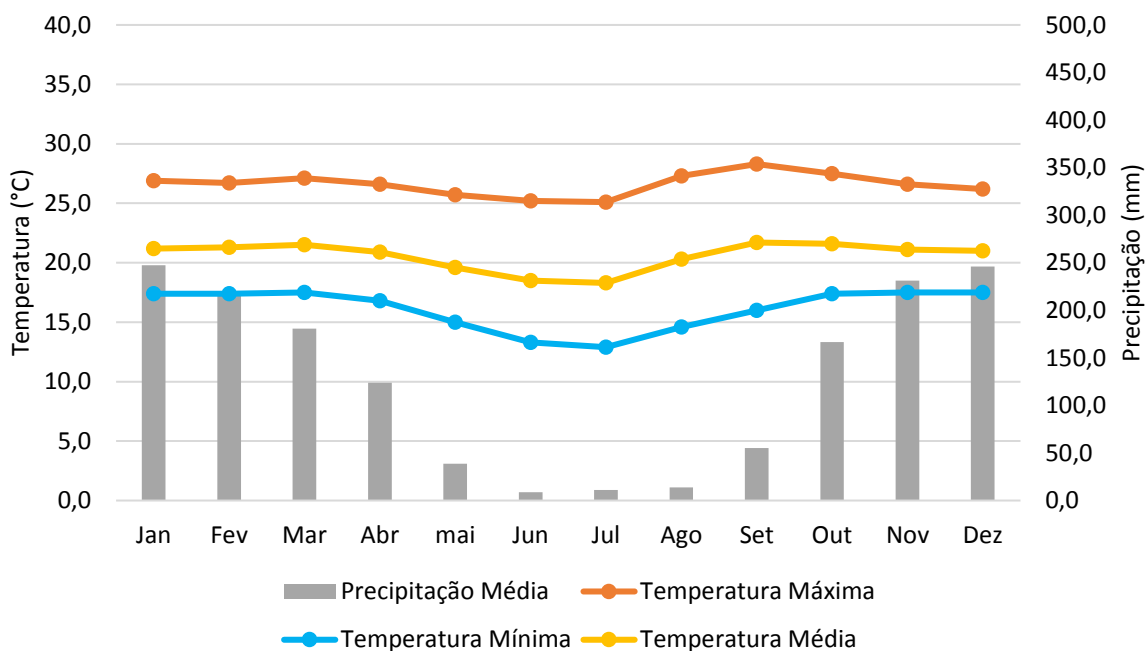


II. BRASÍLIA

A cidade de Brasília caracteriza-se por possuir um clima tropical com estação seca no Inverno, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2014). Os valores máximos e mínimos mensais de temperatura, bem como os valores médios mensais de precipitação, são apresentados na Figura 14. A temperatura média anual é de 20,58°C, podendo sofrer algumas variações, que indicam mínima de 12,9°C para o

mês de julho, e máxima de 28,3°C para o mês de setembro. A precipitação média anual registrada é de 1540,6mm, com alta precipitação nos meses de outubro a abril, e baixa precipitação no Inverno, de maio a agosto. A umidade relativa possui uma média, com variação de 49% a 79% ao longo do ano, (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018).

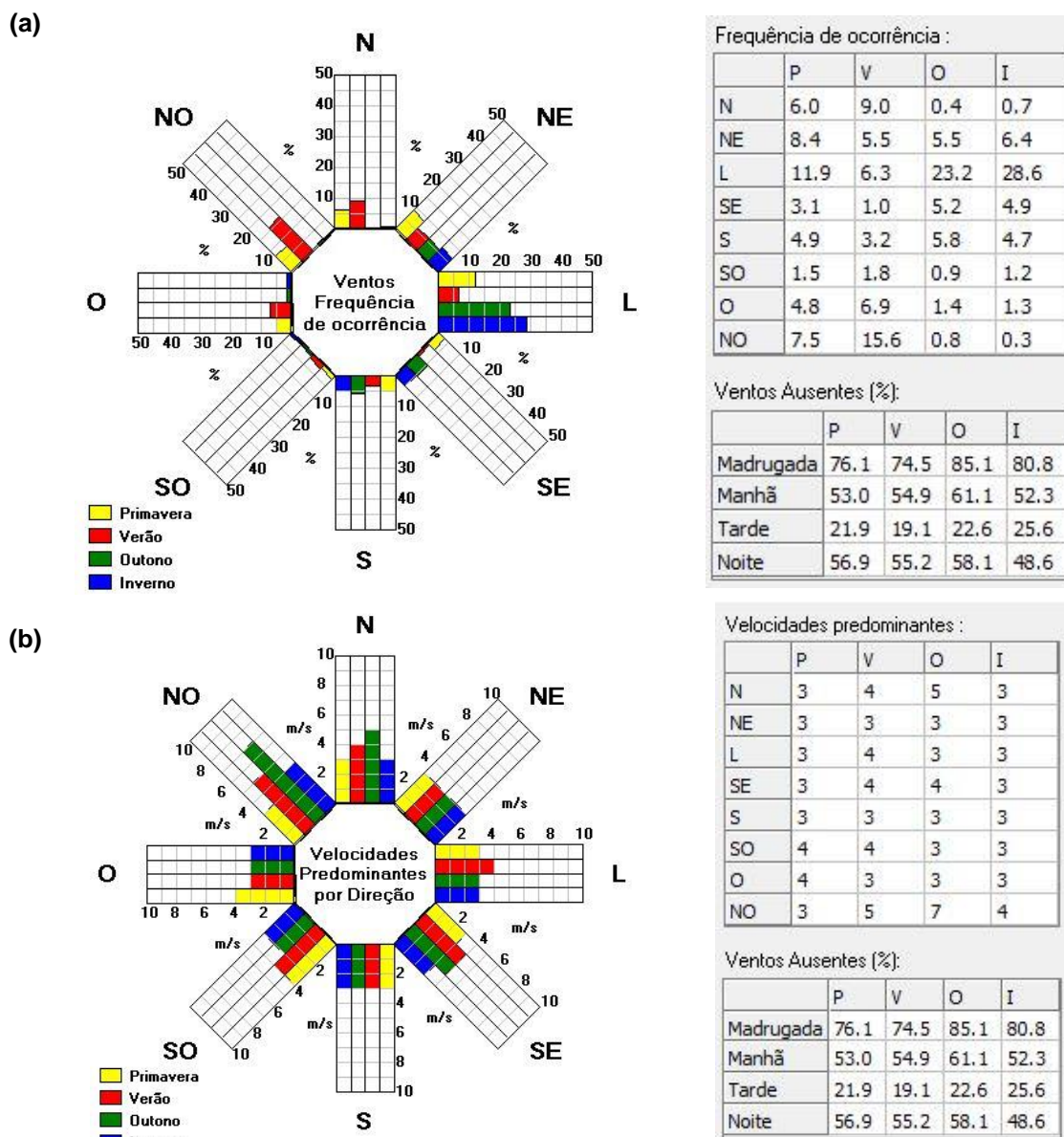
Figura 14: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Brasília com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.



Fonte: A autora, com base em Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

A maior frequência de incidência de ventos para cidade de Brasília, ocorre para os quadrantes Leste, principalmente para as estações do Outono e Inverno. No entanto, as maiores velocidades ocorrem para a orientação Noroeste para o período do Outono e Verão, apresentando maior predominância de ventos no período da tarde, com velocidades variando entre 3 e 7 m/s, verificados na Figura 15.

Figura 15: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Brasília.
a) Frequência de ocorrência do vento; b) Direção e velocidade do vento.

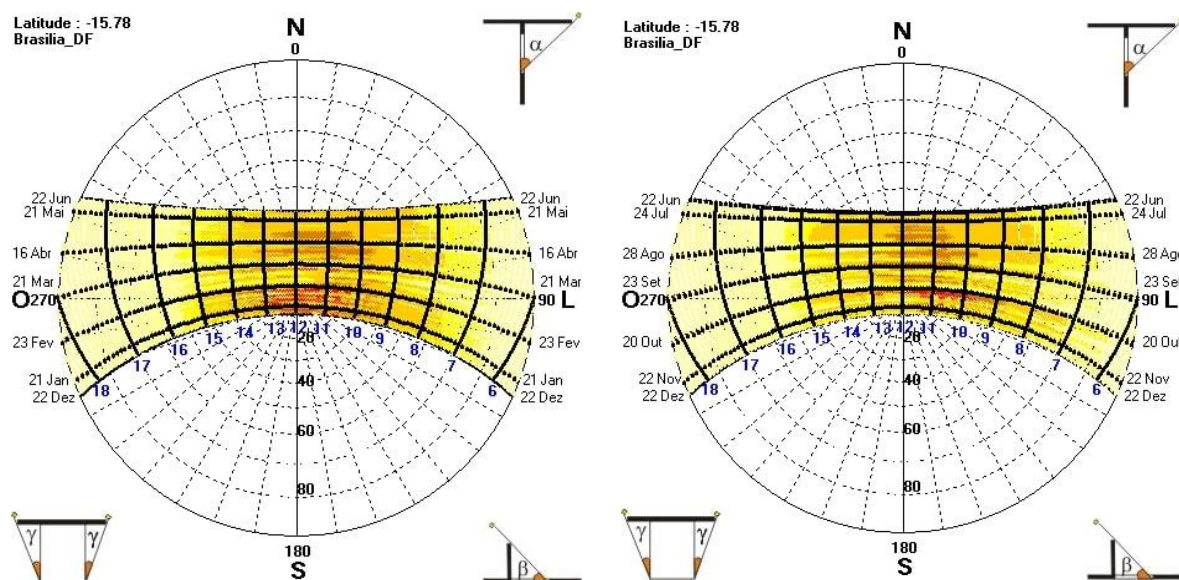


Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2.

A carta solar da cidade de Brasília (LAT 15°78' S), ilustrada na Figura 16, apresenta-se de forma muito semelhante à carta solar de Vitória devido a latitude próxima. Observa-se para as orientações Leste e Oeste incidência de sol nos períodos da manhã e da tarde, durante todos os meses do ano. A orientação Norte, recebe insolação durante todo o dia nos meses de março a setembro, e nos meses de fevereiro e outubro de 8h00 às 16h00. A orientação Sul, recebe insolação durante todo o dia nos meses de novembro dezembro e janeiro, enquanto os meses de

fevereiro e outubro recebem o sol no começo da manhã, antes das 9h00 e no fim da tarde, após as 15h00.

Figura 16: Carta solar da cidade de Brasília.

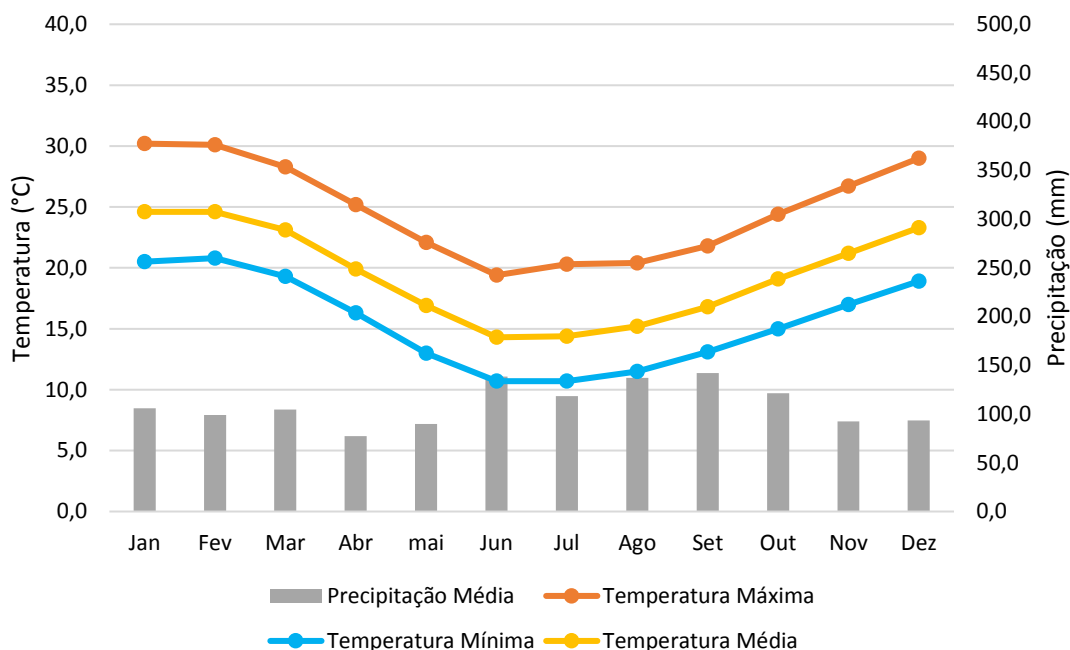


Fonte: Projeteee - Brasília (2018).

III. PORTO ALEGRE

A cidade de Porto Alegre é classificada, de acordo com Köppen-Geiger, com clima subtropical úmido com Verão quente (Alvares *et al.*, 2014). Os valores máximos e mínimos mensais de temperatura, bem como os valores médios mensais de precipitação, são apresentados na Figura 17. A temperatura média anual é de 19,45°C, podendo sofrer algumas variações, que indicam mínima de 10,7°C para os meses de junho e julho, e máxima de 30,2°C para o mês de janeiro. A precipitação apresenta-se de forma bem distribuída durante o ano, com média anual registrada de 1320,2mm, apontando alta precipitação nos meses de junho a outubro e baixa precipitação no mês de abril. Percebe-se ainda, que os meses mais chuvosos são aqueles que apresentam ainda temperaturas mais baixas. A umidade relativa possui média de 69% a 82% durante o ano (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018).

Figura 17: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Porto Alegre com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.



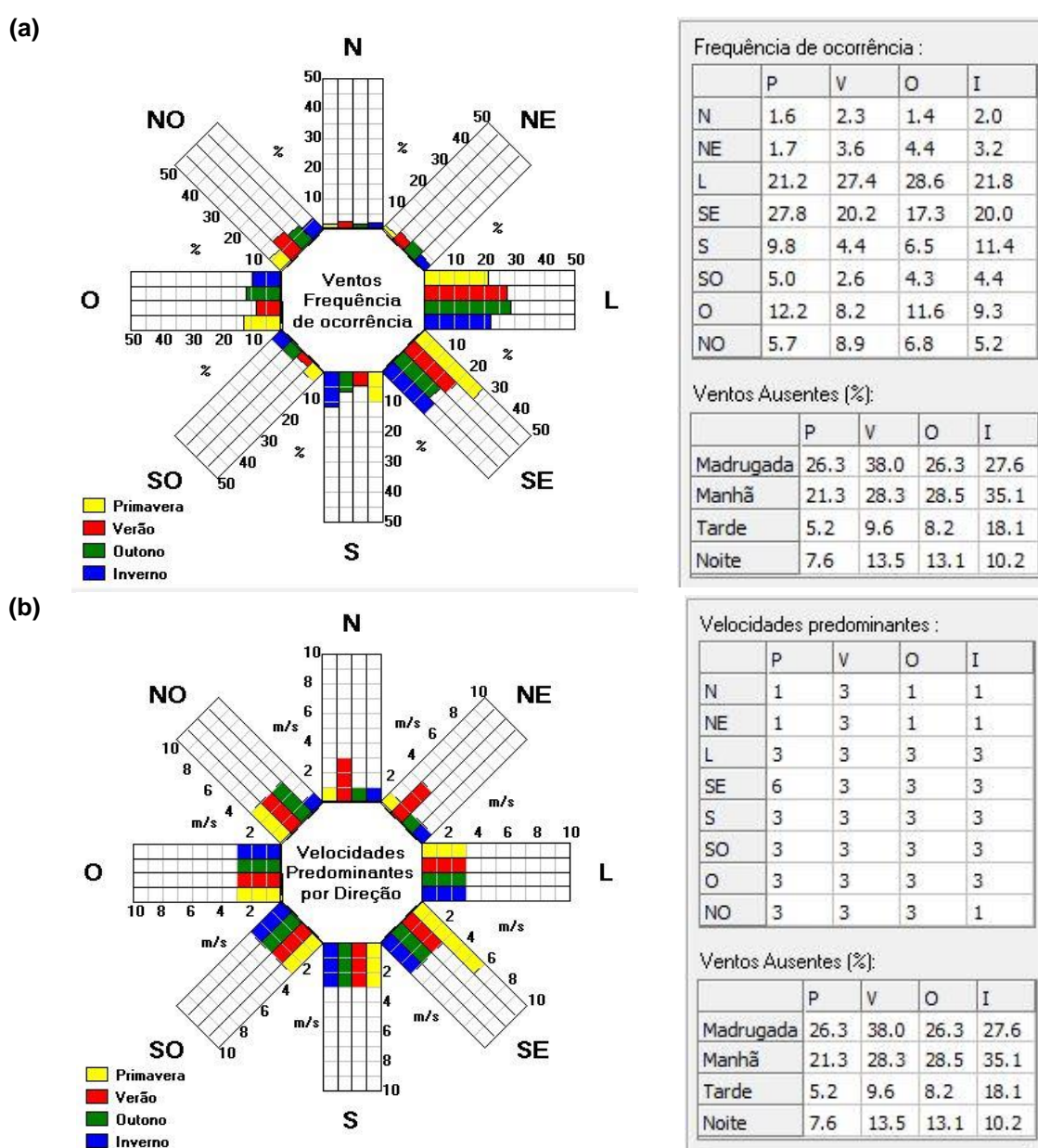
Fonte: A autora, com base em Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

A maior frequência de incidência de ventos para cidade de Porto Alegre, ocorre para os quadrantes Leste, para as estações do Outono e Verão, e para o quadrante Sudeste para as estações da Primavera e Inverno, apresentando maior predominância de ventos no período da tarde. A velocidade do vento atua de forma semelhante para todas as orientações e estações do ano, com média de 3m/s, no entanto, para a orientação Sudeste e na Primavera, a velocidade pode alcançar até 6m/s (Figura 18).

A carta solar da cidade de Porto Alegre (LAT 30°03' S), retratada na Figura 19, apresenta a incidência solar para todos os meses do ano, com variações em relação a cada uma das orientações. Verifica-se que para as orientações Norte e Sul, a incidência solar ocorre de maneira distinta para o período do Verão em relação aos demais períodos do ano, devido a inclinação solar e à alta latitude. A orientação Norte recebe insolação nos meses de março a setembro durante todo o dia. Nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, recebe insolação apenas durante um período restrito do dia. Em fevereiro e outubro recebem sol de 7h00 às 17h00, e nos meses de novembro, dezembro e janeiro, de 9h30 às 14h30. A orientação Sul, por sua vez, apresenta poucas horas de insolação durante o ano, apresentando-se

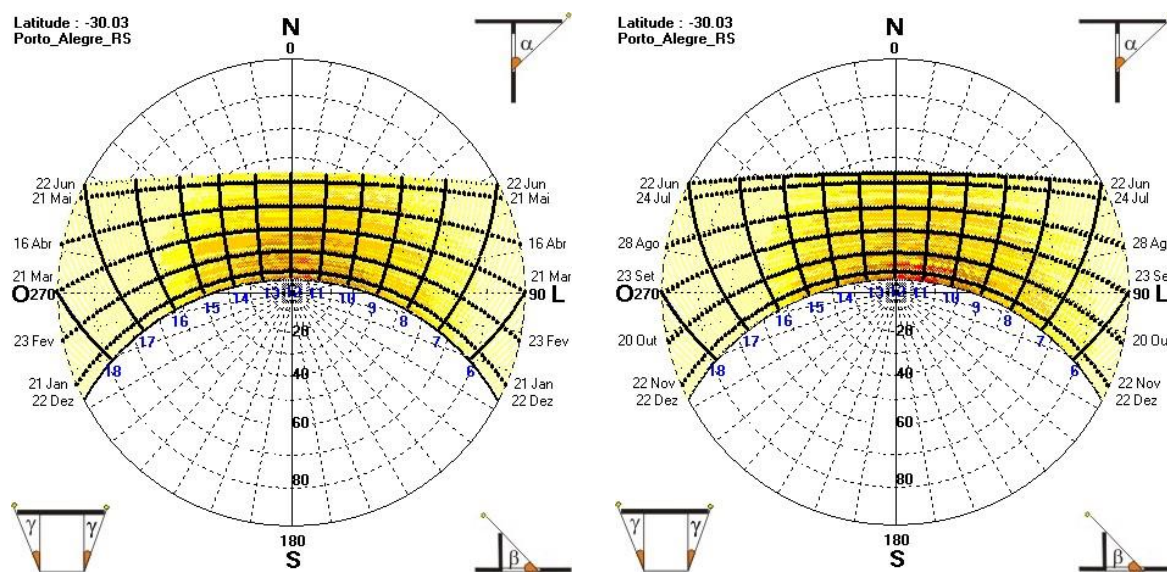
apenas nos meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro com o sol no início da manhã, antes das 9h30 e no meio da tarde, após as 14h30. Desta forma, pode-se concluir que para a cidade de Porto Alegre, a orientação Norte pode ser benéfica para os períodos mais frios do ano, devido aos longos períodos de incidência solar nessa orientação, entretanto, apesar da orientação Sul receber insolação nos meses mais quentes do ano, os horários de incidência permitem uma condição mais favorável ao conforto térmico nessa orientação.

Figura 18: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Porto Alegre.
a) Frequência de ocorrência do vento; b) Direção e velocidade do vento.



Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2.

Figura 19: Carta solar da cidade de Porto Alegre.

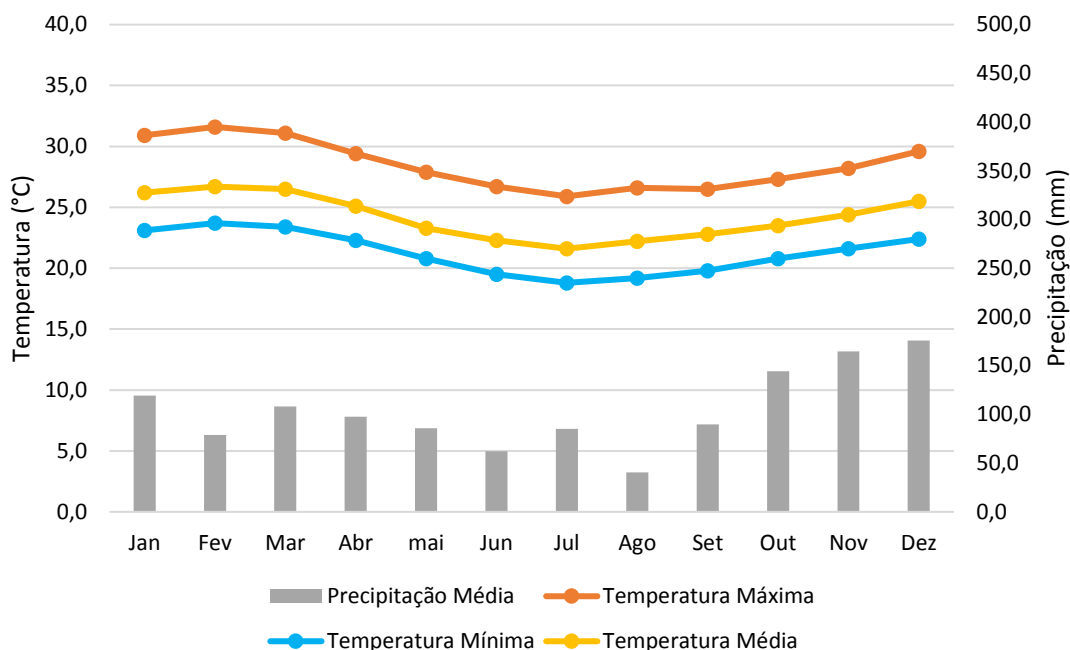


Fonte: Projeteee - Porto Alegre (2018).

IV. VITÓRIA

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a cidade de Vitória possui clima tropical de monções (ALVARES *et al.*, 2014). Os valores máximos e mínimos mensais de temperatura, bem como os valores médios mensais de precipitação para a cidade de Vitória, são apresentados na Figura 20. A temperatura média anual é de 24,17°C, podendo sofrer algumas variações, que indicam mínima de 18,8°C para o mês de julho, e máxima de 31,6°C para o mês de fevereiro. A precipitação média anual registrada é de 1252,3mm, com uma média mínima para o mês de agosto, classificado como o mais seco, e média máxima para o mês de dezembro, considerado o mais chuvoso. A umidade relativa possui média de 75% a 78% ao longo do ano (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018).

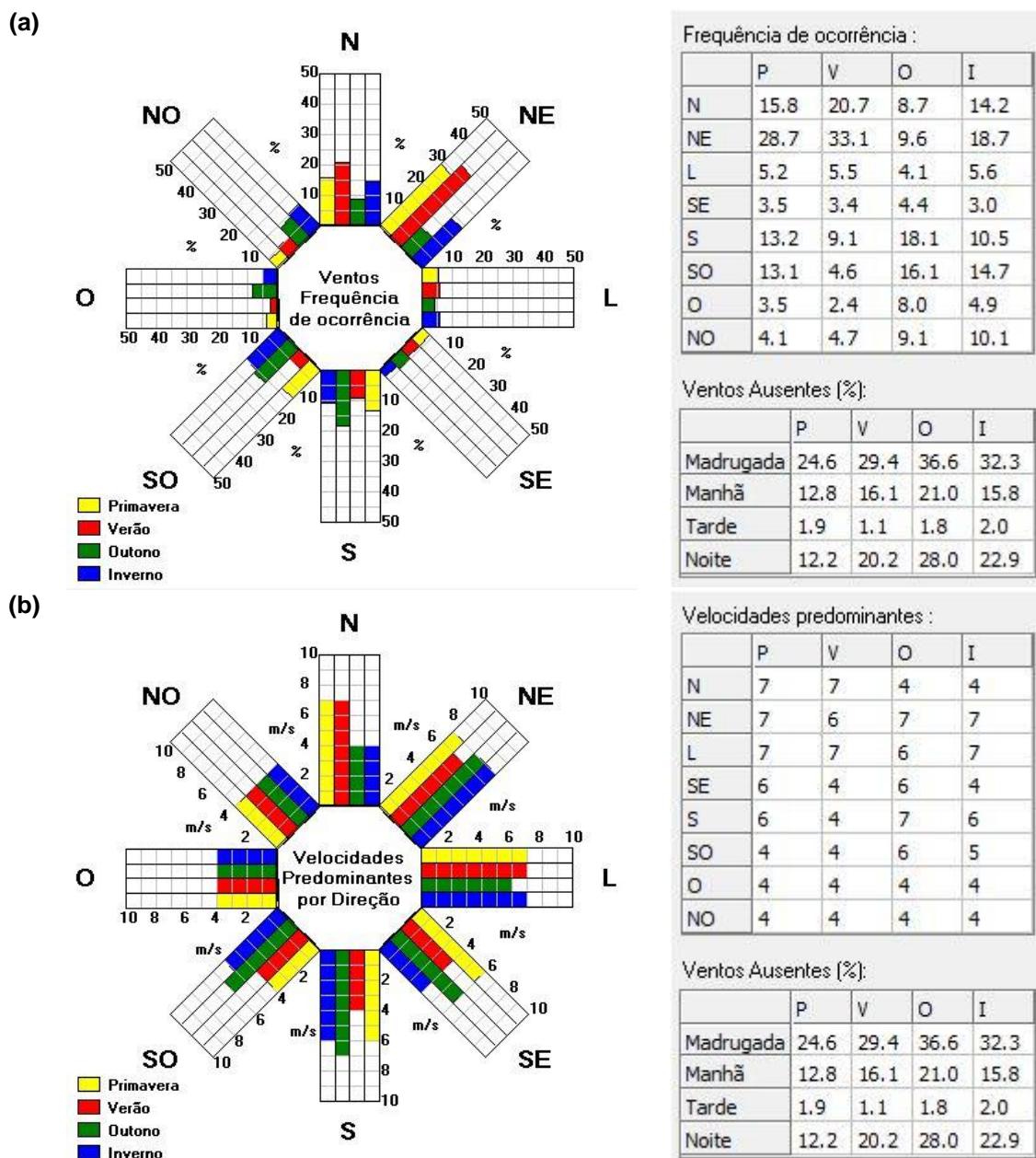
Figura 20: Temperaturas Mínimas e Máximas e Precipitação Média para a cidade de Vitória com base na série histórica de dados de 1961 a 1990.



Fonte: A autora, com base em Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

A maior frequência de incidência de ventos para cidade de Vitória ocorre para os quadrantes Nordeste e Norte, principalmente para as estações do Verão e Primavera, apresentando maior predominância de ventos no período da tarde, com velocidade entre 6 e 7 m/s (Figura 21). De acordo com Bittencourt e Cândido (2006), o período vespertino coincide com as máximas temperaturas do dia, evidenciando a necessidade de maior movimentação de ar no ambiente interno, a fim de que a ventilação natural possa ser utilizada como um artifício para atenuar o desconforto térmico no interior dos ambientes, principalmente nos meses mais quentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 21: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Vitória.
a) Frequência de ocorrência do vento; b) Direção e velocidade do vento.

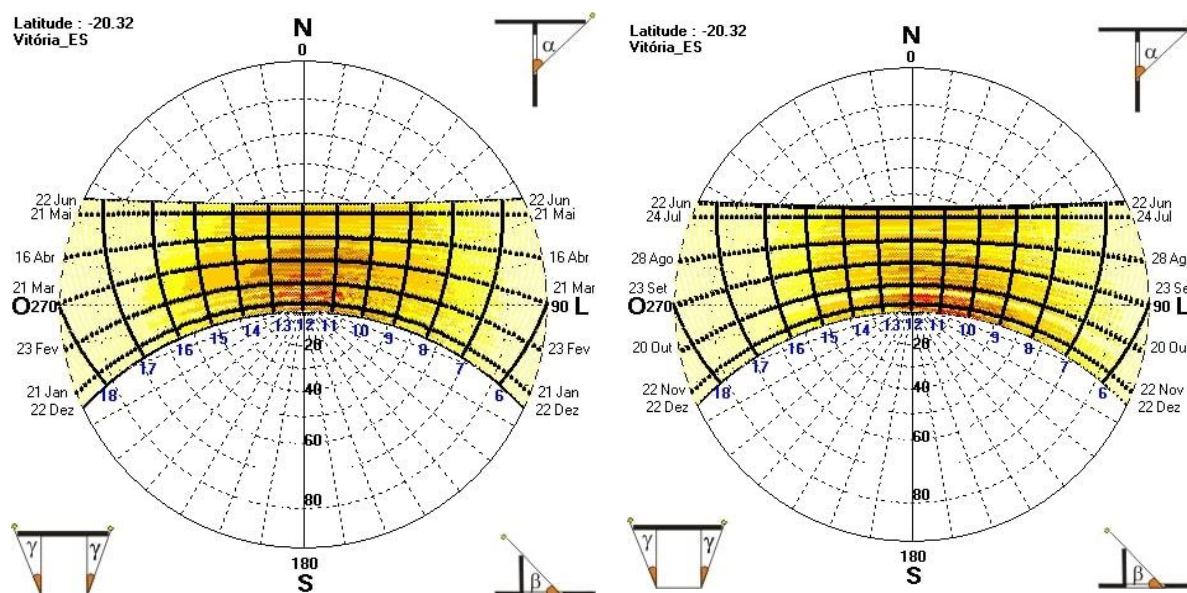


Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2.

A carta solar da cidade de Vitória (LAT 20°32' S), apresentada na Figura 22, revela-se de forma muito semelhante à carta solar de Brasília devido a latitude próxima. Observa-se que para as orientações Leste e Oeste, a incidência de sol ocorre nos períodos da manhã e da tarde, respectivamente, durante todos os meses do ano, em contrapartida, para as orientações Norte e Sul, a incidência solar ocorre de maneira distinta para o período do Verão em relação aos demais períodos do ano, devido a inclinação solar. A orientação Norte, por exemplo, recebe insolação nos meses de

março a setembro durante todo o dia, enquanto nos meses de fevereiro e outubro recebem sol apenas durante um período restrito, de 8h00 às 16h00. A orientação Sul, por sua vez, apresenta-se de forma contrária a orientação Norte, com insolação durante todo o dia nos meses de novembro, dezembro e janeiro, devido à inclinação solar, que predomina durante esses meses apenas para esta orientação, e nos meses de fevereiro e outubro recebem o sol no começo da manhã, antes das 8h00 e no fim da tarde, após às 16h00. Apesar de a orientação Norte receber insolação durante a maior parte do ano, a fachada Sul recebe a insolação no período mais quente. Assim, pode-se concluir que para a cidade de Vitória, a incidência solar é um fator preocupante para todas orientações, seja em função dos longos períodos de incidência, como no caso da orientação Norte, ou ainda pela época do ano, mesmo que para períodos mais curtos, porém de calor intenso, como na fachada Sul.

Figura 22: Carta solar da cidade de Vitória.



Com base nessas informações, foi possível identificar as características climáticas predominantes em cada uma das cidades selecionadas, contribuindo para a compreensão do comportamento das variáveis e como eles se refletem sobre as edificações.

3.1.3 Ferramenta para conversão dos arquivos climáticos

Para conversão de arquivos climáticos atuais em arquivos futuros, foi utilizada a ferramenta *CCWorldWeatherGen* em sua versão 1.9, conforme metodologia proposta por Jentsch e outros (2013). Esta escolha justifica-se pela disponibilidade gratuita e pelos cálculos complementares internos à ferramenta, baseados no método “*morphing*”, que executam modificações em todas as variáveis presentes no arquivo climático base.

A ferramenta consiste em uma planilha eletrônica, cuja interface é apresentada na Figura 23. Para o correto funcionamento deste instrumento são necessários alguns requisitos básicos, como uma instalação válida do *Microsoft Excel* até a versão de 2010 e dados resumidos das previsões do modelo de mudança do clima HadCM3 para o cenário A2, disponibilizados pelo IPCC (JENTSCH; BAHAJ; JAMES, 2017).

Figura 23: Interface da ferramenta *CCWorldWeatherGen*.

CCWorldWeatherGen climate change weather file generator V1.9 [manual](#)
 For transforming EPW weather files into climate change TMY2/EPW files. (Acknowledgements & disclaimer of warranties below)

Specify the HadCM3 data file path: C:\CCWorldWeatherGen\HadCM3data

Summary of combined HadCM3 A2 ensemble climate change predictions for the selected weather site

No scenario selected

		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Daily mean temperature	TEMP (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum temperature	TMAX (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Minimum temperature	TMIN (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Horizontal solar irradiation	DSWF W/m ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total cloud cover	TCLW % points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total precipitation rate	PREC %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative humidity	RHUM % points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mean sea level pressure	MSLP hpa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wind speed*	WIND %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* Please note that wind speed resides on a 96x72 grid whilst all the other data is on a 96x73 grid

EPW weather file selection

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

No weather file selected Latitude: 0.00 N
 Longitude: 0.00 E
 Elevation: 0 m

HadCM3 scenario timeframe selection

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

2020's 2050's 2080's Load Scenario

Closest four HadCM3 96x73 grid points to

	A	Latitude:	Longitude:
No weather file selected	B	0.00 N	0.00 E
	C	0.00 N	0.00 E
No scenario selected	D	0.00 N	0.00 E

EPW weather file morphing

(3) Click button to start morphing procedure

Start Morphing Procedure

Current morphed EPW weather file:

No morphed weather file

EPW/TMY2 weather file generation

(4) Click the appropriate button for EPW / TMY2 file generation

Generate Climate Change EPW Weather File

Generate Climate Change TMY2 Weather File

To create a TMY2 file of the original EPW file click the button below:

Generate Present-Day TMY2 Weather File form EPW data

Fonte: *Ccworldweathergen* (2017).

São necessárias ainda algumas alterações nas configurações do computador antes de iniciar o processo de transformação dos arquivos, como definir o ponto (.) como símbolo decimal padrão e a vírgula (,) como símbolo de agrupamento de dígitos. Após esta pré-configuração, foram necessários quatro procedimentos para obter os arquivos futuros.

Para dar início a conversão dos arquivos, primeiramente, inseriu-se o arquivo climático atual em formato EPW referente a cada uma das quatro cidades selecionadas (Manaus, Brasília, Porto Alegre e Vitória), obtidos por meio do site do LabEEE (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2018).

Após essa primeira etapa, foi selecionado o período para o qual desejou-se converter o arquivo (2020, 2050 ou 2080) e o tipo de extensão pretendida (EPW ou TMY2) para assim iniciar o processo de transformação. Neste estudo, optou-se pelos arquivos futuros em formato EPW para as quatro cidades selecionadas e para os três períodos de tempo, a fim de investigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o comportamento da edificação.

Diante desses aspectos, a utilização de arquivos climáticos futuros, empregados às simulações termoenergéticas podem servir como método de predição para o comportamento dos edifícios frente às mudanças climáticas, contribuindo para encontrar respostas que indiquem a direção para o alcance de um melhor desempenho térmico e energético do edifício, com menor consumo de energia (MONTES, 2016).

3.2 SIMULAÇÕES TÉRMICAS E CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS

A segunda etapa da pesquisa, compõe os procedimentos fundamentais para a análise do desempenho térmico da edificação por meio de simulação computacional, levando em consideração os arquivos climáticos futuros anteriormente configurados, as informações relativas ao objeto de estudo, bem como as variáveis inseridas no modelo virtual, descritas a seguir.

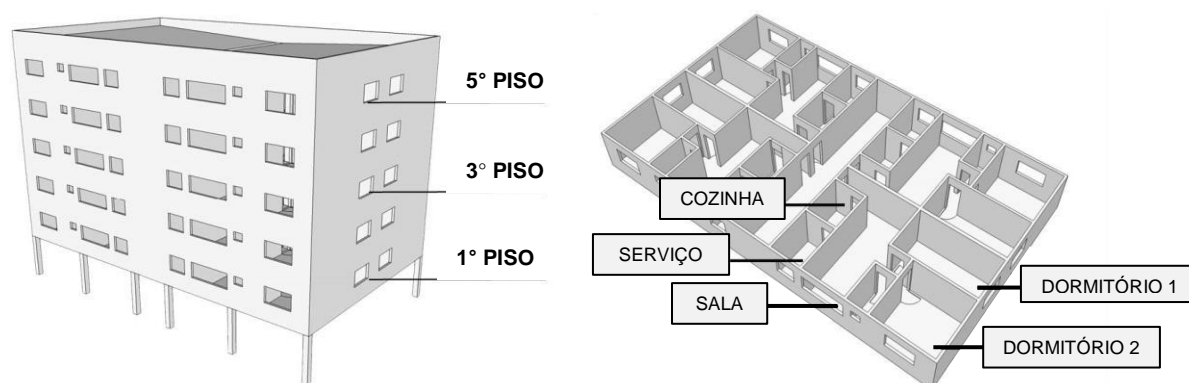
3.2.1 Caracterização do objeto de estudo

A tipologia arquitetônica adotada para esta avaliação refere-se a uma edificação residencial multifamiliar hipotética, implantada nas quatro cidades brasileiras anteriormente selecionadas, buscando representar as características comuns dos edifícios construídos em diferentes regiões do Brasil.

O modelo representativo para as simulações computacionais baseou-se no padrão de edificação residencial estabelecido pelo RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012), proposto por Sorgato e outros (2012), utilizado anteriormente em diversas pesquisas (SANTO, 2014; NICO-RODRIGUES, 2015), reiterando a escolha do modelo para esta investigação.

A edificação em questão é constituída por seis pavimentos, sendo o térreo correspondente ao pilotis e os demais, aos cinco pavimentos tipo. Cada pavimento tipo dispõe de quatro unidades habitacionais, compostas por uma sala de estar, dois dormitórios, cozinha, área de serviço e banheiro, totalizando uma área de aproximadamente 70m², conforme identificado na Figura 24.

Figura 24: Modelo de edificação multifamiliar (volumetria e planta baixa).



Fonte: Nico-Rodrigues, 2015.

Tendo em vista que o desempenho térmico das unidades habitacionais do primeiro pavimento sofre influência com as perdas térmicas pela proximidade com o solo, e que as unidades localizadas no último pavimento são influenciadas pelos ganhos de calor provenientes da cobertura (SORGATO, *et al.*, 2012), optou-se, pela seleção de um pavimento intermediário, cujas interferências térmicas da cobertura e do pilotis fossem minimizadas, sendo influenciado somente pelas fachadas.

Nesse sentido, o compartimento selecionado para avaliação do desempenho térmico por meio das simulações computacionais corresponde ao Dormitório 2, por se tratar de um ambiente de longa permanência (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012) situado na extremidade do edifício, possuindo duas fachadas expostas à radiação solar simultaneamente, justificando-se por representar a situação mais crítica termicamente conforme diretrizes da NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), e devido à necessidade de testar a capacidade de desempenho dos elementos construtivos da envoltória, avaliando as alterações das condições internas do ambiente relacionadas ao conforto térmico, quanto ao uso de materiais de vedação convencionais e a utilização de estratégias bioclimáticas para a adaptação das edificação aos efeitos das mudanças climáticas, visando o potencial consumo de energia.

O modelo base (SORGATO *et al.*, 2012) estabelece a dimensão das aberturas, entretanto, neste estudo, foram consideradas as proporções atribuídas pelos códigos de edificações de cada uma das cidades selecionadas, buscando verificar os índices definidos pelas legislações municipais, determinando assim as dimensões mínimas do vão e as condições para iluminação e ventilação, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões mínimas exigidas pelos Códigos de Edificações para cada cidade estudada.

DORMITÓRIO 2 - Área do piso = 15m²			
Cidades	Dimensão mínima*	Área mínima de abertura (m²)	Fonte
Manaus	1/5 da área do piso	3m ²	(AMAZONAS, 2014)
Brasília	1/8 da área do piso	1,88m ²	(DISTRITO FEDERAL, 1998)
Porto Alegre	1/6 da área do piso	2,5m ²	(RIO GRANDE DO SUL, 1992)
Vitória	1/8 da área do piso	1,88m ²	(ESPÍRITO SANTO, 1998)

*Metade desta área deverá ser destinada à ventilação.

Fonte: A autora, com base nas referências da coluna à direita.

Em vista dos aspectos observados, Corbella e Corner (2011) afirmam que nem sempre as áreas mínimas determinadas pelos códigos de obras para as janelas, garantem o cumprimento das necessidades de conforto visual e de renovação de ar, e que, diante disso, outros aspectos deveriam ser considerados, como a adoção de elementos bloqueadores de insolação direta, especialmente quando o dimensionamento é superior ao mínimo requerido.

O modelo de janelas utilizado é constituído por um sistema de abertura de correr em duas folhas, formado por esquadrias em alumínio com panos de vidro incolor, permitindo a abertura de 50% da área da janela para ventilação natural, não possuindo quaisquer elementos de proteção solar, representado na Figura 25.

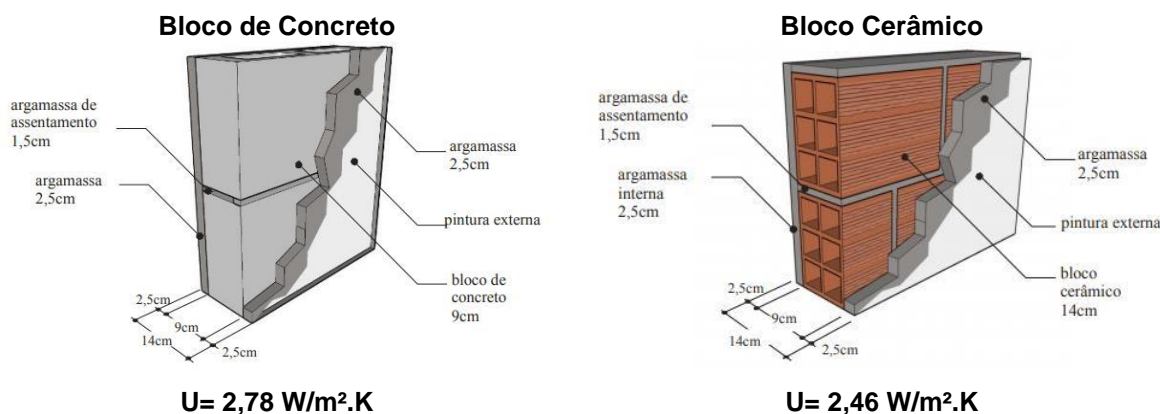
Figura 25: Modelo representativo de janela.



Fonte: Sasazaki (2019).

Para as paredes da envoltória, foram definidos dois tipos de materiais de vedação para teste – o bloco de concreto e o bloco cerâmico –, por serem considerados materiais mais usuais em todo território nacional. Ambos os blocos possuem 9cm de espessura e receberam acabamento com emboço/reboco e pintura de cor clara, tanto para a face interna, quanto para a externa, observados na Figura 26.

Figura 26: Materiais de vedação selecionados para simulação.



Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (2013).

As especificações determinadas para este objeto de estudo, constituíram o modelo de referência adotado para a comparação, e foi denominado como MR.

3.2.2 Proposta de adaptação à edificação

Os elementos construtivos da edificação, principalmente os que dizem respeito à envoltória, são determinantes nas trocas térmicas com o meio externo. Para a definição das melhores estratégias de projeto, foram especificados alguns parâmetros a partir do Modelo de Referência (MR), tendo como premissa a adequação dos elementos da envoltória da edificação – paredes e aberturas – correspondentes às recomendações da NBR 15220-3: 2008, estipuladas para cada uma das cidades e suas respectivas zonas bioclimáticas.

As cidades de Manaus e Vitória se situam na mesma zona bioclimática (ZB8), por esse motivo, possuem diretrizes construtivas semelhantes, de acordo com o apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima das cidades de Manaus e Vitória.

Estratégias de ventilação e sombreamento das aberturas	
Aberturas grandes e sombreadas	A > 40% da área do piso
Estratégia para vedação vertical externa	
Paredes leves e refletoras	Transmitância térmica (U) ≤ 3,60 W/m ² .K
Estratégias de condicionamento térmico passivo	
Manaus	Resfriamento artificial*
Vitória	Desumidificação dos ambientes Ventilação cruzada permanente
(*) A estratégia de resfriamento artificial é estabelecida apenas para a cidade de Manaus.	

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Brasília está situada na ZB 4, e apresenta as seguintes diretrizes construtivas, dispostas no Quadro 3.

Quadro 3: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima da cidade de Brasília.

Estratégias de ventilação e sombreamento das aberturas	
Aberturas médias e sombreadas	15% < A < 25% da área do piso
Estratégia para vedação vertical externa	
Paredes pesadas	Transmitância térmica (U) ≤ 2,20 W/m ² .K
Estratégias de condicionamento térmico passivo	
Brasília	Desumidificação dos ambientes Ventilação cruzada permanente

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Apesar da cidade de Brasília exigir a utilização de paredes pesadas ($U \leq 2,20 \text{ W/m}^2.\text{K}$), os materiais de vedação empregados no MR possuem transmitância superior ao estabelecido pela norma para esta cidade, no entanto, reitera-se que os blocos especificados são comumente utilizados para as tipologias de vedação tradicionalmente utilizadas no mercado brasileiro para edificações habitacionais multifamiliares (CALDAS; CARVALHO, 2018), por isso foi mantido.

Para a cidade de Porto Alegre, localizada na ZB3, as recomendações construtivas seguem descritas no Quadro 4.

Quadro 4: Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima da cidade de Porto Alegre.

<i>Estratégias de ventilação e sombreamento das aberturas</i>	
Aberturas médias com sol no Inverno	15% < A < 25% da área do piso
<i>Estratégia para vedação vertical externa</i>	
Paredes leves e refletoras	Transmitância térmica (U) $\leq 3,60 \text{ W/m}^2.\text{K}$
<i>Estratégias de condicionamento térmico passivo</i>	
Porto Alegre	Desumidificação dos ambientes Ventilação cruzada permanente

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

O principal objetivo das alterações propostas, foi permitir a avaliação da influência das estratégias bioclimáticas, enquadradas nos parâmetros normativos para diferentes zonas bioclimáticas, quanto ao desempenho térmico das edificações para o clima futuro.

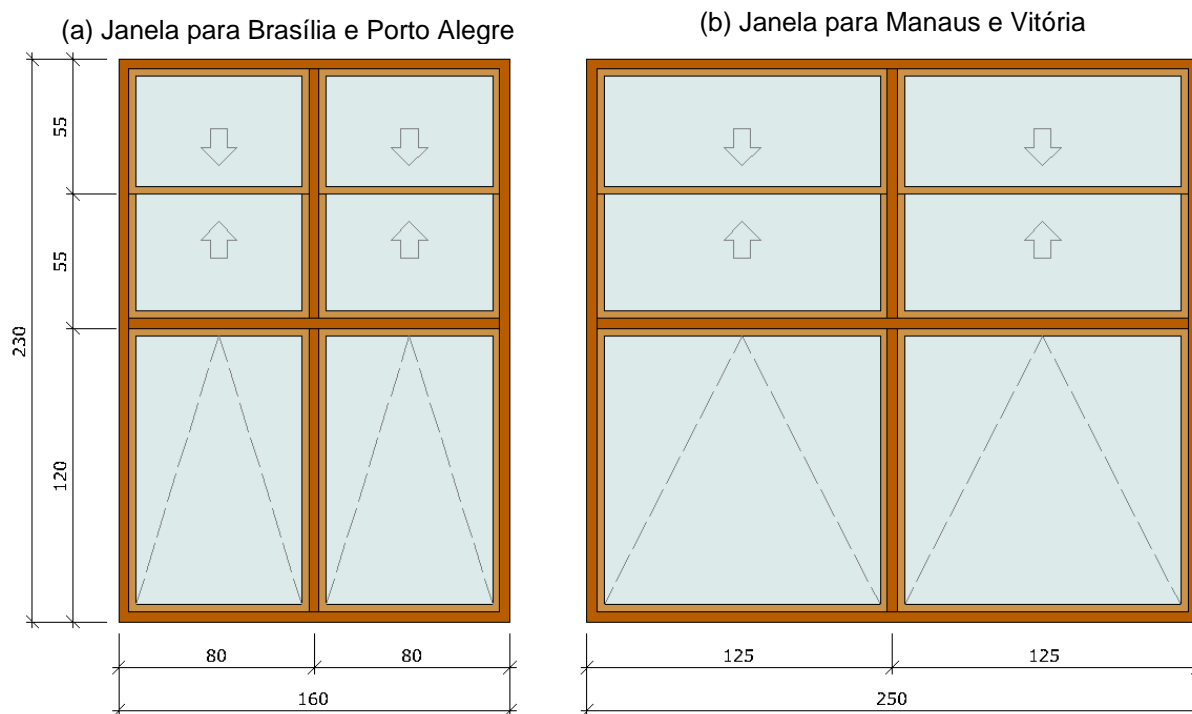
Assim, buscando atender aos critérios estabelecidos pela NBR 15220-3:2008, verificou-se que, para todas as cidades selecionadas, as principais estratégias estabelecidas foram a desumidificação dos ambientes, a ventilação cruzada, o sombreamento e o maior dimensionamento das aberturas, em contraposição ao proposto pelos códigos de edificações de cada cidade.

Para adequação do MR aos parâmetros instituídos pela NBR 15220-3:2005, houve a necessidade de ampliar o tamanho das janelas, e inserir elementos que além de possibilitarem o sombreamento, permitissem também o controle da entrada de ventilação através de sistemas de abertura diferenciados e multifuncionais.

A partir desses critérios, foi então proposta uma nova tipologia de janela, segmentada em duas partes: a inferior correspondente a um peitoril ventilado, e a superior a uma janela do tipo guilhotina, permitindo a ventilação de conforto e higiênica e, o manuseio

da esquadria de forma mais adequada, contendo dimensões específicas para as cidades de Brasília e Porto Alegre e para Manaus e Vitória, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27: Dimensões para as janelas propostas.

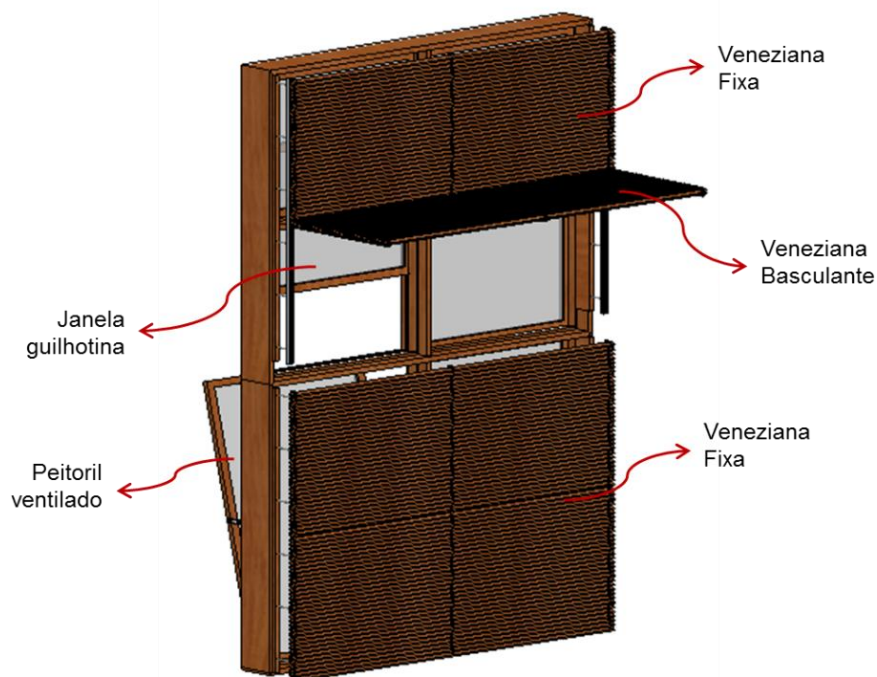


Fonte: A autora.

Além disso, para a proteção solar foram propostas ainda, na face externa das janelas, venezianas de madeira, fixas sobre o peitoril ventilado e na porção superior da guilhotina, e móvel, com sistema de abrir basculante na parte inferior da guilhotina, formando uma espécie de brise horizontal, auxiliando no sombreamento das áreas envidraçadas e permitindo a permeabilidade da ventilação constante, contribuindo para o conforto térmico no interior do ambiente (Figura 28).

Dessa forma, a ventilação cruzada ocorrerá por meio da manipulação dos diferentes sistemas de abertura da janela. Tendo em vista que a proposta se trata de um *retrofit*, e que o apartamento possui dimensão reduzida, a inserção de uma nova abertura para a ventilação cruzada no ambiente, poderia prejudicar o *layout* de apartamentos já consolidados, por isso foi criada uma janela que proporcionasse ventilação higiênica e de conforto, obtidas por meio das venezianas de madeira, enquanto a ventilação cruzada ficou por conta das portas e frestas disponíveis no ambiente.

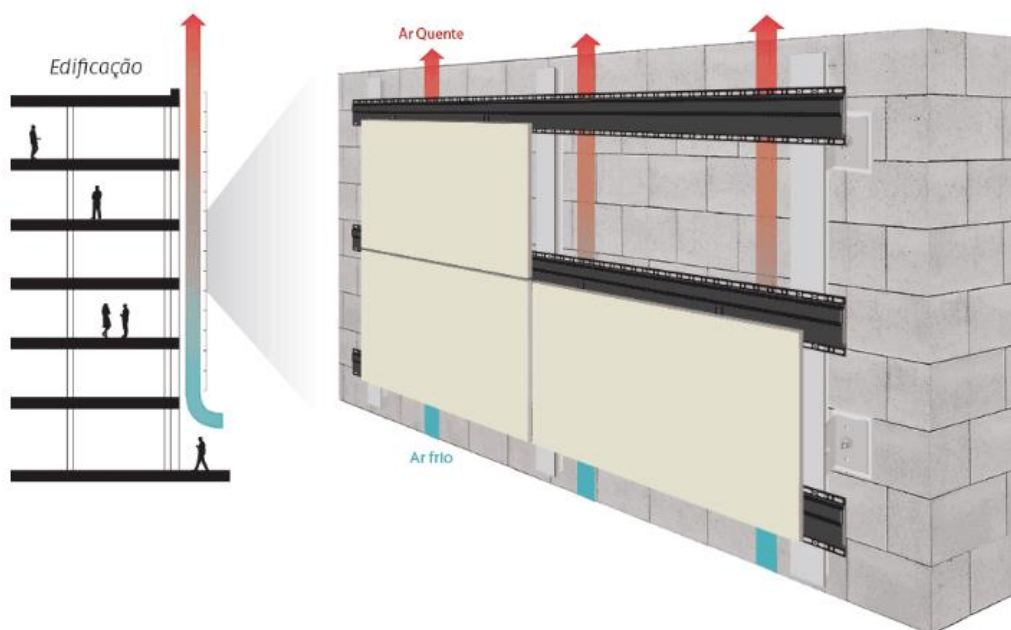
Figura 28: Modelo de janela com venezianas.



Fonte: A autora.

Além disso, ponderando em relação ao sombreamento do sistema de vedação, foi proposto também a utilização de fachada ventilada, com sistema de encaixe de peças cerâmicas, afastados 10cm da vedação proporcionando um fluxo de ventilação, contribuindo para a diminuição da transmitância térmica (Figura 29).

Figura 29: Sistema de fachada ventilada.



Fonte: ElianeTec (2018).

As alterações sugeridas para a adaptação da edificação, resultou em um novo modelo paramétrico, denominado MP. A partir da caracterização dos modelos utilizados para a realização do comparativo no desempenho térmico com a inserção de estratégias bioclimáticas na edificação, foi possível definir a base de dados de entrada com as informações necessárias a serem incluídas no modelo virtual para a realização das simulações.

3.2.3 Seleção do software de simulação

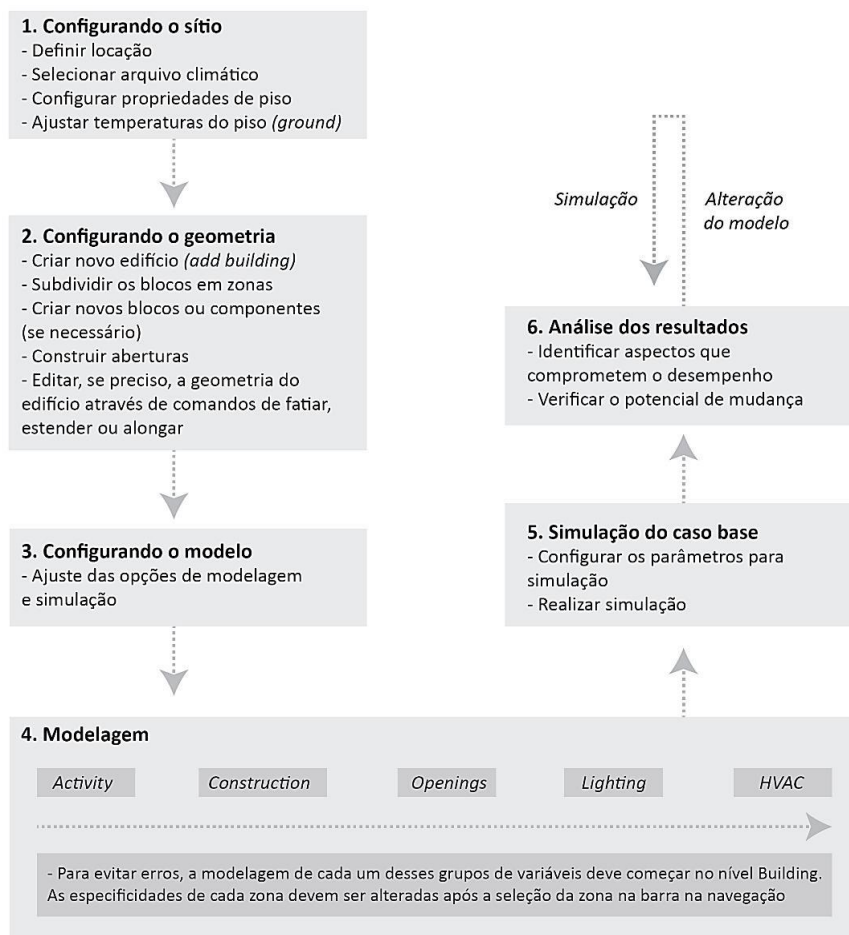
Para a realização das simulações computacionais, foi utilizado o *software DesignBuilder* versão 3.4.0.041 (DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA, 2013). Este programa dispõe da base de dados algorítmicos do software *EnergyPlus*, recomendado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), para a realização dos cálculos das simulações. O principal motivo para o desenvolvimento dessa ferramenta foi o de simplificar o processo de modelagem e reprodução tridimensional da geometria da edificação, por meio de uma interface gráfica mais intuitiva e acessível aos profissionais de áreas afins, de forma que pudesse ser utilizado desde as fases iniciais de concepção da edificação, quando muitos parâmetros ainda não estão definidos, até as fases mais detalhadas do projeto (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTDA, 2018). Além destas vantagens, esta é uma ferramenta já validada e difundida na instituição de ensino onde este trabalho foi desenvolvido, conforme pesquisas realizadas por Casagrande (2013); Santo (2014) e Nico-Rodrigues (2015).

A utilização de programas de simulação ainda na fase de projeto, permite realizar uma avaliação geral da edificação, quanto ao desempenho térmico e energético para diferentes alternativas projetuais. Por meio das simulações, é possível gerir dados em tempo hábil, permitindo a identificação antecipada do impacto gerado pelas decisões de projeto em diferentes circunstâncias, e assim, avaliar diferentes possibilidades para projetar edifícios mais eficientes.

O processo de modelagem do projeto e configuração de seus componentes é um método que envolve a inserção de uma grande quantidade de dados. De forma a evitar erros que possam afetar e comprometer os resultados, é recomendado que os

procedimentos de modelagem, simulação e análise de resultados obedecem a uma metodologia estabelecida para cada etapa, conforme a Figura 30 (VENÂNCIO, 2009).

Figura 30: Metodologia para modelagem, simulação e análise de um projeto no software *DesignBuilder*.



Fonte: Venâncio (2009).

3.2.4 Configuração dos parâmetros de simulação

O primeiro estágio da modelagem consistiu na **configuração do sítio**. Para esta finalidade, foram utilizados os arquivos climáticos em extensão EPW, referentes a cada uma das cidades selecionadas, disponíveis no site do LabEEE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2018).

Para as cidades de Brasília, Porto Alegre e Vitória, utilizou-se os arquivos climáticos formatados com base série histórica de 1961-90 (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2018), conforme recomendação da ferramenta de

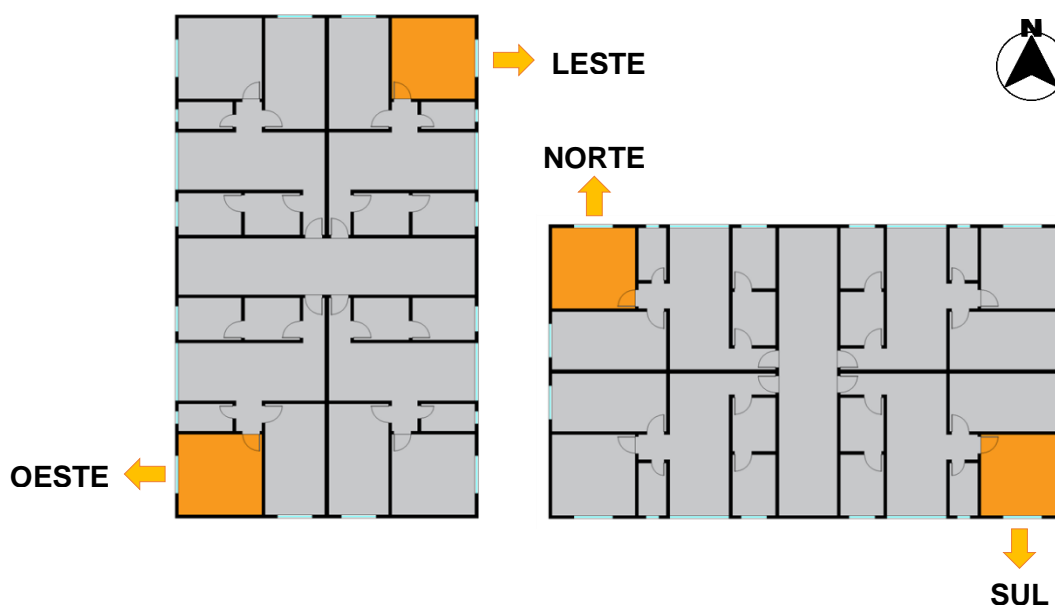
conversão, entretanto, para a cidade de Manaus, utilizou-se o arquivo em formato EPW referente aos dados do INMET 2016, elaborados com base em medições de estações meteorológicas entre os anos de 2000 e 2010.

Para minimizar os erros nas simulações, foi necessário ajustar as temperaturas mensais do solo para cada uma das cidades, já que esses dados não são disponibilizados. Foi então realizada a subtração de 2°C a partir das temperaturas médias mensais internas, obtendo valores específicos de temperatura mensal do solo para cada modelo, de acordo com Venâncio (2009).

Para a **construção da geometria** do edifício virtual, foram consideradas as características da edificação adotada como modelo de referência (MR). As zonas foram delimitadas por partições que definiram os apartamentos constituintes do pavimento tipo, determinando assim as zonas térmicas.

A edificação foi posicionada no terreno de forma genérica, sendo necessário rotacionar o edifício para que as janelas fossem posicionadas para as principais orientações a serem simuladas (Norte, Sul, Leste e Oeste), conforme Figura 31, destacando assim as condições internas para cada orientação.

Figura 31: Posicionamento do ambiente simulado em relação às aberturas.



Fonte: A autora, com base em Nico-Rodrigues (2015).

Para as características referentes às **atividades** exercidas pelos usuários, bem como o fator de metabolismo e o uso de equipamentos, foi considerada uma rotina típica de ocupação, detalhada na Tabela 2.

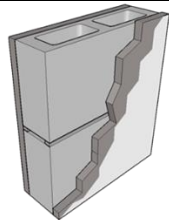
Tabela 2: Parâmetros de ocupação, características e ganhos térmicos dos equipamentos.

Ocupação	Uso	Fonte
Usuário	08h00 - 13h00 = 0% ocupado 13h00 - 22h00 = 50% ocupado 22h00 - 08h00 = 100% ocupado	(NICO-RODRIGUES, 2015)
Parâmetros humanos		
Vestimenta	Verão = 0,5 Clo / Inverno = 1,0 Clo	(LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)
Metabolismo - atividade de leitura	90 W/pessoa	
Padrão de ocupação	2 pessoas	-
Ganhos térmicos dos equipamentos		
Iluminação artificial: 18h00 - 22h00	5 W/m ²	(INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012)
Computador (1): 13h00 - 22h00	3,90 W/m ²	(NICO-RODRIGUES, 2015)

Fonte: A autora, com base nas referências da coluna à direita.

Em relação à **construção** da edificação, foram consideradas as variáveis relacionadas às superfícies opacas como paredes, pisos e cobertura. Foram então configuradas as propriedades térmicas referentes aos blocos de concreto e bloco cerâmico, apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

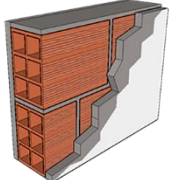
Tabela 3: Propriedades térmicas dos componentes das paredes internas e externas com bloco de concreto.

Detalhamento das camadas das paredes com as propriedades dos materiais							
Alvenaria com Bloco de Concreto (9 x 19 x 39 cm) com 2 furos retangulares e reboco de 2,5cm nas faces externa e interna					14 cm de espessura		
Transmitância térmica da parede (U)					2,78 W/(m ² .K)		
Emissividade (ε) das paredes e piso					0,9		
Absortância (α) das paredes e piso					0,3		
Propriedades térmicas dos materiais utilizados na alvenaria de Bloco de Concreto							
Paredes internas e externas = 14	Camadas	Materiais	Espessura (m)	Condutib. (w/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (j/kg.k)	Resistência térmica (m ² .k/w)
	1ª	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
	2ª	Bloco de Concreto	0,02	1,75	2200	1000	-
	3ª	Ar	0,05	-	-	-	0,16
	4ª	Bloco de Concreto	0,02	1,75	2200	1000	-
	5ª	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Tabela 4: Propriedades térmicas dos componentes das paredes internas e externas com bloco cerâmico.

Detalhamento das camadas das paredes com as propriedades dos materiais	
Alvenaria com Bloco Cerâmico (9 x 14 x 24 cm) com 6 furos quadrados e reboco de 2,5cm nas faces externa e interna	14 cm de espessura
Transmitância térmica da parede (U)	2,46 W/(m ² .K)
Emissividade (ε) das paredes e piso	0,9
Absortância (α) das paredes e piso	0,3



Propriedades térmicas dos materiais utilizados na alvenaria de Bloco de Cerâmico							
Paredes internas e externas = 14 cm	Camadas	Materiais	Espessura (m)	Condutib. (w/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (j/kg.k)	Resistência térmica (m ² .k/w)
	1ª	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
	2ª	Bloco Cerâmico	0,01	0,9	1600	920	-
	3ª	Ar	0,03	-	-	-	0,16
	4ª	Bloco Cerâmico	0,01	0,9	1600	920	-
	5ª	Ar	0,03	-	-	-	0,16
	6ª	Bloco Cerâmico	0,01	0,9			
	7ª	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Para os sistemas de lajes entre pavimentos e de cobertura da edificação, foram configurados materiais com grande utilização em edificações multifamiliares, cujas propriedades térmicas utilizadas na configuração do modelo virtual apresentam-se na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades térmicas das lajes e coberturas.

	Camadas	Materiais	Espessura (m)	Condutib. (w/m.k)	Densid. (kg/m ³)	Calor específico (j/kg.k)	Resist. térmica (m ² .k/w)
Laje = 9,5 cm	1ª	Piso cerâmico	0,01	0,9	1600	920	-
	2ª	Contrapiso	0,025	1,15	2000	1000	-
	3ª	Laje de concreto	0,08	1,75	2200	1000	-
	4ª	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
Cobertura	1ª	Telha de Fibrocimento	0,025	0,950	1800	840	
	2ª	Ar	0,20	-	-	-	0,16
	3ª	Laje	0,10	1,75	2200	1000	-

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

As dimensões estabelecidas para as aberturas seguiram, para o modelo de referência (MR), os padrões definidos pelos Códigos de Obras respectivos de cada uma das cidades analisadas. As características do modelo, bem como a operacionalização das aberturas seguem explicitadas na Tabela 6. A janela foi configurada completamente fechada durante o período noturno com o objetivo de avaliar o desempenho da edificação diante da pior situação eventual.

Tabela 6: Características das aberturas, operacionalização e propriedades térmicas dos materiais que compõem as esquadrias.

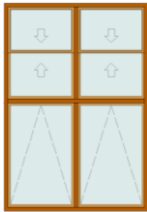

Características	Dimensões
Área do ambiente (dormitório)	15 m ²
Janelas para Manaus	2,40m x 1,30m x 1,10m (altura x largura x peitoril) Área total 3,12m ² Área de ventilação 1,56m ²
Janelas para Brasília e Vitória	1,80m x 1,30m x 1,10m (altura x largura x peitoril) Área total 2,34m ² Área de ventilação 1,17m ²
Janelas para Porto Alegre	2,00m x 1,30m x 1,10m (altura x largura x peitoril) Área total 2,60m ² Área de ventilação 1,30m ²
Modelo de Janela	Controle das aberturas
Duas folhas de correr em alumínio com pano de vidro	08h00 – 21h00 = 100% janela aberta = 50% do vão para ventilação 21h00 – 08h00 = 100% janela fechada Obs.: O sistema de abertura de correr possibilita no máximo 50% de abertura do vão.
Propriedades térmicas das esquadrias	
Transmitância térmica do quadro em alumínio (U)	5,88 W/(m ² K)
Transmitância térmica do vidro 6mm incolor (U)	5,77 W/(m ² K)

Fonte: A autora. Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Para a configuração das propostas de *retrofit* estabelecidas para o MP, utilizou-se como base a modelagem do MR, considerando as mesmas configurações para os parâmetros de ocupação e atividades, materiais de vedação, lajes e coberturas, sofrendo alterações apenas no modelo, nas dimensões das aberturas, e o acréscimo de fachada ventilada, propostas anteriormente no item 3.2.2.

A configuração dos parâmetros de operacionalização das aberturas e dos elementos sombreadores, bem como dos componentes da fachada ventilada propostos, são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Características das aberturas propostas, operacionalização e propriedades térmicas dos materiais que compõem as esquadrias.

Janelas		
Modelo de Janela	Controle das Aberturas	
Janela Guilhotina	24 horas = 100% janela aberta = 50% do vão	
Peitoril Ventilado	24 horas = 100% janela aberta = 50% do vão	
Propriedades térmicas dos materiais que compõem as janelas		
Transmitância térmica do quadro de madeira (U)	2,97 W/(m ² K)	
Transmitância térmica do vidro 6mm incolor (U)	5,77 W/(m ² K)	
Venezianas		
Modelos de venezianas	Controle das Aberturas	
Veneziana projetante	13h00 - 21h00 = 100% veneziana aberta 21h00 - 13h00 = 100% veneziana fechada	
Veneziana Fixa	24 horas = 100% veneziana fechada	
Propriedades térmicas das venezianas		
Transmitância térmica da veneziana de madeira (U)	2,97 W/(m ² K)	

Fonte: A autora. Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Tabela 8: Características dos materiais componentes da fachada ventilada.

Materiais	Espessura (m)	Condutibilidade (w/m.k)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (j/kg.k)	Resistência térmica (m².k/w)
Cerâmica	0,015	0.9	1600	920	-
Ar	0,10	-	-	-	0,16

Fonte: Elaborado a partir da ABNT NBR 15.220:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

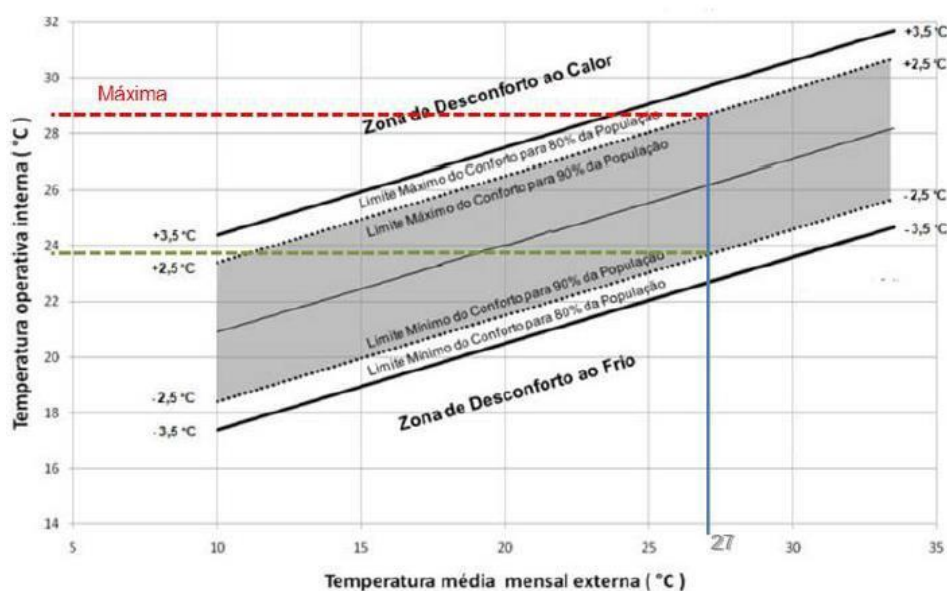
Diante dos resultados das simulações, é possível avaliar a influência de cada tipo de material de vedação externo, bem como o modelo de janela e as propostas de *retrofit* como estratégia para a melhoria da habitabilidade, considerando a temperatura operativa horária como fator determinante para o desconforto térmico.

3.3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

A metodologia para avaliação do desempenho térmico adotada nesta pesquisa foi proposta por Nico-Rodrigues (2015). Neste método é possível mensurar as condições de conforto térmico, utilizando-se indicadores que quantificam o tempo, relacionando-os à condição térmica do ambiente, bem como à intensidade desta condição térmica, tendo como principal fator de análise, a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto.

Para a definição das temperaturas de conforto Nico-Rodrigues (2015) utilizou o gráfico de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55, 2013), relacionando a variação das temperaturas médias mensais externas, determinadas por meio de simulações computacionais, e a porcentagem de aceitabilidade para a definição dos valores mínimos e máximos das temperaturas de conforto. Estas informações foram inseridas no referido gráfico, sendo possível obter o intervalo de temperatura de conforto para todos os meses do ano e para cada uma das cidades analisadas, considerando 90% de aceitabilidade (Figura 32).

Figura 32: Exemplo da obtenção dos limites de temperatura de conforto, de acordo com os índices de aceitabilidade dos usuários demonstrados na ASHRAE 55.



Fonte: Nico-Rodrigues (2015).

Para atender as condições mencionadas, Nico-Rodrigues (2015) propõe uma faixa limite de temperatura de conforto para cada mês do ano, fundamentada na ASHRAE 55, como temperatura referência para a análise do conforto térmico. Essas temperaturas podem ser obtidas por meio da Equação 1, onde a temperatura neutra (T_n) é a resultante da soma entre a temperatura mensal externa (T_e) e o fator multiplicador (0,31), adicionado ao valor 17,8. Para a definição da temperatura de conforto máxima é necessário acrescentar ao valor da temperatura neutra, obtida pela Equação (1), o valor de tolerância ao calor de + 2,5, enquanto para o valor de tolerância ao frio subtrai-se 2,5 do valor da temperatura neutra, referentes ao percentual de 90% para a aceitabilidade dos usuários.

$$T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$$

Equação 1

Onde:

Tn = Temperatura neutra

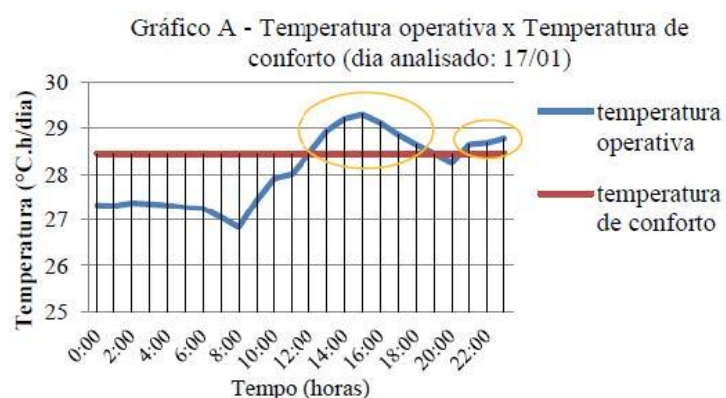
Te = Temperatura externa

A metodologia propõe o uso de dois indicadores para a análise dos dados provenientes das simulações: a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) e os Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT).

A FDT equivale ao percentual de tempo em hora inteira, em que a temperatura operativa se encontra acima do valor máximo da temperatura de conforto. Esse indicador quantifica as horas em desconforto, na unidade de porcentagem, durante determinado intervalo de tempo, e o valor máximo remete ao limite máximo do período (Figura 33). Nesta pesquisa, a proposta foi a de analisar períodos diários, correspondendo à frequência máxima de 100% (NICO-RODRIGUES, 2015).

A FDT demonstra a frequência de desconforto durante um período, para configurações, orientações e diferentes localizações de componentes construtivos, objetivando avaliar a eficácia das alternativas construtivas (SICURELLA; WURTZ; EVOLA, 2012).

Figura 33: Demonstrativo da obtenção do FDT diário.



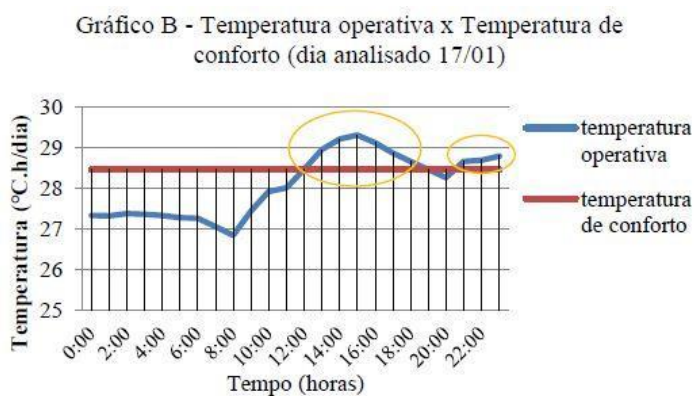
Para a definição do percentual de horas de desconforto, temos 24 horas = 100% e cada hora do dia = 4,17%. No exemplo demonstrado no Gráfico A, as horas que tiveram os valores da temperatura operativa maior do que a temperatura de conforto foi de 9 períodos e correspondeu a 37,5% das horas em desconforto térmico no dia em questão.

Fonte: Nico-Rodrigues (2015).

O GhDT é determinado pela diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto, quando a temperatura operativa ultrapassa o valor definido para a temperatura de conforto, estabelecida para o período em estudo (Figura 34). O valor máximo de referência adotado para esta pesquisa é resultante do maior valor

de GhDT obtido nas simulações. Este índice auxilia na verificação das estratégias adotadas em relação ao desempenho térmico do ambiente, considerando que sua unidade está relacionada à temperatura e ao tempo (NICO-RODRIGUES, 2015).

Figura 34: Demonstrativo da obtenção do GhDT diário.



Para determinar o quantitativo de graus horas de desconforto, consideram-se as diferenças entre a temperatura operativa em cada hora inteira e a temperatura de conforto do mês em análise. O resultado é o somatório de cada hora.

No exemplo demonstrado no gráfico B, observou-se que a temperatura operativa foi maior do que a temperatura de conforto entre o período de 12h00 a 19h00 e de 21h00 a 23h00 resultando em 4,13°C.h/dia de diferenças entre as temperaturas.

Fonte: Nico-Rodrigues (2015).

Para a interpretação dos resultados referentes aos valores da temperatura operativa diária obtida nas simulações dos modelos, foram realizados procedimentos estatísticos quantificando e apresentando-os na forma de °C hora/dia e em porcentagem total de horas.

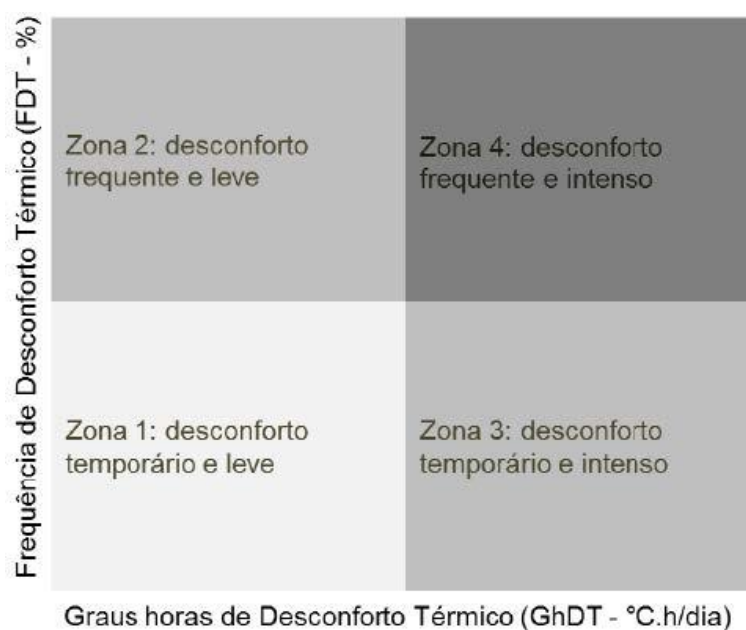
Os procedimentos utilizados conduziram para a obtenção dos seguintes resultados:

- O somatório diário das diferenças entre as temperaturas operativas horárias e a temperatura de conforto mensal definiram os GhDT para cada dia, sendo possível a avaliação do quantitativo de GhDT mensal, por orientação, por estação do ano e por período de tempo;
- O somatório dos percentuais de horas para a definição do FDT, considerando o período de um dia (24 horas) como o percentual máximo (100%), determinou o percentual de FDT por dia, observando-se quantas horas do dia a temperatura operativa horária esteve acima da temperatura de conforto.

Para a análise conjunta dos indicadores GhDT e FDT dos modelos avaliados, Nico-Rodrigues (2015) utilizou-se do diagrama de fluabilidade, determinando zonas com níveis de conforto, visando proceder a avaliação comparativa em relação ao desconforto térmico.

O diagrama considera a FDT nos níveis temporário e frequente e a condição de intensidade para os graus-horas, GhDT nos níveis leve e intenso (Figura 35), ressaltando-se que a melhor condição de conforto é aquela que tende à origem dos eixos (GhDT e FDT).

Figura 35: Diagrama de fluabilidade dos indicadores FDT e GhDT.



Fonte: Nico-Rodrigues (2015).

A avaliação dos resultados dos índices para a definição das sensações de desconforto foi realizada por meio da fluabilidade, objetivando quantificar os graus horas que ultrapassaram o limite de temperatura de conforto, considerando cada estação do ano para o pavimento intermediário da edificação e as quatro principais orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), possibilitando assim averiguar as condições térmicas internas definidas para todos os modelos simulados, tanto para o cenário climático atual, quanto para os cenários futuros para cada cidade, em relação ao tipo de material de vedação vertical externo e das estratégias de conforto adotadas na pesquisa para a melhoria do conforto térmico.

4. RESULTADOS

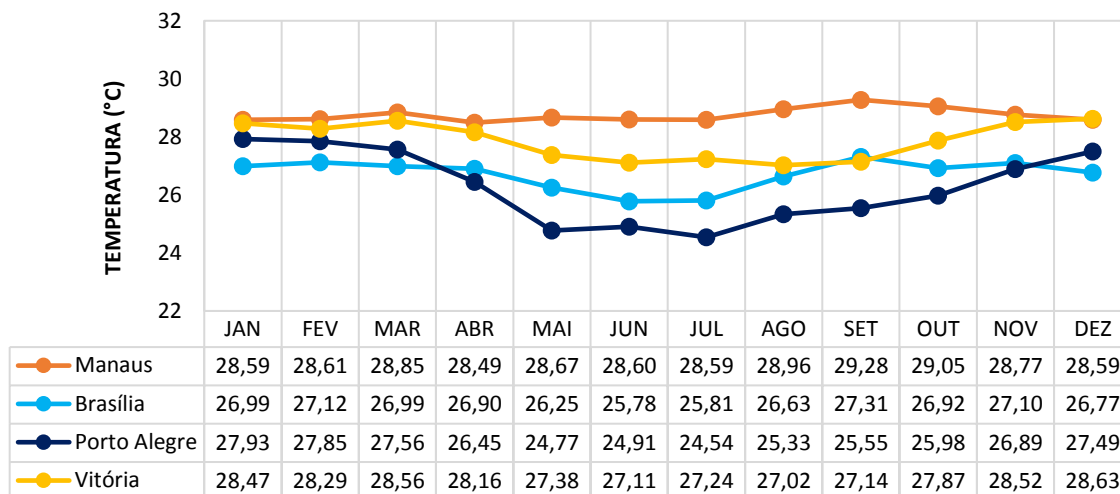
A organização dos resultados foi estruturada em três partes: a primeira contendo os resultados das condicionantes relacionadas às temperaturas de conforto com base na metodologia adotada; a segunda, com os resultados obtidos nas simulações, representados na forma de gráficos e diagramas, que determinaram as condições internas do ambiente; e a terceira com o comparativo entre a edificação de referência e a com proposta de adaptação, identificando a melhoria do desempenho térmico entre os modelos estudados, objetivando quantificar e classificar comparativamente o desconforto térmico em ambas as situações, com intuito de compreender o efeito das alterações climáticas sobre o comportamento térmico das edificações, bem como o comportamento da edificação frente às medidas adaptativas.

4.1 DEFINIÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO

As temperaturas operativas máximas para a análise do conforto térmico referentes a cada mês do ano, são resultantes de uma simulação do sítio, onde foram determinados os valores médios mensais da temperatura do ar externo, considerando os arquivos climáticos atuais para cada uma das cidades avaliadas neste estudo, ou seja, Manaus, Brasília, Porto Alegre e Vitória.

Posteriormente, esses valores (médias mensais da temperatura do ar externo) foram correlacionados com o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55, aplicados à Equação (1), descrita no capítulo 3, definindo assim as temperaturas neutras, bem como os limites mínimos e máximos das temperaturas de conforto para cada cidade, apresentadas no APÊNDICE A, considerando 90% de satisfação dos usuários para o ambiente estudado. Ressalta-se que, com a tendência global para o aumento das temperaturas, demonstrada por diversos estudos citados anteriormente, foram adotadas nesta pesquisa, apenas as temperaturas máximas de conforto relativas ao calor, para cada cidade (Gráfico 1).

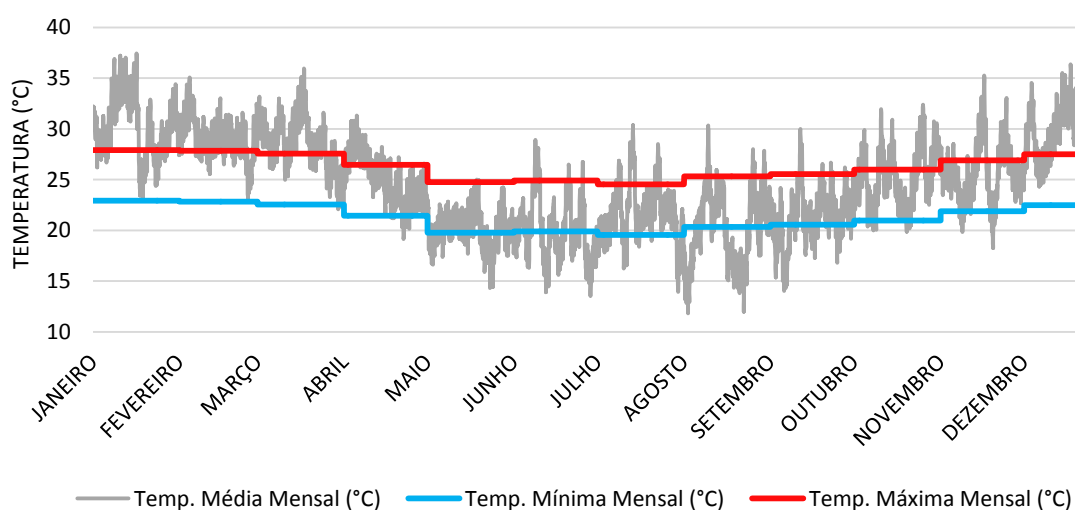
Gráfico 1: Temperaturas máximas mensais de conforto para o calor para cada cidade no período atual, baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55.



Fonte: A autora.

Como verificado no Gráfico 1, a cidade de Porto Alegre possui um clima mais ameno durante a maior parte do ano, principalmente nos meses de maio, junho e julho, período de transição entre Outono e Inverno, com temperaturas mais baixas quando comparadas às demais cidades analisadas. Nesse sentido, a adoção das temperaturas de conforto apenas para o calor, se justifica ao observar o Gráfico 2, que demonstra um maior número de horas em desconforto para o calor do que para frio (38% das horas anuais em desconforto por calor e 16,31% por frio), justificando assim a avaliação do desempenho térmico somente para o calor também nesta cidade.

Gráfico 2: Temperaturas médias mensais de conforto para a cidade de Porto Alegre.



Fonte: A autora.

A partir da determinação das temperaturas máximas mensais de conforto para o calor para cada cidade, foi possível analisar as condições de conforto para o ambiente interno, considerando os valores de temperatura operativa como condicionante para a obtenção do conforto térmico. Para a primeira série de simulações, foi considerado o dormitório 2 do Modelo de Referência (MR), localizado no 4º pavimento da edificação, para as quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), e para o período de um ano, analisado por estações (Primavera, Verão, Outono e Inverno) para cada cidade e para os períodos de tempo (atual, 2020, 2050, 2080), utilizando-se como material de vedação blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Os dados de saída das simulações referentes a temperatura operativa do ambiente simulado foram submetidos a procedimentos estatísticos para determinação dos máximos valores de GhDT, disponibilizados no APÊNDICE B. A partir desses resultados, foi realizado o somatório dos maiores valores de GhDT para cada período, com a finalidade de encontrar o tipo de material para vedação com melhor desempenho térmico para cada período e em cada uma das cidades estudadas.

Nesse sentido, ao observar o Gráfico 3, foi possível perceber uma pequena variação entre os valores de GhDT obtidos para cada material de vedação, no entanto, os maiores valores encontrados ocorreram para o sistema composto por blocos cerâmicos, para todas as cidades investigadas, tanto para o período atual quanto para os períodos futuros. Isso demonstra que o desempenho térmico dos materiais variou inversamente aos valores de transmitância térmica, ou seja, o bloco cerâmico, que possui um menor valor de transmitância térmica, foi aquele que apresentou um pior desempenho térmico.

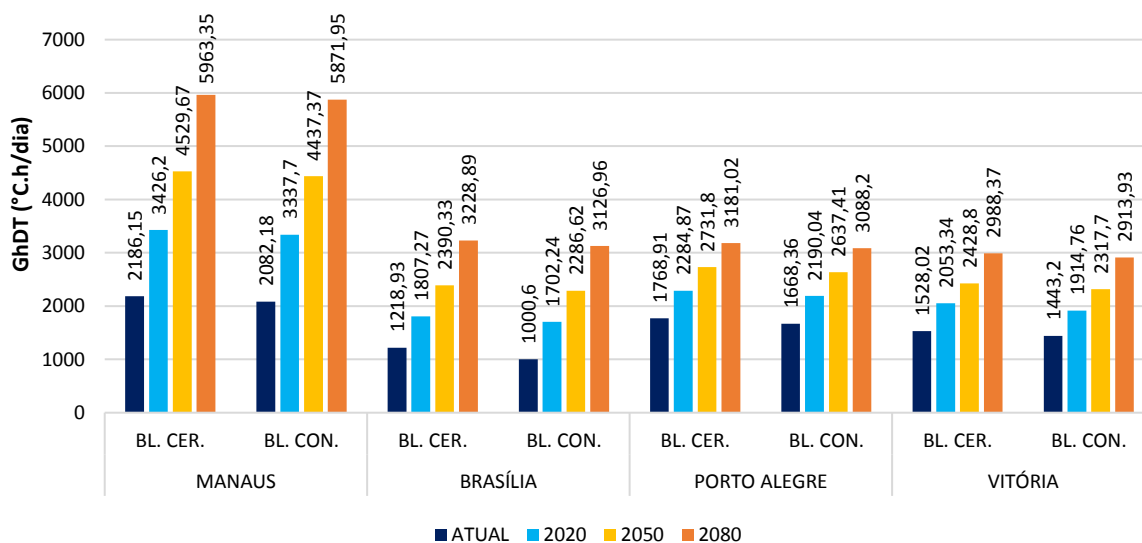
Assim, destaca-se que mesmo que a transmitância seja mais lenta para o interior dos ambientes, esta ação também acontece de forma inversa, tendo a mesma dificuldade para se dissipar do interior para o meio externo. Esse fator pode ser agravado, ainda, em decorrência ao tempo de abertura das janelas, que é maior durante o período do dia, considerado o período mais quente, facilitando a entrada de calor, enquanto à noite, com o fechamento das janelas e a ausência de elementos que permitam a ventilação constante, a ventilação cruzada inexistente, interrompendo o fluxo de vento.

Dessa forma, pode-se inferir que as trocas de ar proporcionadas pelo tempo de abertura das janelas, não são suficientes para eliminar o calor absorvido durante o dia, ressaltando ainda a falta de ventilação cruzada durante o período noturno, contribuindo para o pior desempenho térmico do material de vedação na edificação estudada.

A análise dos modelos simulados nas quatro cidades demonstrou que em Manaus, os valores de GhDT foram maiores, tanto para o período atual quanto para os futuros, confirmando o observado anteriormente pelas projeções de anomalias, que indicaram um aumento na temperatura da Região Amazônica de até 8°C para o período de 2100, e redução de cerca de 20% no regime de chuvas, apontando para um cenário de clima mais quente e menos úmido.

Em contrapartida, os menores valores de GhDT foram percebidos, durante o período atual, de 2020 e 2050 para a cidade de Brasília, enquanto a cidade de Vitória apresentou os menores valores de GhDT apenas para o período de 2080. Esses resultados afirmaram a previsão de aumento nas temperaturas pelas projeções de anomalias de até 4°C para Brasília, contra 3°C em Vitória no período de 2080, evidenciando ainda que o aumento de GhDT pode ser mais acentuado para algumas cidades em detrimento a outras.

Gráfico 3: Somatório anual dos valores de GhDT (°C.h/dia) obtidos para cada material de vedação nas cidades analisadas.



Fonte: A autora.

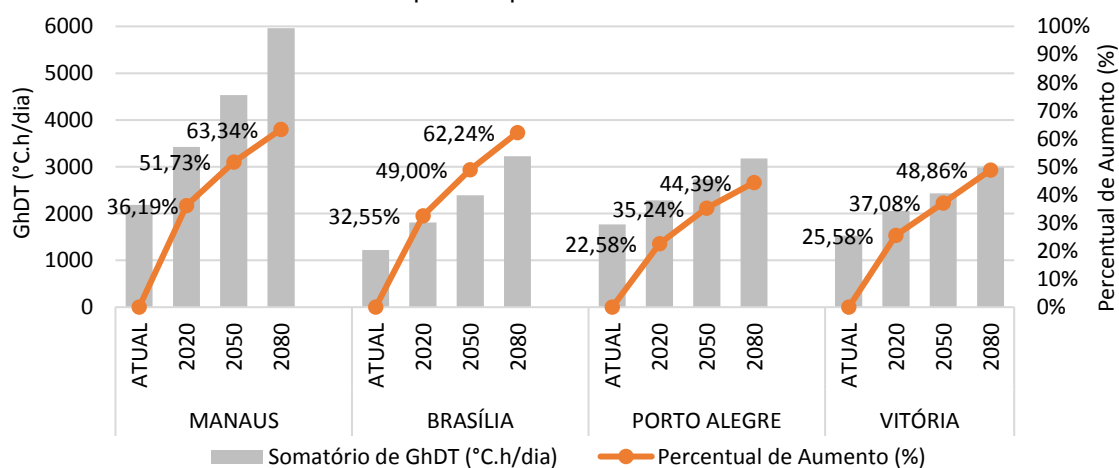
Diante do exposto, tendo em vista que os melhores resultados com relação ao tipo de

vedação foram obtidos para os blocos de concreto, considerou-se que se as exigências normativas forem atendidas para o pior caso, automaticamente estarão englobando a melhor situação. Assim, o Gráfico 4 demonstra a relação entre os valores máximos de GhDT e o percentual de aumento para os períodos futuros em comparação ao atual apenas para o sistema composto por blocos cerâmicos em cada uma das cidades.

Observou-se que os maiores incrementos nos valores de GhDT, ocorreram do período atual para o de 2020, em todas as cidades analisadas. Esse fato pode ser explicado pela utilização dos arquivos climáticos atuais empregados nas simulações, formatados com base na série de dados equivalente aos anos de 1961 a 1990 (conforme determinado pela ferramenta utilizada para a conversão dos arquivos climáticos), enquanto o arquivo climático referente ao ano de 2020 resume as mudanças projetadas para o período compreendido entre os anos de 2011 a 2040.

É possível verificar, ainda, que as cidades de Manaus e Brasília foram as que apresentaram maiores aumentos no percentual de GhDT ao avançar do período atual para o de 2080, enquanto Porto Alegre apresentou os menores percentuais. Diante disso, foi possível constatar que as cidades com maiores aumentos de GhDT, serão aquelas que apresentarão, também, o maior incremento no consumo energético para resfriamento, visando a obtenção do conforto térmico, uma vez que o aumento nos valores de GhDT também acompanharam o aumento nas temperaturas internas para os períodos analisados, conforme esperado.

Gráfico 4: Porcentagem de aumento relativo no GhDT ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$) com sistema de bloco cerâmico para os períodos futuros.

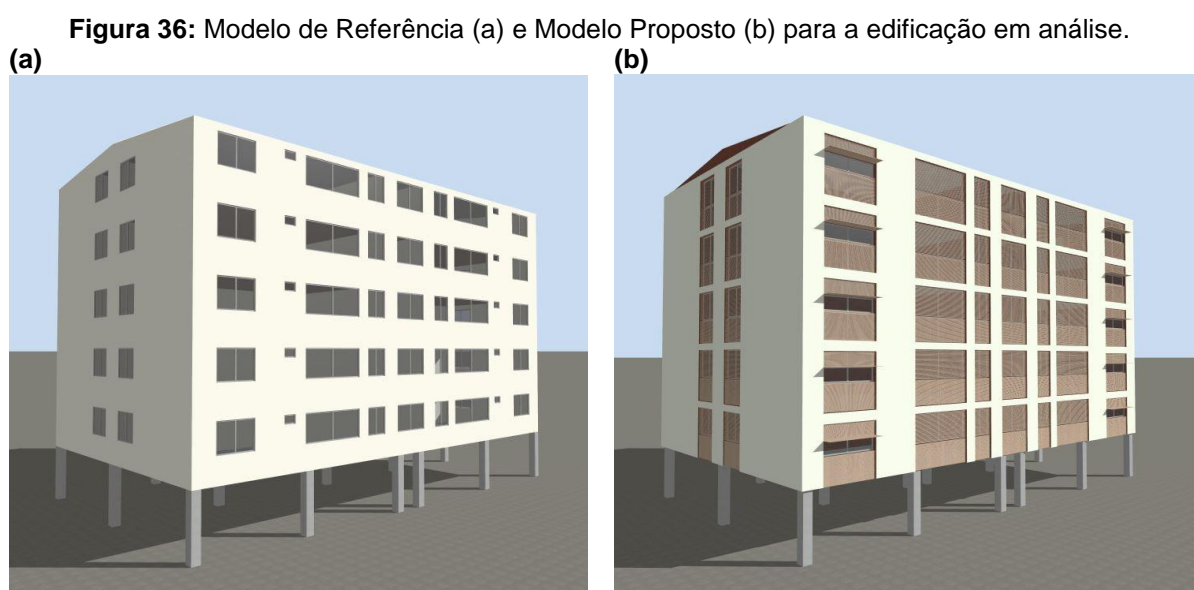


Fonte: A autora.

4.2 SIMULAÇÕES

Após a determinação do sistema de vedação com pior desempenho (bloco cerâmico), foram realizadas as simulações com os insumos construtivos propostos como intervenção, visando à análise da influência de cada estratégia no desempenho térmico interno, considerando o período atual e os futuros, tendo a temperatura operativa horária como fator determinante para a quantificação e qualificação do desconforto térmico, destacando os métodos passivos de adaptação como estratégia para a melhoria da habitabilidade.

As simulações foram divididas em duas etapas. Na primeira etapa, o edifício de referência (MR) foi simulado para todas as cidades, todas as estações do ano e para todas as orientações. Na segunda etapa, utilizou-se apenas o pior resultado – considerando a estação do ano, e as orientações – com acréscimo das propostas de *retrofit* (MP) aplicadas, buscando verificar o comportamento térmico da edificação frente as adoções propostas (Figura 36).



Fonte: A autora, a partir do software *DesignBuilder*.

Na primeira série de gráficos, foram apresentados os resultados para o MR. Os valores relativos a FDT e ao GhDT obtidos para cada dia, foram plotados no diagrama de fluabilidade, caracterizando as condições de frequência e intensidade do desconforto térmico. Ressalta-se que o diagrama de fluabilidade demonstra as condições diárias, sendo a melhor condição aquela que converge para a origem.

Neste caso, os gráficos de fluutuabilidade apresentados são aqueles relativos aos blocos cerâmicos, por serem considerados a pior situação. Os valores relativos aos maiores GhDTs utilizados como referência para a elaboração dos gráficos de fluutuabilidade estão em destaque no APÊNDICE B.

4.2.1 Modelo de referência

Os resultados do modelo MR determinaram para todas as cidades analisadas, ambiente desconfortável para todas as estações, em todas as orientações e para todos os horizontes de tempo avaliados, considerando o pavimento intermediário da edificação com a vedação composta por blocos cerâmicos.

Ao analisar os gráficos de fluutuabilidade de cada estação para cada uma das cidades, foram observados três níveis de sensação de desconforto, com dispersão de pontos presentes nas zonas 1, 2 e 4, caracterizando o desconforto térmico como:

- **Zona 1:** dias com desconforto térmico temporário e leve, apresentando valores mais baixos de GhDT, resultando em um percentual de FDT com valores inferiores a 50% do período analisado;
- **Zona 2:** dias com desconforto térmico frequente e leve, configurando temperaturas não tão intensas por um período mais longo durante o dia, ou seja, percentuais superiores a 50% de FDT, podendo atingir 100% do dia; e
- **Zona 4:** dias com desconforto térmico frequente e intenso, indicando temperaturas mais altas por um maior período de tempo.

Os gráficos também demonstraram uma tendência no aumento da flutuação tanto de GhDT, quanto de FDT, ao avançar do período atual para os horizontes futuros, indicando dias cada vez mais quentes e por um período prolongado, sendo observado para todas as estações e orientações. No entanto, algumas particularidades foram observadas para cada estação, em cada cidade.

MANAUS

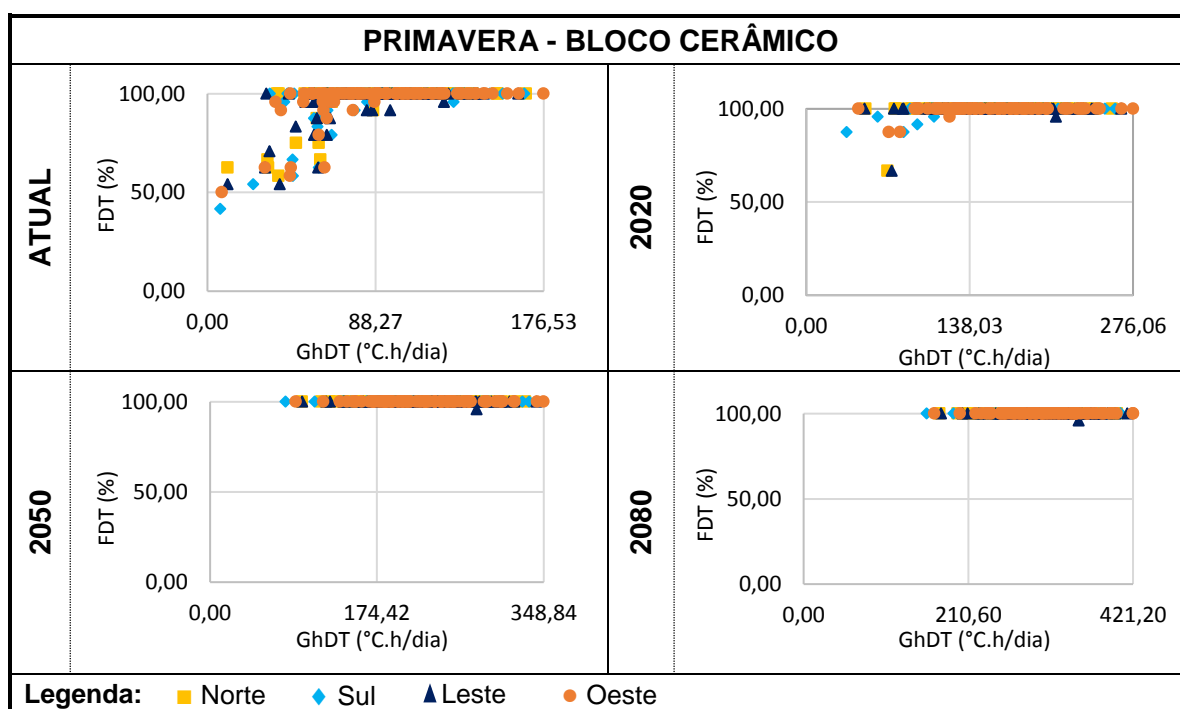
I. PRIMAVERA

Analisando-se o gráfico de fluabilidade para a estação da Primavera (Tabela 9), verificou-se que todos os dias apresentaram condições de desconforto térmico, com alta fluabilidade tanto para GhDT quanto para FDT, para todos os períodos de tempo analisados.

Pode-se verificar para o período atual, uma grande concentração de dias nas zonas 2 e 4. Ao avançar para o período de 2020 percebeu-se, ainda, uma intensificação da situação verificada para o período atual, onde grande parte dos dias apresentaram uma FDT máxima e um aumento considerável no GhDT.

O período de 2050 e 2080 apresentaram diferenças sutis, com um grande percentual de dias presentes no quadrante 4, observado principalmente para o período de 2080, classificando o desconforto como frequente e intenso em 100% das horas dos dias. Destaca-se que o desempenho térmico observado em 2050 como péssimo, não alteraria o comportamento para 2080, visto que a tendência segundo Marengo (2007), prevê este aumento.

Tabela 9: Diagramas de fluabilidade do MR para a Primavera na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.

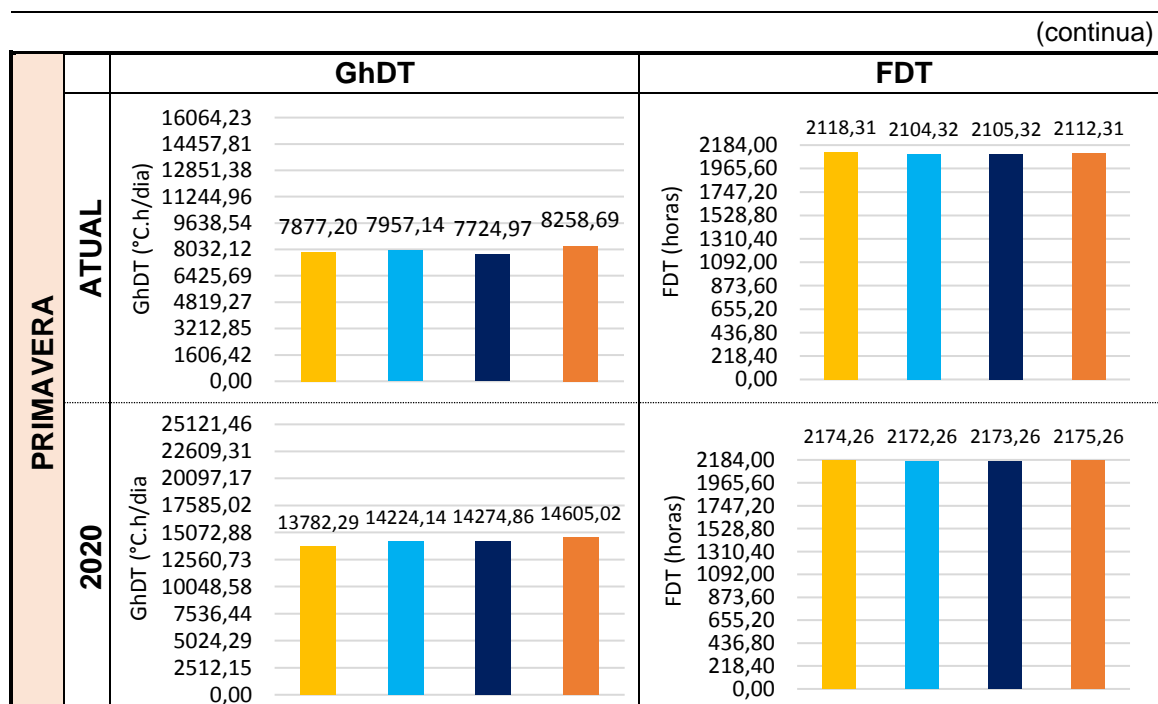


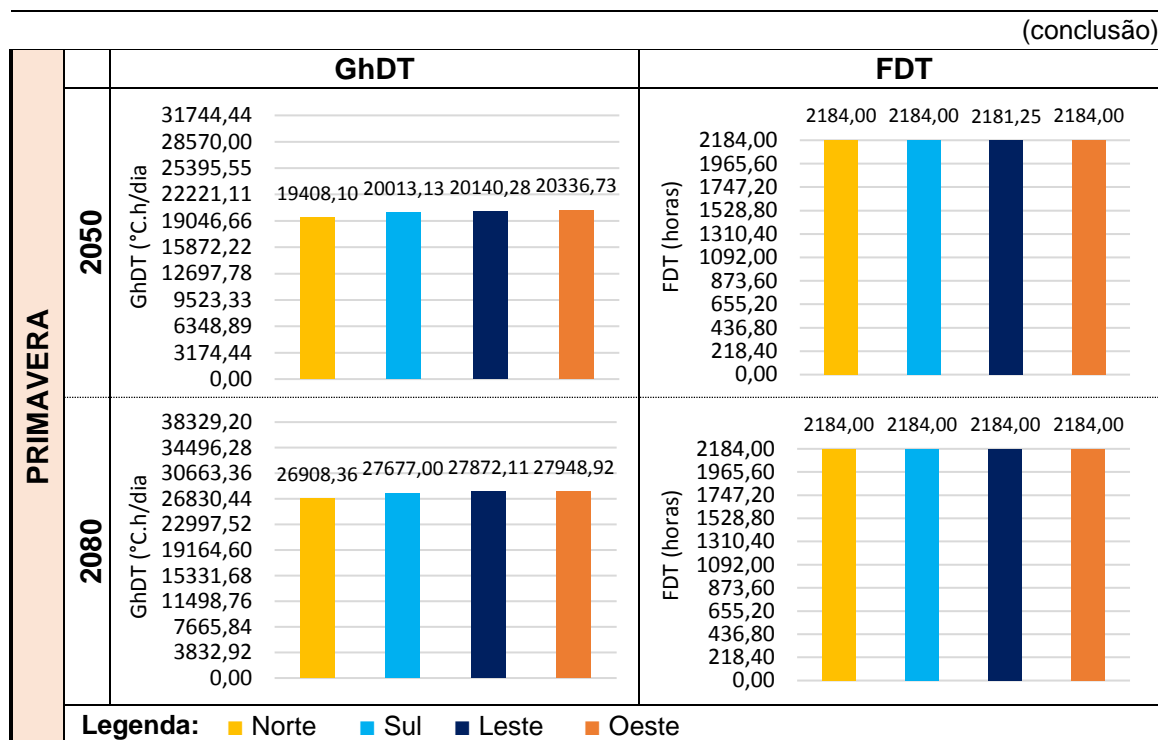
Fonte: A autora.

Os somatórios dos índices de GhDT e FDT (Tabela 10), indicaram a orientação Oeste com os valores mais elevados. Por outro lado, os menores valores de GhDT foram observados para a orientação Leste no período atual e Norte nos demais. A FDT apresentou-se de forma muito semelhante dentre todas as orientações, no entanto, as orientações Norte e Oeste foram consideradas com os maiores índices de desconforto térmico apenas para os períodos atual e de 2020, pois a partir do período de 2050, todos os dias de todas as orientações apresentaram 100% de frequência de desconforto térmico.

Os resultados semelhantes para todas as orientações, podem ser explicados em decorrência da localização da cidade de Manaus, muito próxima à Linha do Equador, apresentando uma geometria solar quase simétrica para as orientações Norte e Sul, recebendo praticamente a mesma quantidade de horas de insolação para ambas as fachadas. Esse fator contribuiu para que todas as orientações apresentem altos níveis de desconforto térmico. Além disso, as temperaturas do ar externo nesta cidade são elevadas durante a maior parte do ano, colaborando para as piores condições internas do ambiente.

Tabela 10: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.13





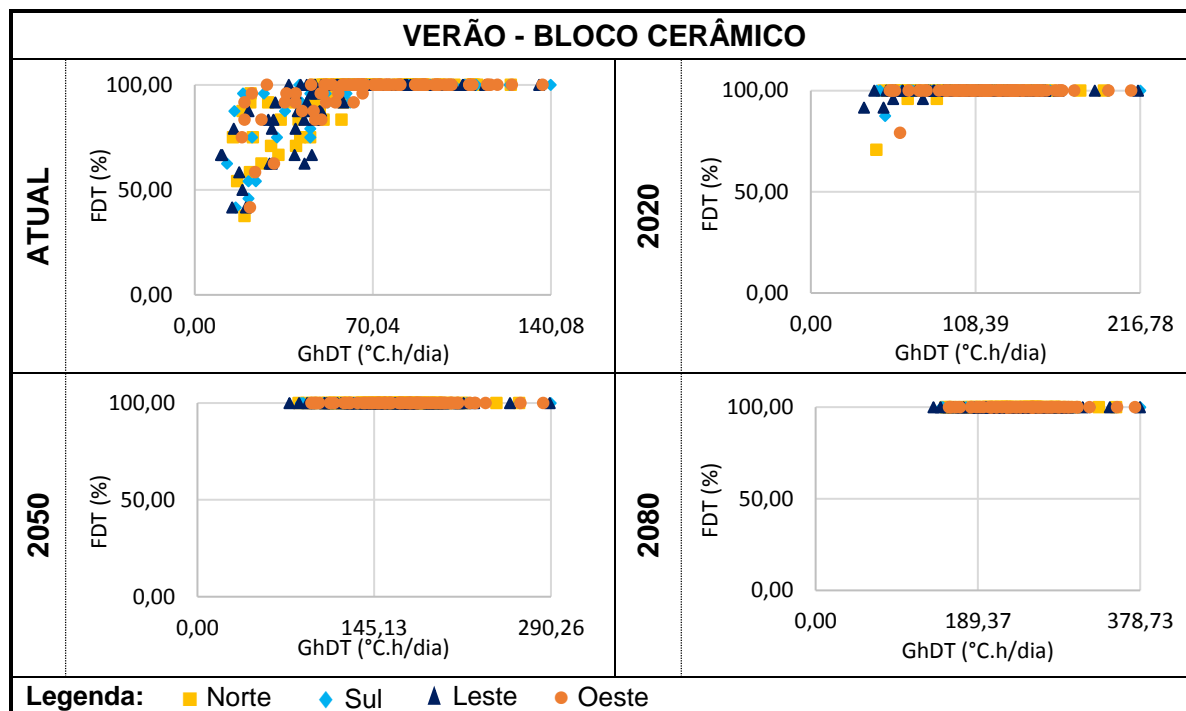
Fonte: A autora.

II. VERÃO

A fluibilidade para estação do Verão considerando a cidade de Manaus (Tabela 11), revelou resultados semelhantes aos observados na Primavera. O período atual resultou em alta fluibilidade, apresentando desconforto térmico para todos os dias simulados. No entanto, para grande parte dos dias houve alta frequência de desconforto, porém com menor intensidade, com pontos concentrados na zona 2. Percebeu-se ainda, que essa situação foi agravada ao avançar para os períodos futuros.

Em 2020, um grande percentual de dias apresentou frequência máxima de desconforto, comparado ao período atual. Avaliando os períodos de 2050 e 2080, assim como observado anteriormente na Primavera, 100% das horas dos dias analisados obtiveram máxima de FDT, com variação apenas na intensidade do desconforto térmico, com situação agravada para o período de 2080, resultando em flutuações indo em direção ao limite máximo de GhDT, apresentando desconforto térmico frequente e intenso.

Tabela 11: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.

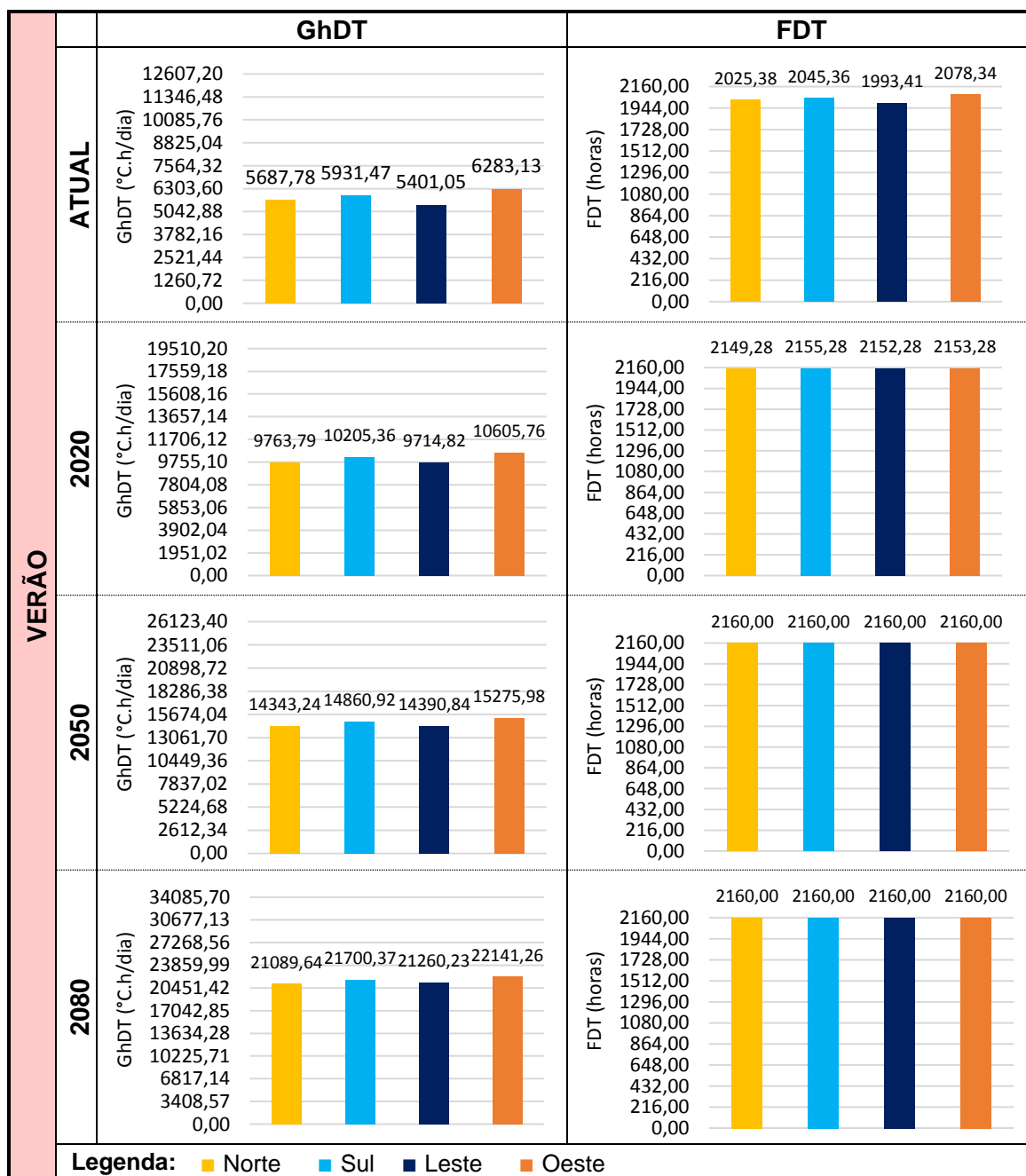


Fonte: A autora.

Em análise ao somatório de GhDT (Tabela 12), verificou-se que a orientação Oeste, se destacou como aquela com valores mais elevados para todos os períodos, com aumento de 71,62% ao avançar do período atual para 2080. Considerando a FDT atual, a pior situação também ocorreu para a orientação Oeste, devido aos ganhos de calor pela incidência solar no período da tarde e pelo posicionamento desfavorável da abertura, contrária à ventilação predominante (Leste).

A orientação Leste foi observada com os menores índices de desconforto, devido à exposição ao sol da manhã, considerado mais brando, e pela posição favorável à ventilação predominante, no entanto, apesar de apresentar menor índice de GhDT, a FDT ainda se manteve alta. A partir do período de 2050, todas as orientações apresentaram frequência máxima de desconforto térmico, com variações apenas na intensidade.

Tabela 12: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.



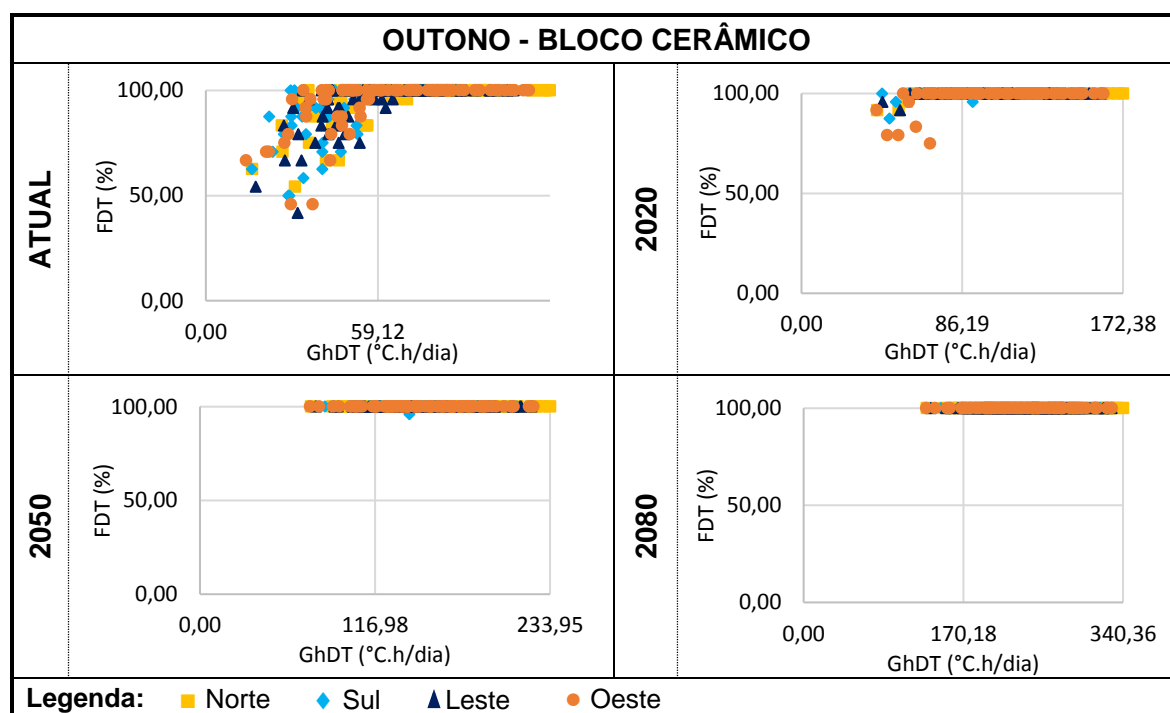
Fonte: A autora.

III. OUTONO

Como apresentado na Tabela 13, as flutuações diárias para Outono na cidade de Manaus, indicaram elevados índices de desconforto térmico, permitindo verificar que desde o período atual, todos os dias da estação apresentarão em total desconforto térmico, com variações observadas na frequência e na intensidade.

No período atual foi possível perceber maior dispersão de pontos situada na zona 2, com alta frequência de desconforto, no entanto com menor intensidade. Notou-se, ao avançar do período atual para o de 2020 um grande aumento tanto para GhDT, quanto para FDT. Apenas alguns dias da orientação Oeste apresentaram flutuações com valores de FDT mais baixos dentre as demais. Os períodos de 2050 e 2080, se comportaram de forma semelhante, entretanto, o período de 2050 apresentou, ainda, uma quantidade de dias presentes na zona 2, superior ao de 2080, evidenciando que em 2080 o desconforto térmico tende a se agravar, principalmente com relação ao GhDT, havendo um grande aumento na intensidade do desconforto com frequência máxima de 100%.

Tabela 13: Diagramas de fluabilidade do MR para o Outono na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.

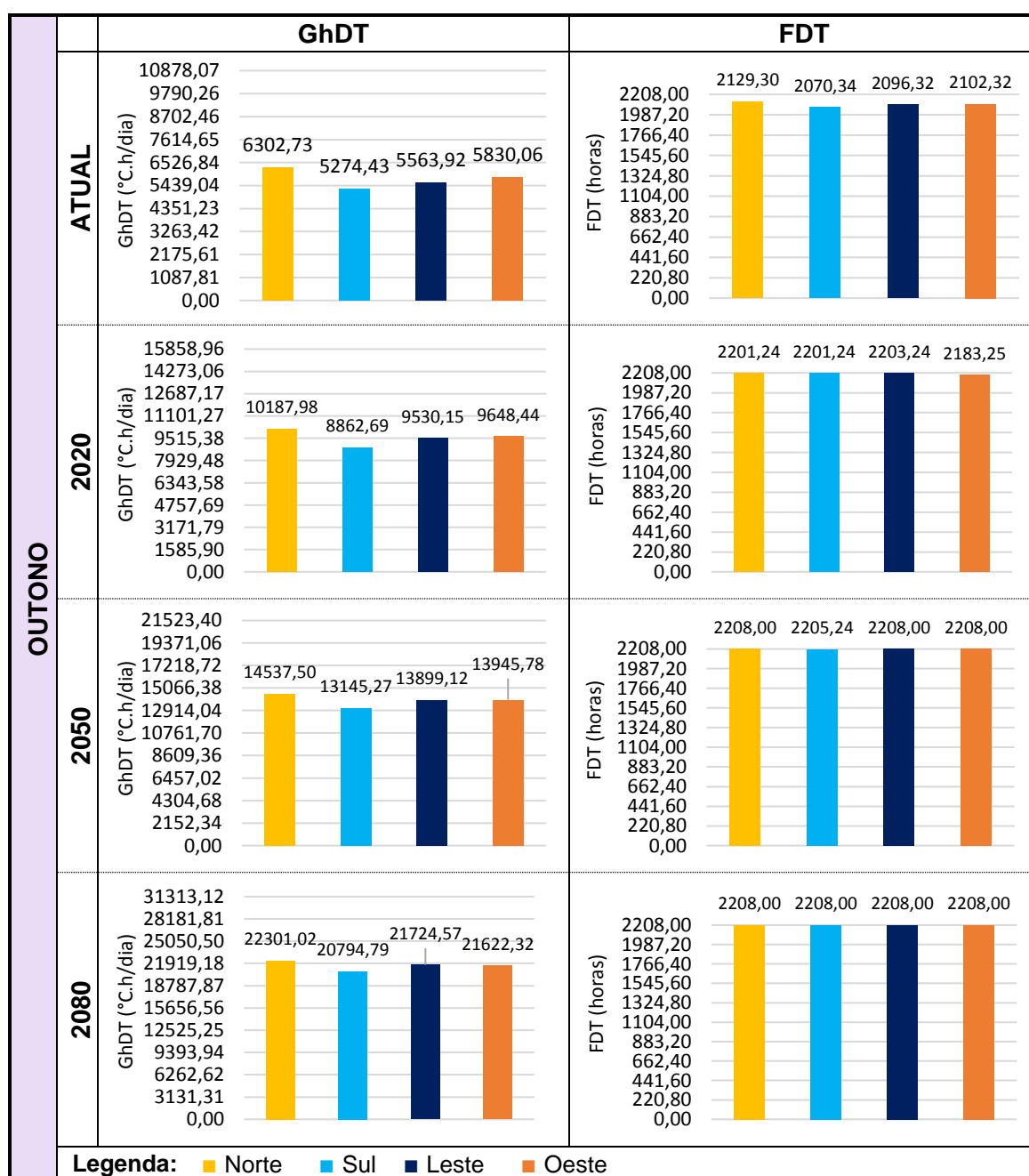


Fonte: A autora.

Analisando o somatório dos índices, verificou-se que a orientação Norte apresentou os valores mais elevados tanto para GhDT quanto para FDT (Tabela 14). As melhores situações de GhDT foram percebidas para a orientação Sul. Este fato ocorre devido ao menor período de insolação para esta orientação em contraposição à Norte. Além disso, a ventilação predominante ocorre para o quadrante Leste e Sudeste, contribuindo para dissipação do calor interno nesta orientação.

Em relação aos índices de FDT, foram observados resultados muito semelhantes para todas as orientações. No entanto, para o período de 2050, verificou-se que todas as orientações, exceto a Sul, apresentaram frequência de 100% das horas em desconforto térmico, enquanto no período de 2080, todas as orientações tiveram frequência máxima de desconforto.

Tabela 14: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.



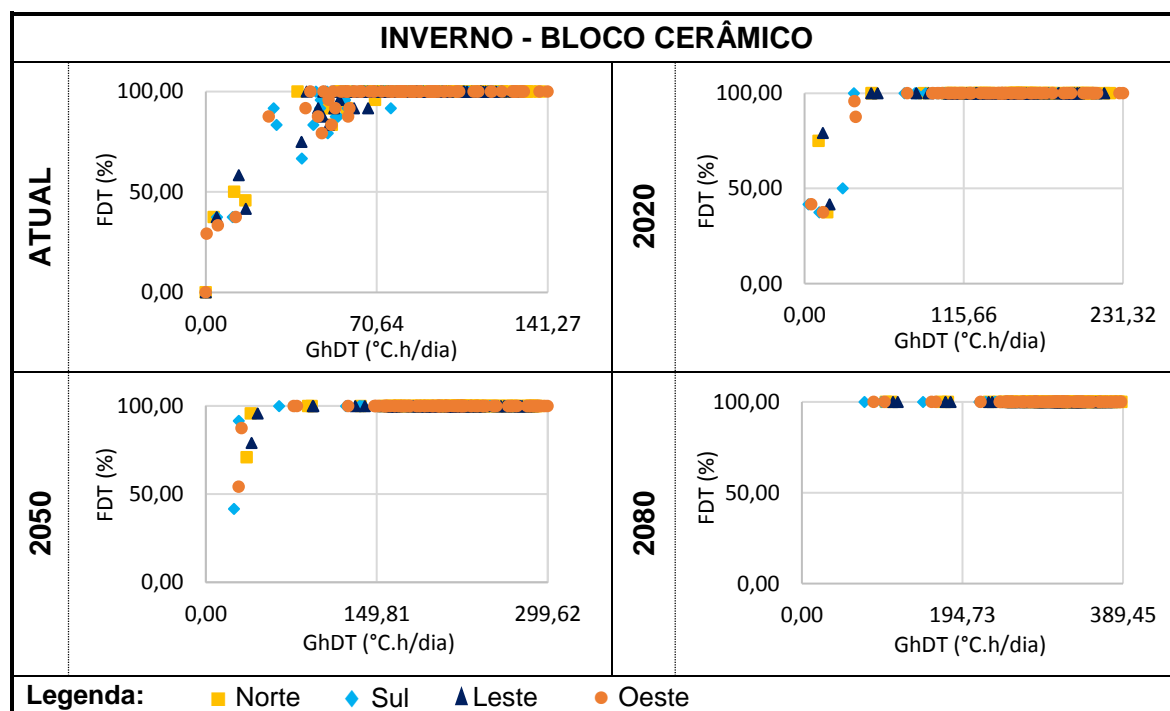
Fonte: A autora.

IV. INVERNO

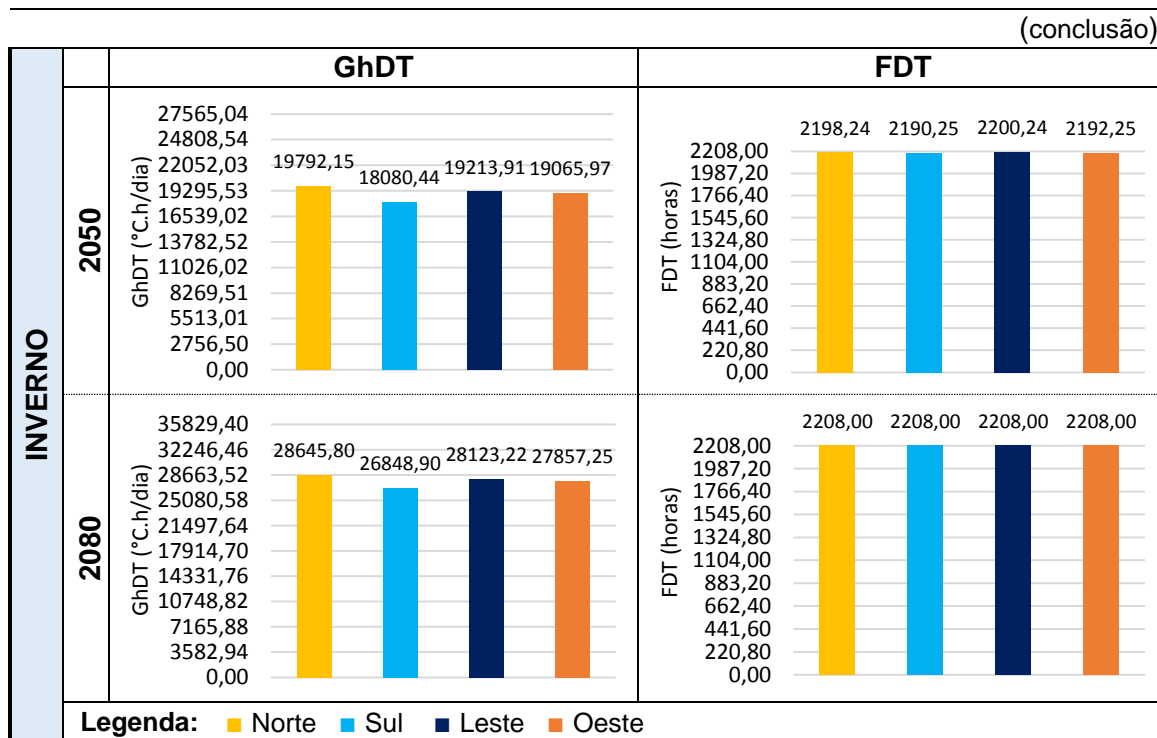
Analisando-se a flutuabilidade para a estação do Inverno (Tabela 15), percebeu-se que no período atual a maioria dos dias apresentou valores superiores a 50% de FDT, variando apenas na intensidade do desconforto. No entanto, para o período atual, verificou-se que existem alguns dias em condições de conforto, situados na origem do gráfico. Observou-se ainda uma baixa flutuabilidade para os dias concentrados na zona 1, indicando desconforto leve e temporário.

Ao avançar para o período de 2020, notou-se a ausência de dias em plena situação de conforto térmico, apresentando ainda um aumento nos valores de FDT e GhDT, quando comparados ao período atual. No período de 2050, notou-se alguns dias na zona 2, com desconforto leve e frequente, no entanto a tendência deste período em diante, ocorreu para um aumento intenso de GhDT, em direção aos limites máximos do gráfico. No período de 2080, todos os dias apresentaram máxima frequência de desconforto, e aumento nos valores de GhDT, indicando uma intensificação do ocorrido em 2050.

Tabela 15: Diagramas de flutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Manaus para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.



Fonte: A autora.

Por meio dessas análises, conclui-se, que a cidade de Manaus, devido ao posicionamento geográfico próximo à Linha do Equador, não possui estações do ano bem definidas, apresentando elevados índices de desconforto térmico constantes para todas as estações, evidenciando ainda que as mudanças no clima tendem a acentuar essas condições, como observado principalmente para o período de 2080, onde todas as horas do dia, para todas as estações, apresentaram máxima frequência de desconforto, contribuindo para a geração de diversos problemas, sociais, ambientais e econômicos nessa região, ressaltando a necessidade de adaptar os edifícios ao clima local desde o período atual.

BRASÍLIA

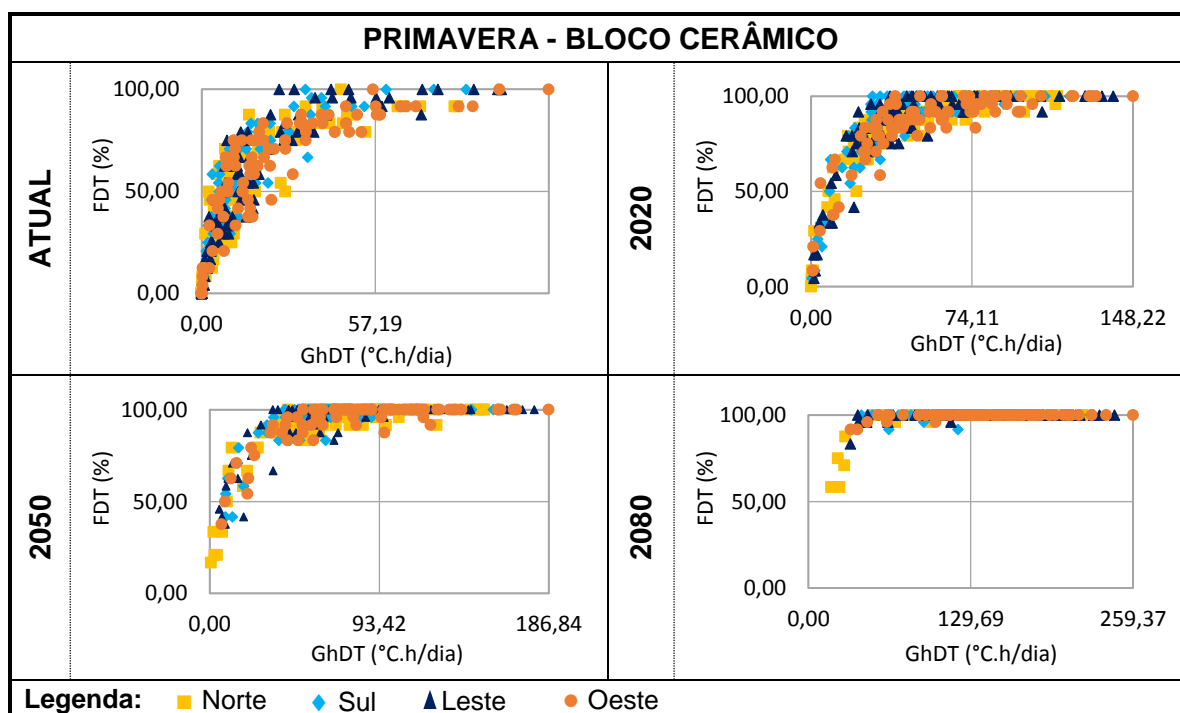
I. PRIMAVERA

Na estação da Primavera, a análise da fluvariabilidade de cada uma das orientações (Tabela 17), demonstrou resultados desfavoráveis ao conforto térmico para todos os horizontes de tempo. A orientação Oeste apresentou os valores mais altos de temperatura, indicando a maior parte dos dias com alta flutuação e 100% das horas em desconforto. Em contrapartida, os resultados de fluvariabilidade mais positivos

foram notados para as orientações Norte e Sul, apontando baixa flutuação, quando comparadas as demais.

Observou-se ainda que o período atual demonstrou uma tendência maior para o aumento de FDT em detrimento ao GhDT. No período de 2020, percebeu-se que um maior número de dias passou a apresentar valores superiores 50% de frequência de desconforto. A partir do período de 2050, todas as orientações resultaram em dias com total desconforto térmico, com variações apenas na frequência e intensidade, e para o período de 2080, notou-se que todas as orientações apresentaram desconforto térmico com frequência acima de 50% das horas do dia.

Tabela 17: Diagramas de fluvariabilidade do MR para a Primavera na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

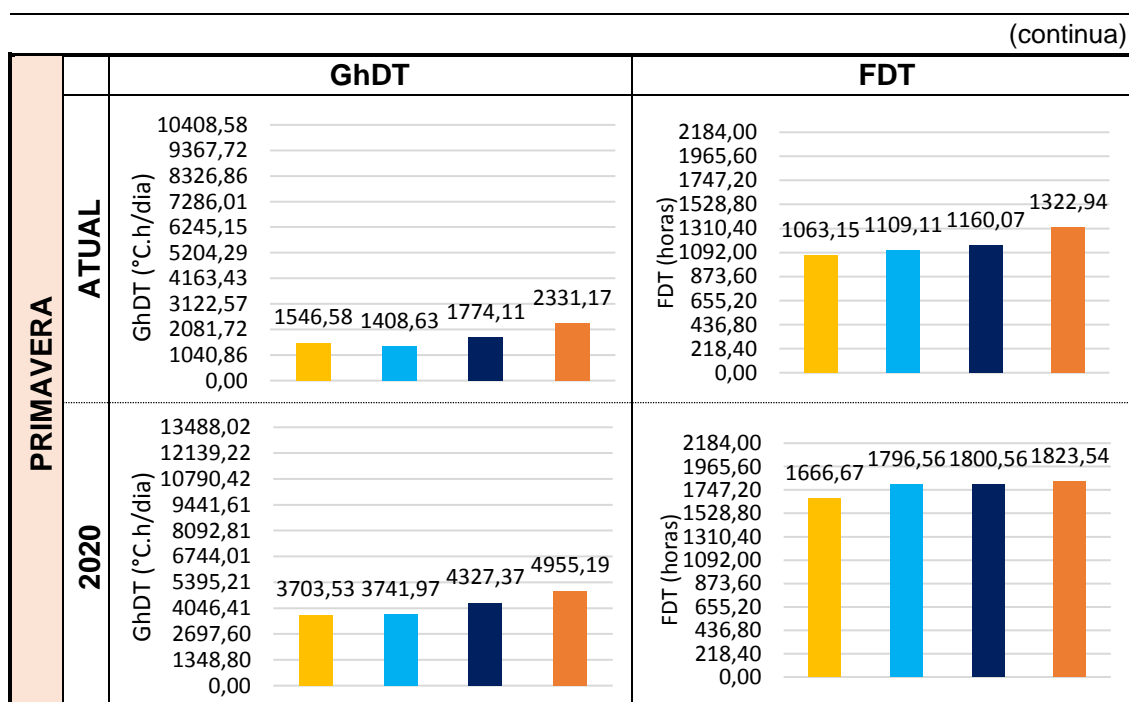
Ao observar o somatório de GhDT e FDT (Tabela 18), verificou-se que a orientação Oeste apresentou os valores mais elevados para GHDT em todos os períodos, no entanto, os maiores valores de FDT foram observados apenas para o período atual e em 2020, sendo a orientação Sul a que apresentou os maiores índices em 2050 e 2080. Essa condição pode ser explicada pelo fato do ambiente possuir uma das paredes voltadas para a orientação Sul, exposta a incidência solar direta durante todas as horas do dia e nos meses mais quentes da primavera, sendo agravado ainda

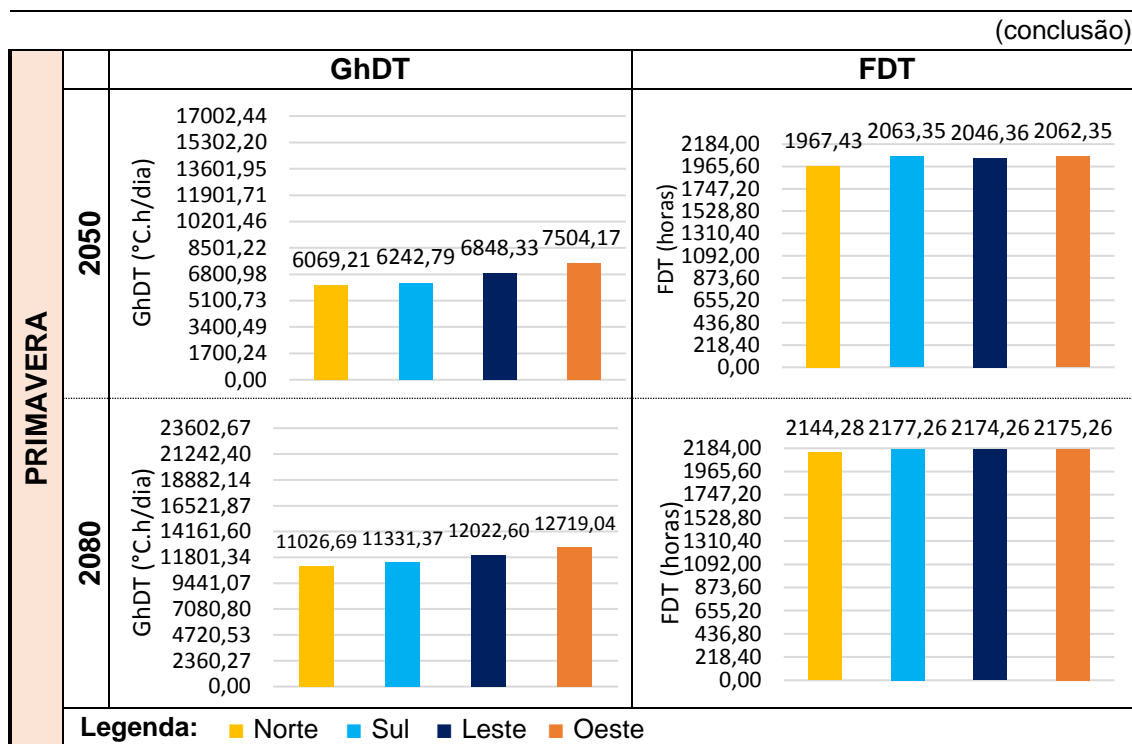
pelo posicionamento da abertura, voltada para Oeste, que além de receber incidência solar direta, aumentando os ganhos térmicos através das folhas envidraçadas no período da tarde, considerado como um horário crítico, é ainda a orientação contrária aos ventos predominantes, com baixa frequência de ocorrência e baixa velocidade, contribuindo para o pior desempenho.

Pode-se constatar também que, o material de vedação utilizado contribuiu para os resultados mais desfavoráveis, retendo o calor no interior do ambiente, dificultando sua dissipação devido à falta de ventilação permanente. Devido a isso, a orientação Oeste apresentou um percentual de aumento ao avançar do período atual para o de 2080 de 81,67% no GhDT, indicando um ambiente cada vez mais quente e desconfortável.

A orientação Sul foi indicada com os menores índices de GhDT e FDT apenas para o período atual. Os períodos futuros indicaram a orientação Norte com os menores valores de GhDT e FDT, fato verificado devido ao posicionamento da abertura, voltada para Norte, recebendo incidência de ventos com baixa frequência, porém com muita intensidade, contribuindo para a dissipação de calor do ambiente interno, permitindo as melhores condições ambientais, quando comparada às demais orientações.

Tabela 18: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



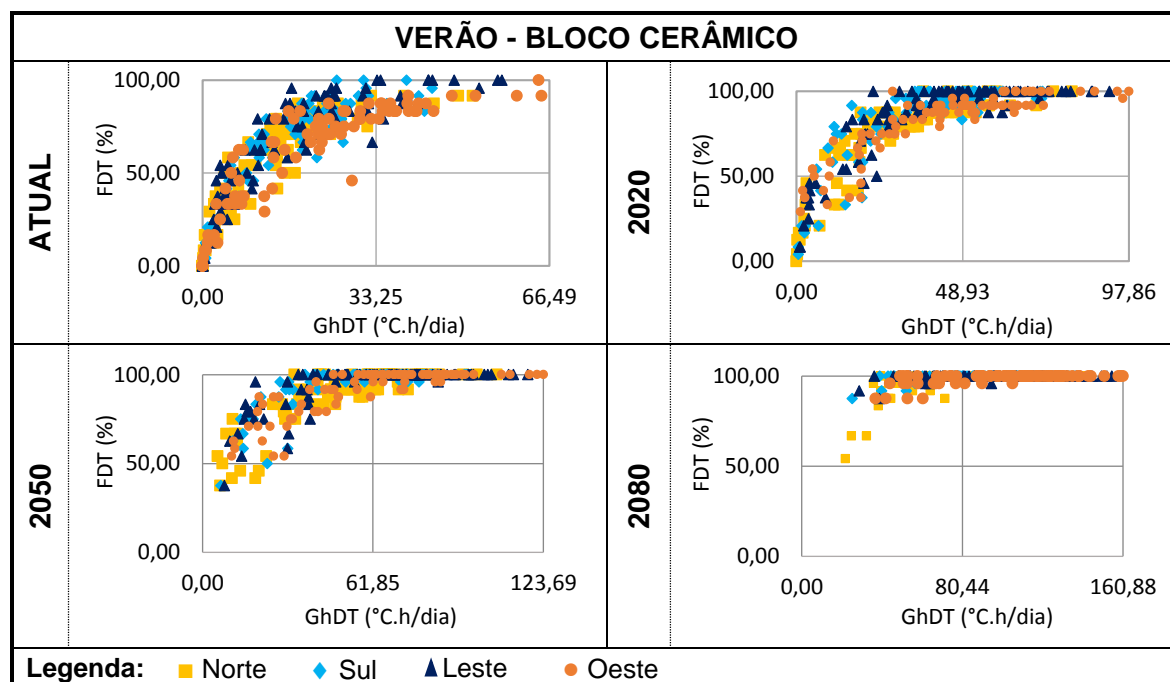


Fonte: A autora.

II. VERÃO

A fluabilidade para a estação do Verão (Tabela 19), apresentou grande parte dos dias com alta flutuação de GhDT e FDT, destacando temperaturas elevadas no ambiente interno por tempo prolongado, evidenciando as orientações Leste e Sul, principalmente no período atual, como aquelas que se mostraram com a frequência mais alta de desconforto. Além disso, foi possível constatar, que a partir do período de 2050, todas as orientações apresentaram dias com total desconforto térmico, com variações apenas na frequência e intensidade. Contudo para o período de 2080, esse desconforto foi superior a 50% das horas para todos os dias analisados.

Tabela 19: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.

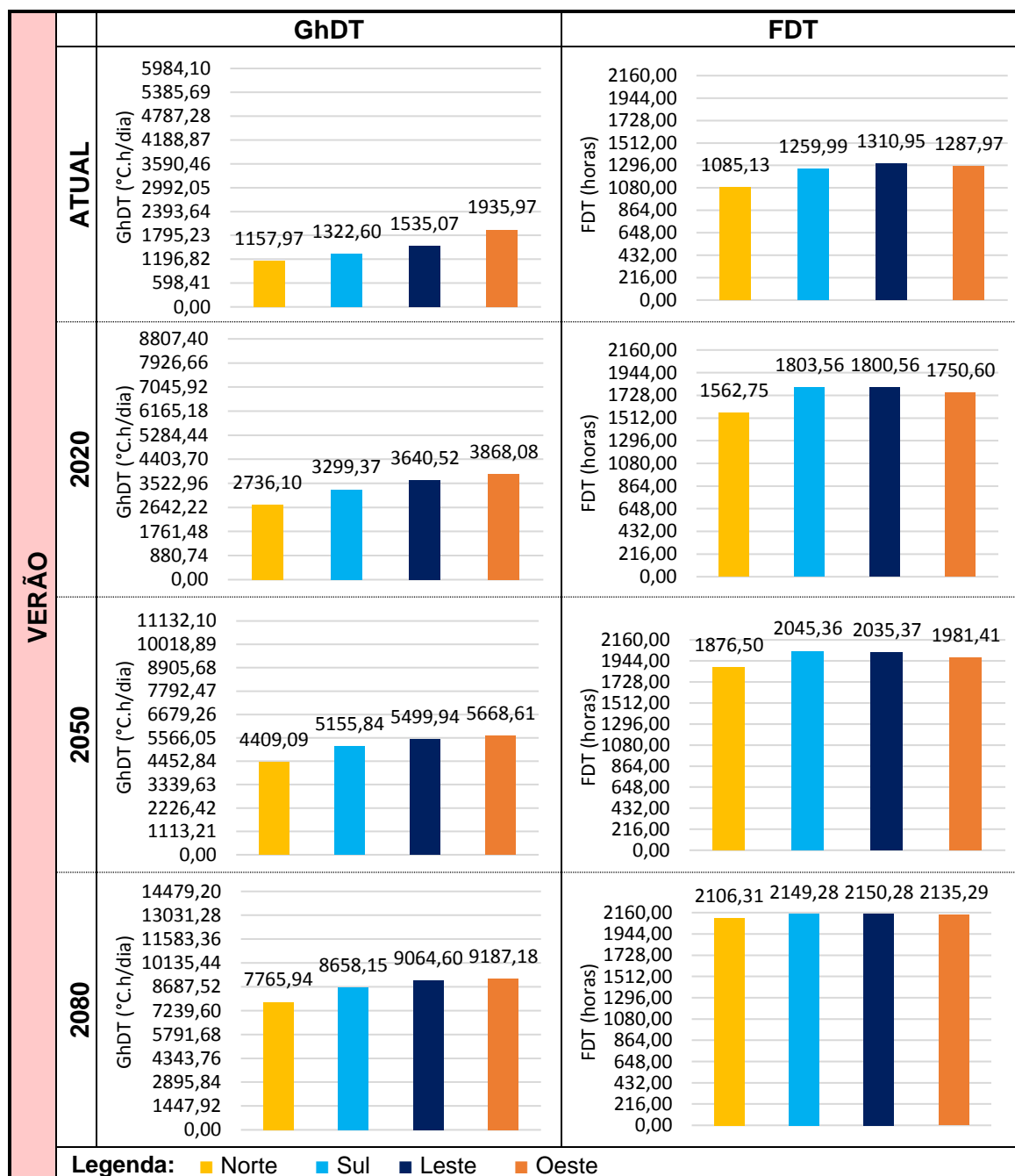


Fonte: A autora.

Em análise ao somatório de GhDT (Tabela 20), percebeu-se que a orientação Oeste se destacou dentre todos os períodos como aquela com valores mais elevados, devido aos ganhos de calor pela incidência solar e pelo posicionamento desfavorável da abertura, contrária à ventilação predominante, enquanto a orientação Norte apresentou-se com os menores valores, em virtude do posicionamento da abertura a favor do vento, que mesmo possuindo baixa frequência, apresenta alta velocidade, sendo capaz de dissipar o calor absorvido pelo ambiente, observado anteriormente na Primavera, devido a trajetória solar semelhante.

Ao analisar a FDT, notou-se que a orientação Leste apresentou os maiores valores para o período atual e em 2080, enquanto os maiores valores para os períodos de 2020 e 2050 foram verificados para a orientação Sul. Em contrapartida, os menores valores de FDT foram observados para a orientação Norte em todos os períodos analisados. Nesse sentido, cabe destacar que houve pouca variação entre os índices máximos para cada orientação, e que a tendência indica um aumento considerável no período de 2080, quase 100% das horas em desconforto térmico para todas as orientações.

Tabela 20: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



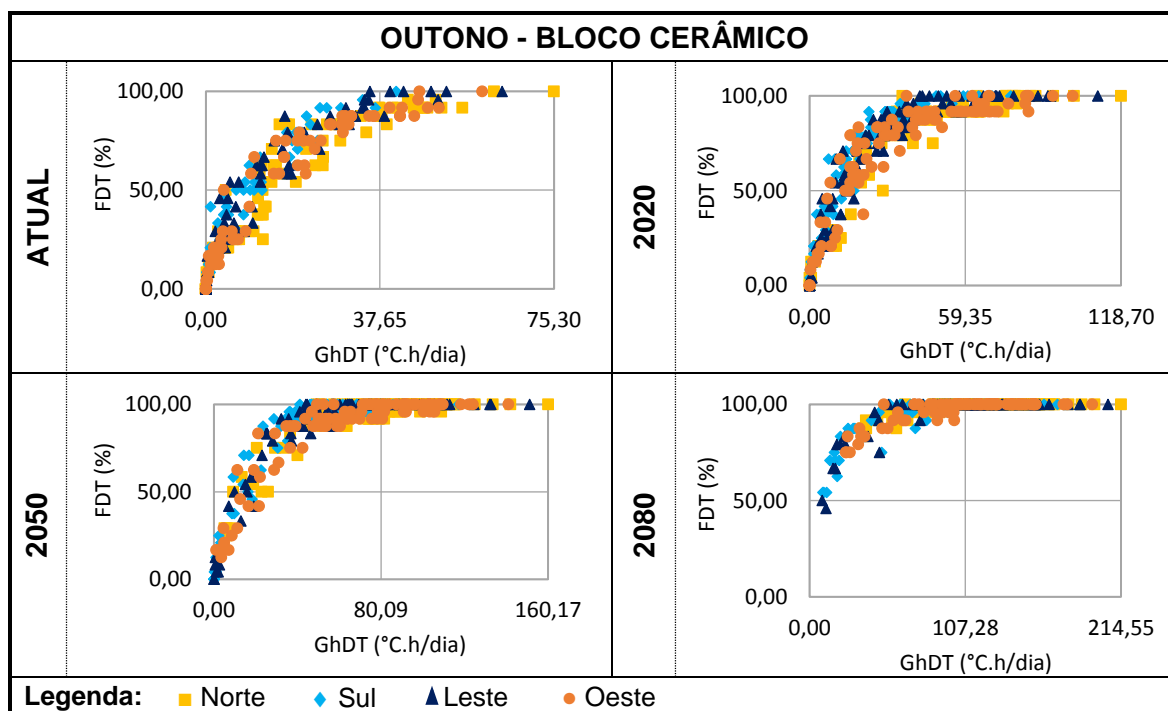
Fonte: A autora.

III. OUTONO

Para a estação do Outono, as flutuações diárias indicaram altos níveis de desconforto térmico para todas as orientações e horizontes de tempo analisados (Tabela 21). A orientação Norte se destacou por apresentar os valores mais altos de temperatura,

indicando grande parte dos dias com alta flutuação e 100% das horas em desconforto. Percebeu-se ainda, que no período de 2080, todos os dias da estação apresentaram total desconforto térmico, destacando o aumento no GhDT e na FDT para todas as orientações em mais de 50% das horas do período analisado, evidenciando que as melhores flutuações foram observadas para a orientação Leste e Sul, neste período.

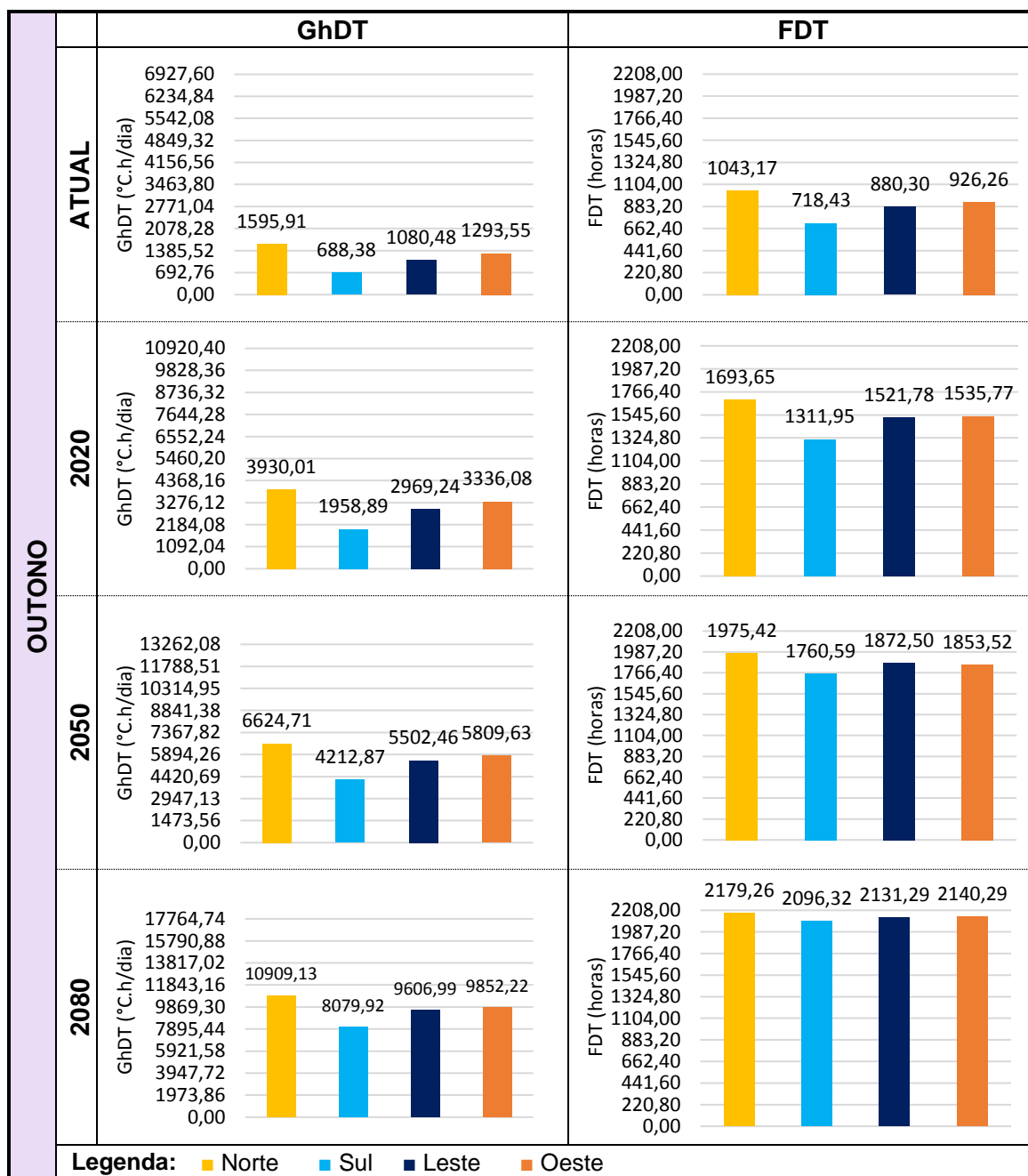
Tabela 21: Diagramas de fluabilidade do MR para o Outono na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

Verificando o somatório de GhDT e FDT (Tabela 22), constatou-se que para o Outono, a orientação Norte apresentou os maiores índices de desconforto térmico para todos os períodos de tempo analisados, ocasionado possivelmente pela carga térmica recebida pelo sol durante todo o dia nesta estação, contribuindo para os ganhos de calor internos por meio das folhas de vidro desprotegidas e pela frequência quase inexistente de ventilação para esta orientação, favorecendo a retenção de calor no interior do ambiente, aumentando a frequência e a intensidade do desconforto ao longo dos dias. A orientação Sul destacou-se por ter obtido os índices mais baixos de desconforto nesta estação, justificado pelo fato de não haver incidência solar direta sobre a fachada do edifício e pelos ventos presentes, mesmo que com baixa frequência para esta orientação, contribuindo assim para dias com desconforto mais leve e menos frequente.

Tabela 22: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



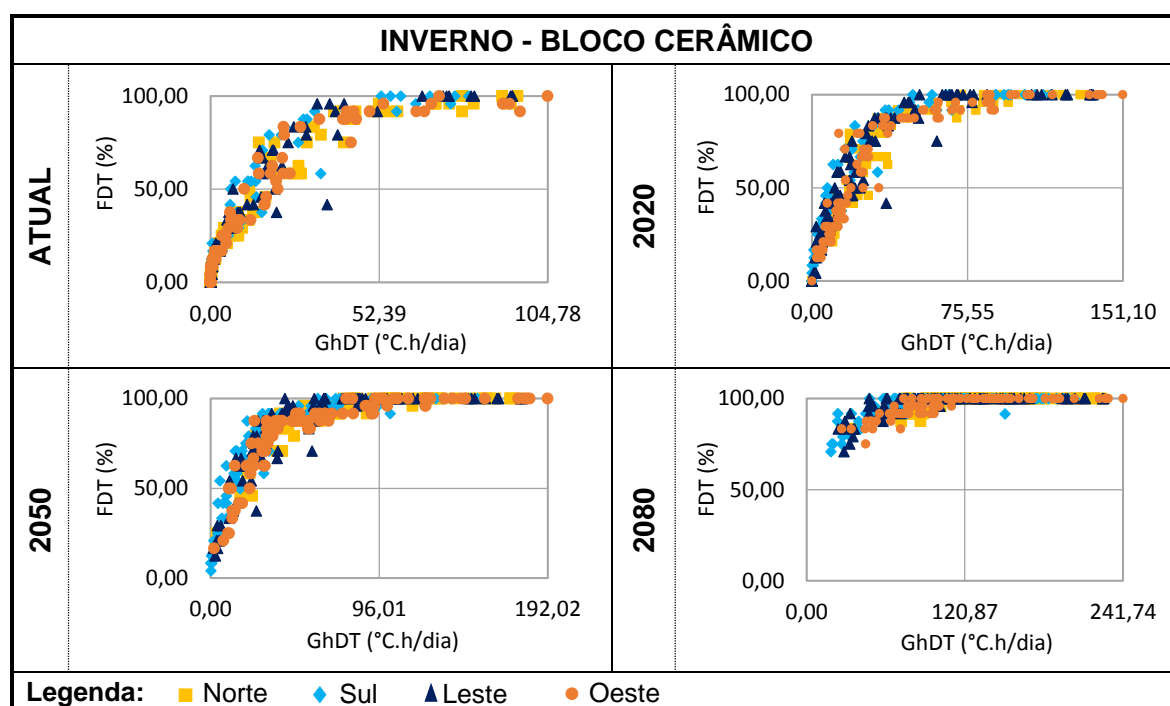
Fonte: A autora.

IV. INVERNO

A análise da fluvariabilidade para o Inverno (Tabela 23), destacou uma tendência de flutuação que seguiram um padrão de aumento rumo aos limites de FDT para todos os períodos de tempo analisados. Verificou-se uma distribuição de pontos quase que uniforme, concentrados nas zonas 1, 2 e 4 do período atual até o de 2050.

Notou-se também, que a partir do período de 2050, todas as orientações apresentaram dias com total desconforto térmico, e que para o período de 2080, todas as orientações apresentaram dias com frequência de desconforto térmico superior à 50% das horas dos dias, com variação apenas na intensidade do desconforto, destacando que as melhores flutuações foram observadas para as orientações Leste e Sul, neste período.

Tabela 23: Diagramas de fluabilidade do MR para o Inverno na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

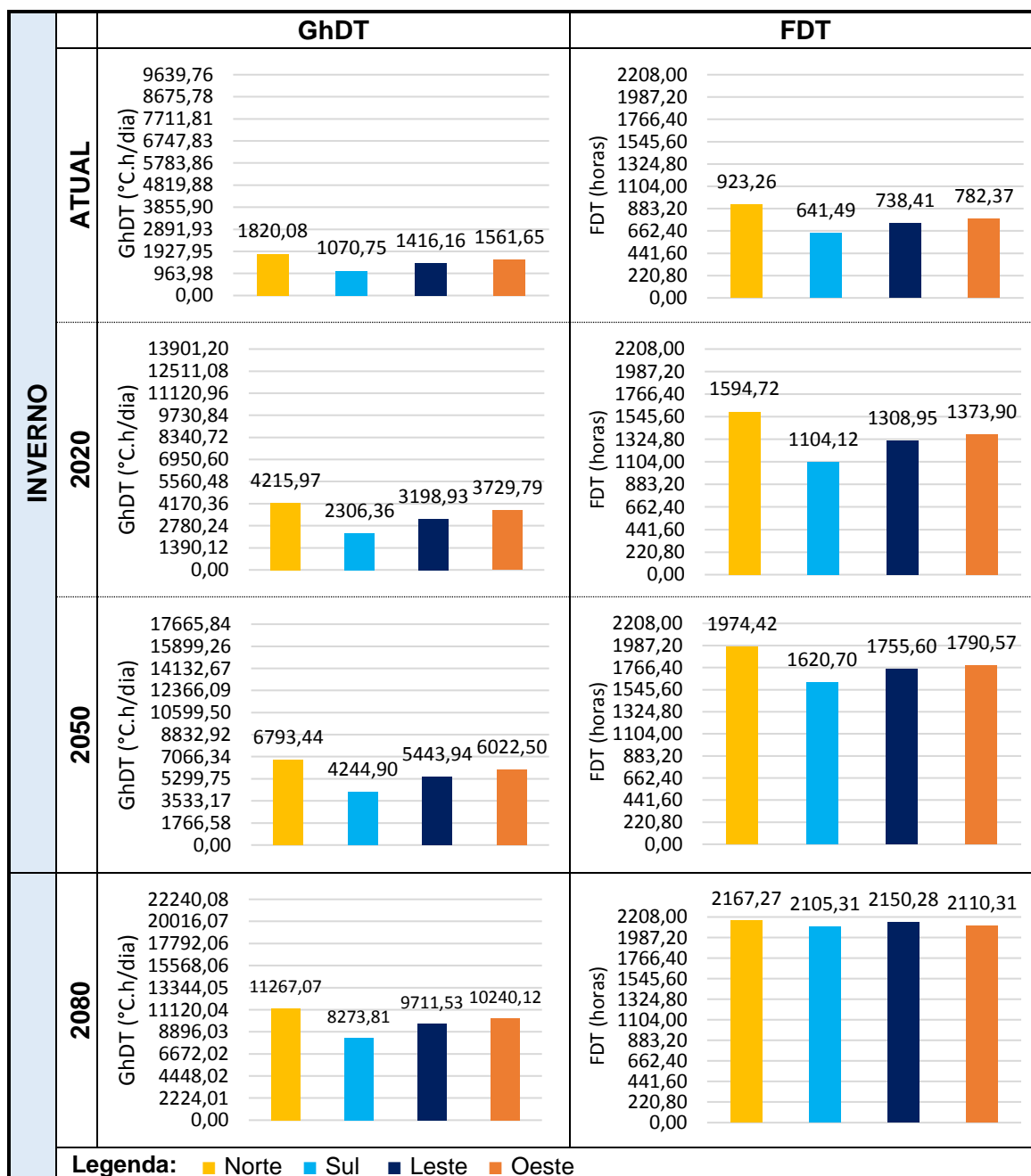
Por meio das análises do somatório de GhDT e FDT (Tabela 24), constatou-se, que a orientação Norte apresentou os valores mais elevados tanto para a frequência quanto para a intensidade de desconforto para todos os períodos de tempo avaliados.

Isto pode ser explicado devido ao maior tempo de exposição da fachada à radiação solar, que incide diretamente sobre o plano durante o dia todo e ao longo de todo o período do Inverno, favorecendo a entrada de calor através das janelas envidraçadas, que não consegue ser dissipado devido à baixa frequência de ventos nesta estação, assim como ocorre no Outono.

A orientação que apresentou índices mais baixos de desconforto foi a Sul, pois nessa estação, não há insolação presente na fachada voltada para esta orientação,

favorecendo os índices mais baixos de desconforto térmico, tanto para o período atual, quanto para os períodos futuros.

Tabela 24: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de Brasília para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

A partir dessas análises, foi possível concluir para a cidade de Brasília, que ao avançar do período atual para o de 2080, houve um grande aumento na intensidade do desconforto, observada para quase todas as horas dos dias e para todas as orientações, evidenciando a necessidade de adaptar as edificações existentes para

as mudanças no clima, de modo a torná-las mais eficientes e com melhor desempenho térmico.

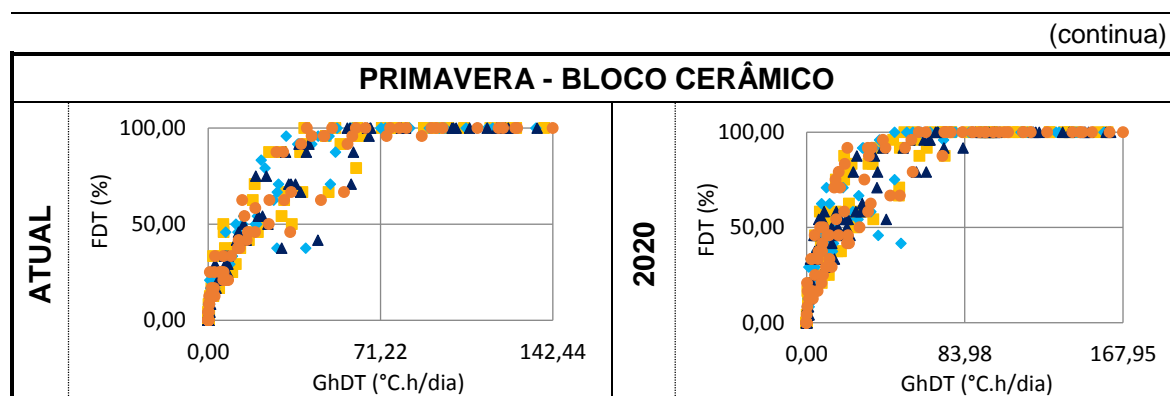
PORTO ALEGRE

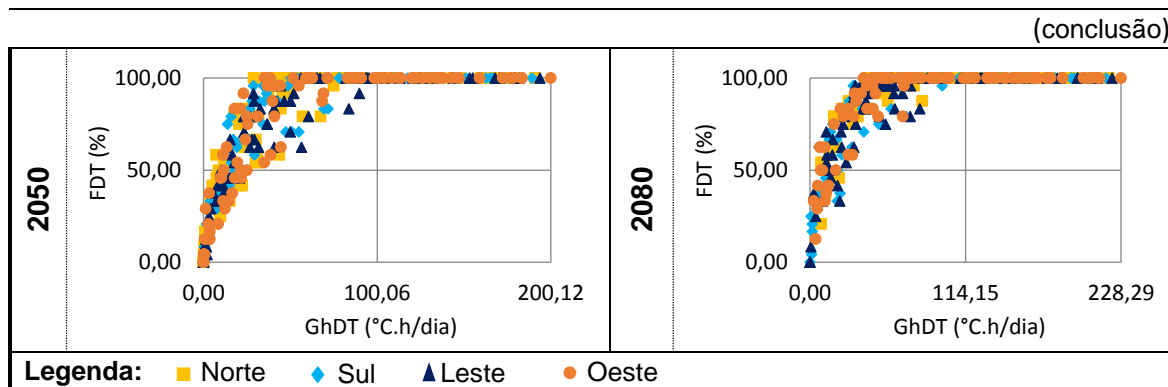
I. PRIMAVERA

A análise de fluvariabilidade no período da Primavera (Tabela 25), revelou resultados semelhantes e desfavoráveis ao conforto térmico para todas as orientações e horizontes de tempo, com variações apenas na frequência e intensidade de desconforto. Percebeu-se que no período atual os dias mostraram flutuações com maior concentração na zona 1 e mais próximas à origem, indicando dias em total situação de conforto ou com baixo desconforto. Ao avançar do período atual para os períodos futuros, percebeu-se um aumento nos índices de FDT e GhDT, entretanto todos os períodos futuros ainda demonstraram dias em total situação de conforto térmico.

Os períodos de 2020 e 2050 apresentaram muitas semelhanças entre si quanto à flutuação, no entanto no período de 2050 houve uma intensificação do GhDT e FDT ocorrido em 2020. Para o período de 2080, apenas as orientações Leste e Sul resultaram em dias em total situação de conforto, no entanto, a maior parte dos dias analisados sofreu aumento nas flutuações, indo em direção aos limites máximos de FDT e GhDT, indicando maiores níveis de desconforto térmico. Diante disso, para essa estação, percebeu-se que o aumento das temperaturas acontecerá de forma gradual e será sentido com mais intensidade apenas a longo prazo.

Tabela 25: Diagramas de fluvariabilidade do MR para a Primavera na cidade de porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.





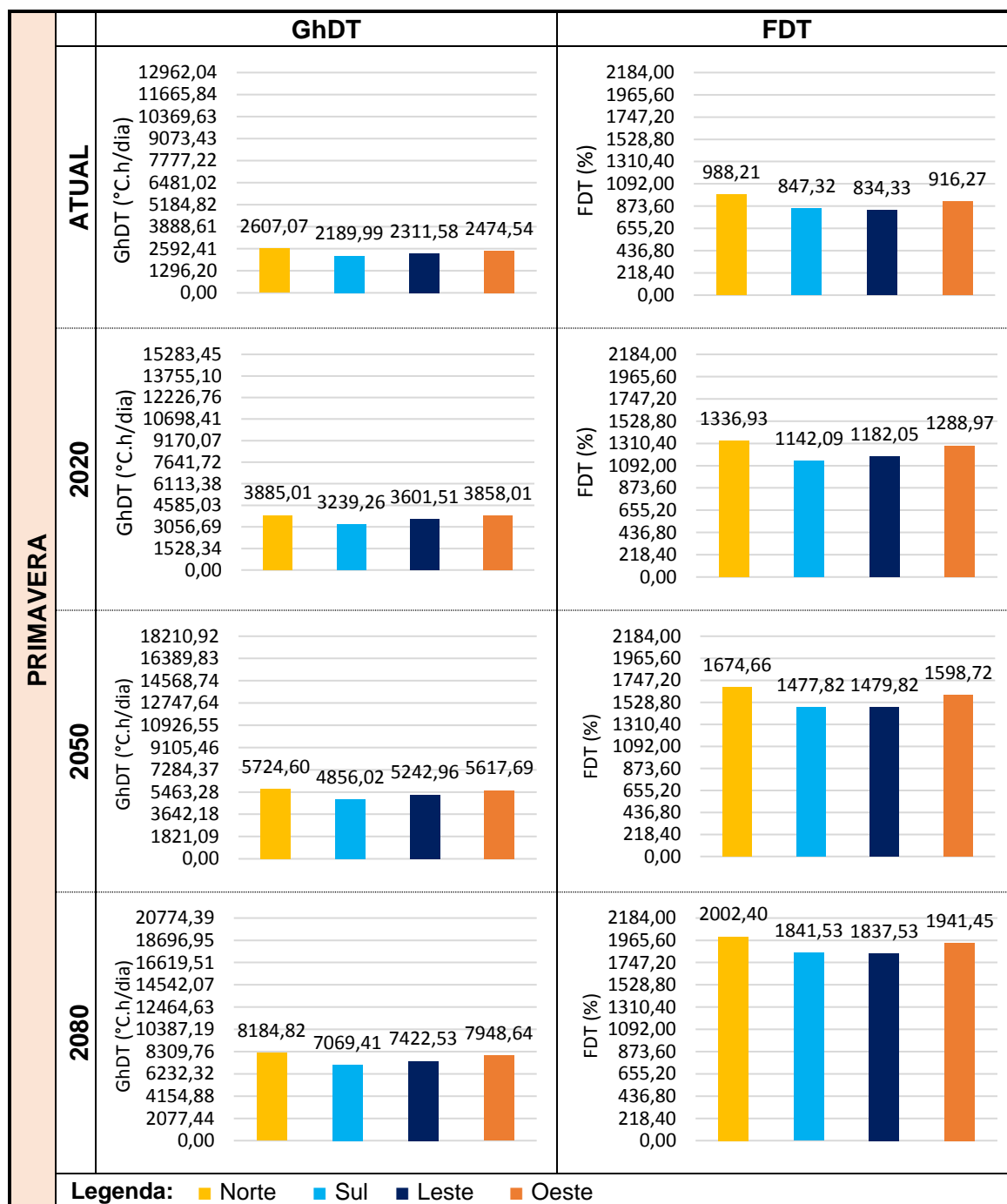
Fonte: A autora.

Em observação ao somatório de GhDT e FDT (Tabela 26), verificou-se que a orientação Norte apresentou os valores mais elevados para os dois índices e para todos os horizontes de tempo analisados. Essa condição pode ser explicada pelo fato do ambiente possuir uma das paredes voltadas para a orientação Oeste, exposta à insolação no período da tarde, até às 19 horas no mês de dezembro, considerado um dos meses mais quentes, contribuindo para os ganhos de calor internos, que não conseguem se dissipar do ambiente, devido ao posicionamento da abertura, voltada para Norte, apresentando baixa frequência e baixa velocidade do vento nesta orientação, contribuindo para os resultados mais desfavoráveis. Devido a isso, esta orientação apresentou um percentual de aumento ao avançar do período atual para o de 2080 de 68,14% no GhDT, e 50,64% no FDT, indicando um ambiente cada vez mais quente e frequentemente desconfortável.

A orientação Sul, é indicada neste caso, com os menores índices de GhDT. Apesar de receber incidência solar durante os meses mais quentes da estação, os horários em que a insolação atinge essa fachada ocorrem na parte da manhã até às 9 horas, e a tarde após às 15 horas. Ainda nesse caso, a abertura está posicionada a favor da ventilação predominante, com alta frequência e intensidade dos ventos, contribuindo para a dissipação do calor absorvido pelo ambiente, permitindo as melhores condições ambientais, quando comparada às demais orientações.

Ao analisar a FDT, notou-se que a orientação Leste possui os menores valores para o período atual e em 2080, enquanto a orientação Sul apresentou os menores valores para os períodos de 2020 e 2050, no entanto apresentaram poucas diferenças entre si.

Tabela 26: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.



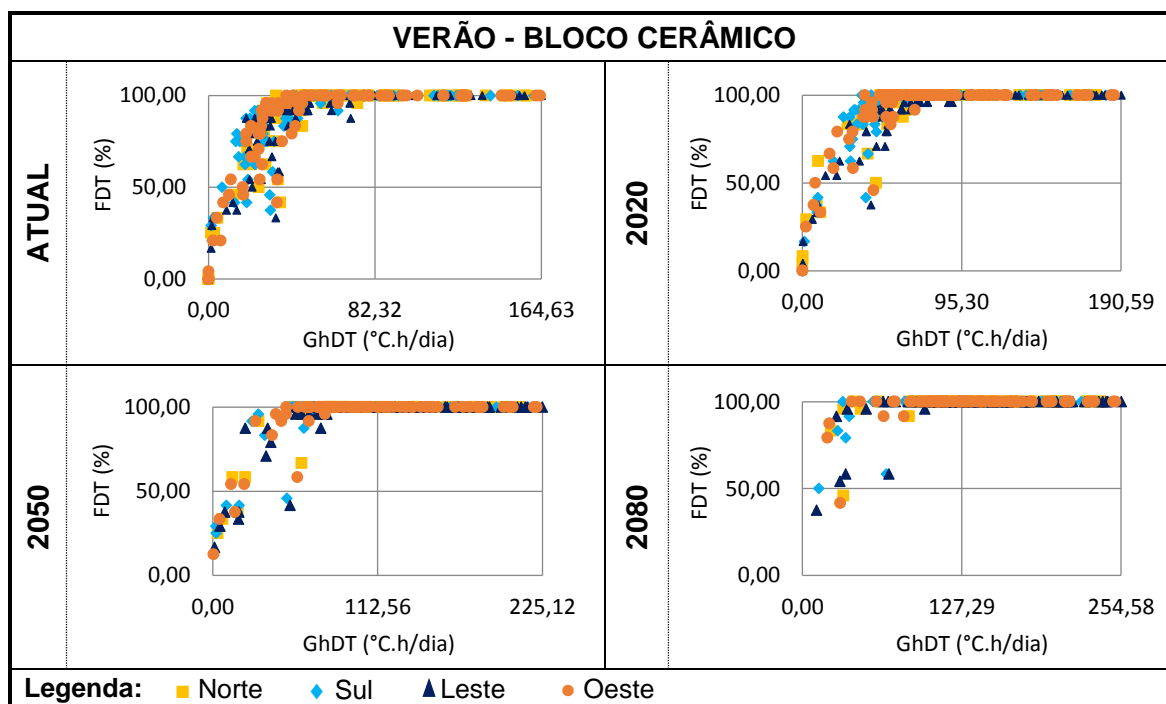
Fonte: A autora.

II. VERÃO

A fluabilidade para a estação do Verão (Tabela 27) apresentou resultados semelhantes entre o período atual e o de 2020, e entre o período de 2050 e 2080. Percebeu-se que do período atual para o de 2020 não houve grandes variações

quanto à flutuação dos dias, resultando em altas flutuações, em sua maioria superiores a 50% de FDT. A maior mudança foi verificada do período de 2020 para o de 2050, apresentando grande variação na flutuabilidade, com aumento nos níveis de FDT e GhDT para todas as orientações, principalmente para Leste e Sul, indicando também o aumento do desconforto. A partir do período de 2050, todas as orientações possuíram dias com total desconforto térmico, sofrendo variação apenas na frequência e na intensidade do desconforto. Verificou-se ainda que nos períodos de 2050 e 2080 as orientações Leste e Sul apresentaram baixa flutuação, apresentando situações menos desconfortáveis em relação às demais.

Tabela 27: Diagramas de flutuabilidade do MR para o Verão na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

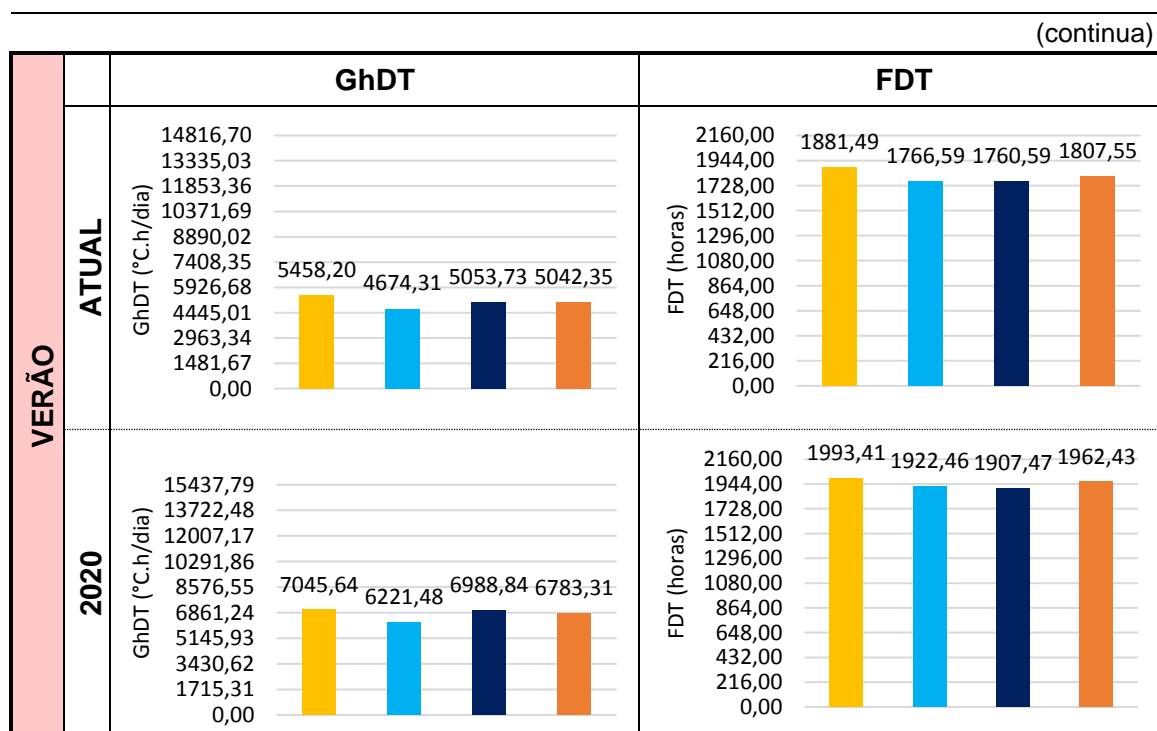
Em análise ao somatório de GhDT e FDT (Tabela 28), percebeu-se que a orientação Norte, se destacou dentre todos os períodos analisados, como aquela com valores mais elevados para ambos os índices, devido aos ganhos de calor pela incidência solar e pelo posicionamento desfavorável da abertura, contrária à ventilação predominante, como já observado anteriormente na estação da Primavera, em consequência da trajetória solar semelhante à esta estação, apontando um percentual de aumento ao avançar do período atual para o de 2080 de 55,20% no GhDT, e

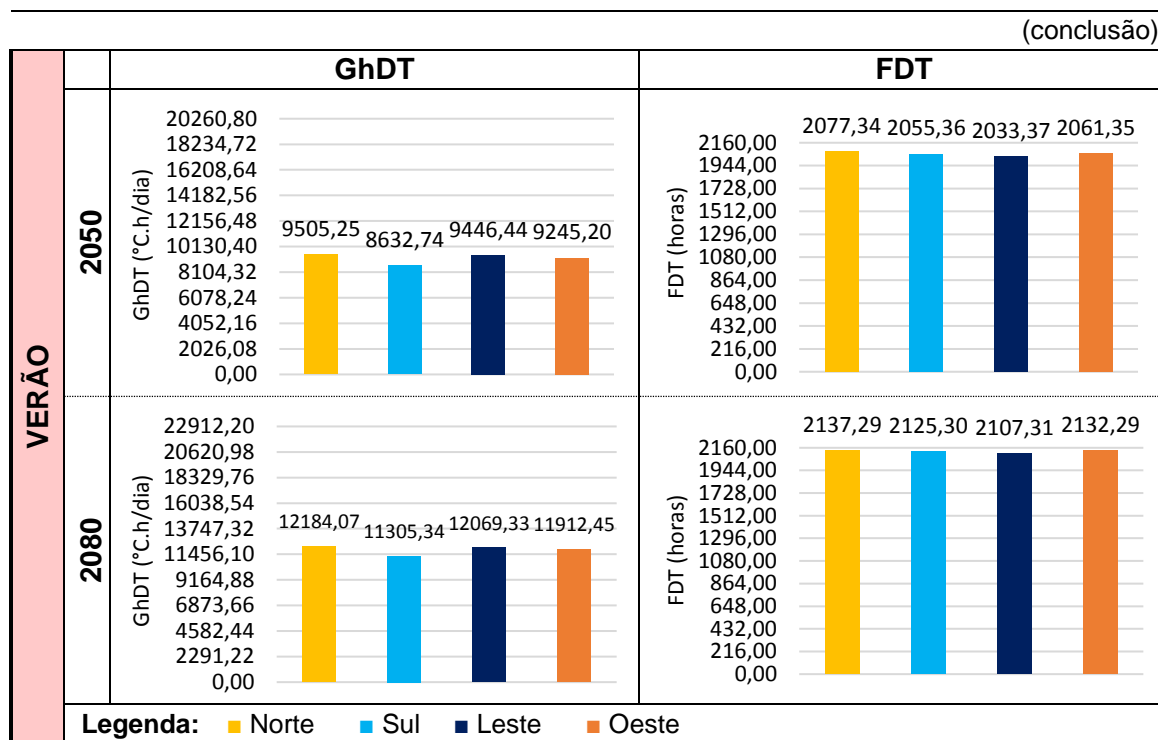
11,96% no FDT, indicando um ambiente cada vez mais quente e frequentemente desconfortável.

Ainda nesse caso, a abertura está posicionada a favor da ventilação predominante, com alta frequência e intensidade dos ventos, contribuindo para a dissipação do calor absorvido pelo ambiente, permitindo as melhores condições ambientais, quando comparada às demais orientações. A orientação Sul se destacou por ter obtido valores mais baixos para GhDT nesta estação, justificado pelo posicionamento a favor do vento predominante e por receber incidência solar durante os períodos de sol mais brandos, pela manhã até às 9 horas, e a tarde após às 15 horas, conforme observado anteriormente no período da Primavera, em virtude da trajetória solar semelhante.

Os melhores valores de FDT foram observados para a orientação Leste, no entanto todas as orientações apresentaram resultados semelhantes, com tendência de aproximação ao limite de FDT, para todas as orientações, principalmente no período de 2080.

Tabela 28: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.



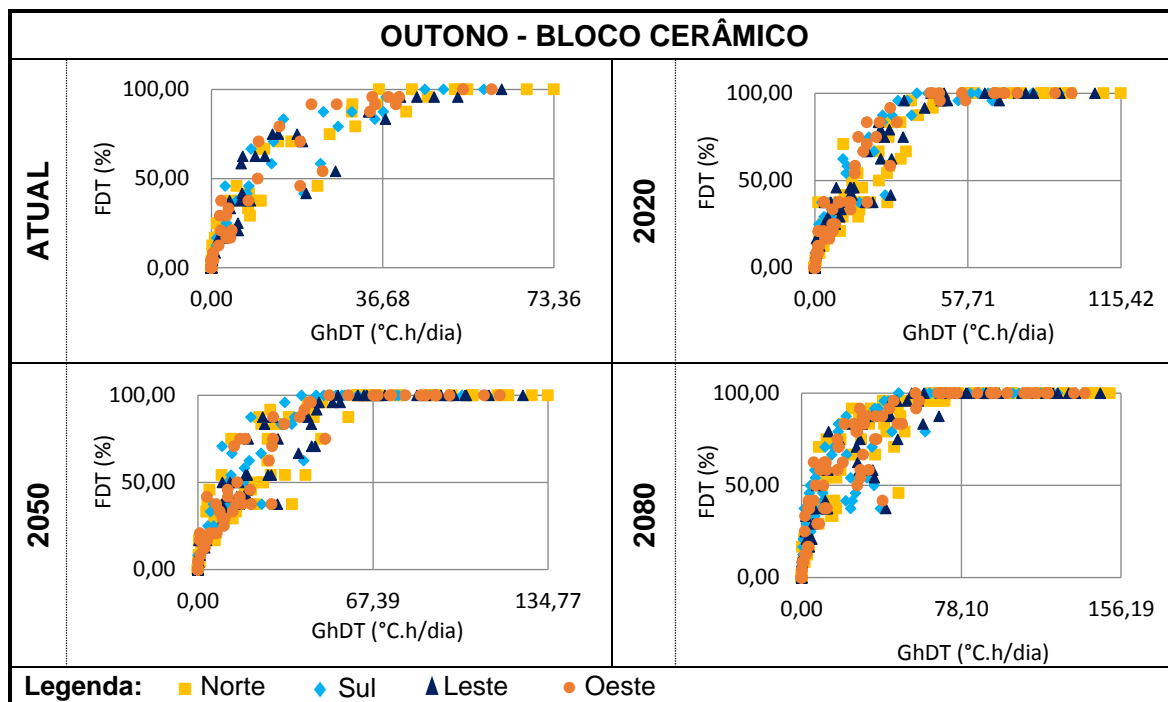


Fonte: A autora.

III. OUTONO

Analisando a flutuabilidade para o período do Outono na cidade de Porto Alegre (Tabela 29), as flutuações diárias indicaram para o período atual, um grande número de dias em situação de conforto térmico, situados na origem do gráfico, e concentrados também na zona 1, apresentando desconforto leve por um menor período de tempo. Ao avançar para os períodos futuros, observou-se uma intensificação do ocorrido no período atual, com aumento na frequência e intensidade do desconforto térmico. No entanto, as flutuações para os períodos futuros apresentaram-se de forma muito semelhante, sofrendo variações na frequência e a intensidade do desconforto térmico. Porém, mesmo com o aumento na frequência e intensidade do desconforto, ainda apresentaram dias em total situação de conforto térmico, mesmo para o período de 2080, considerado como o mais crítico.

Tabela 29: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.

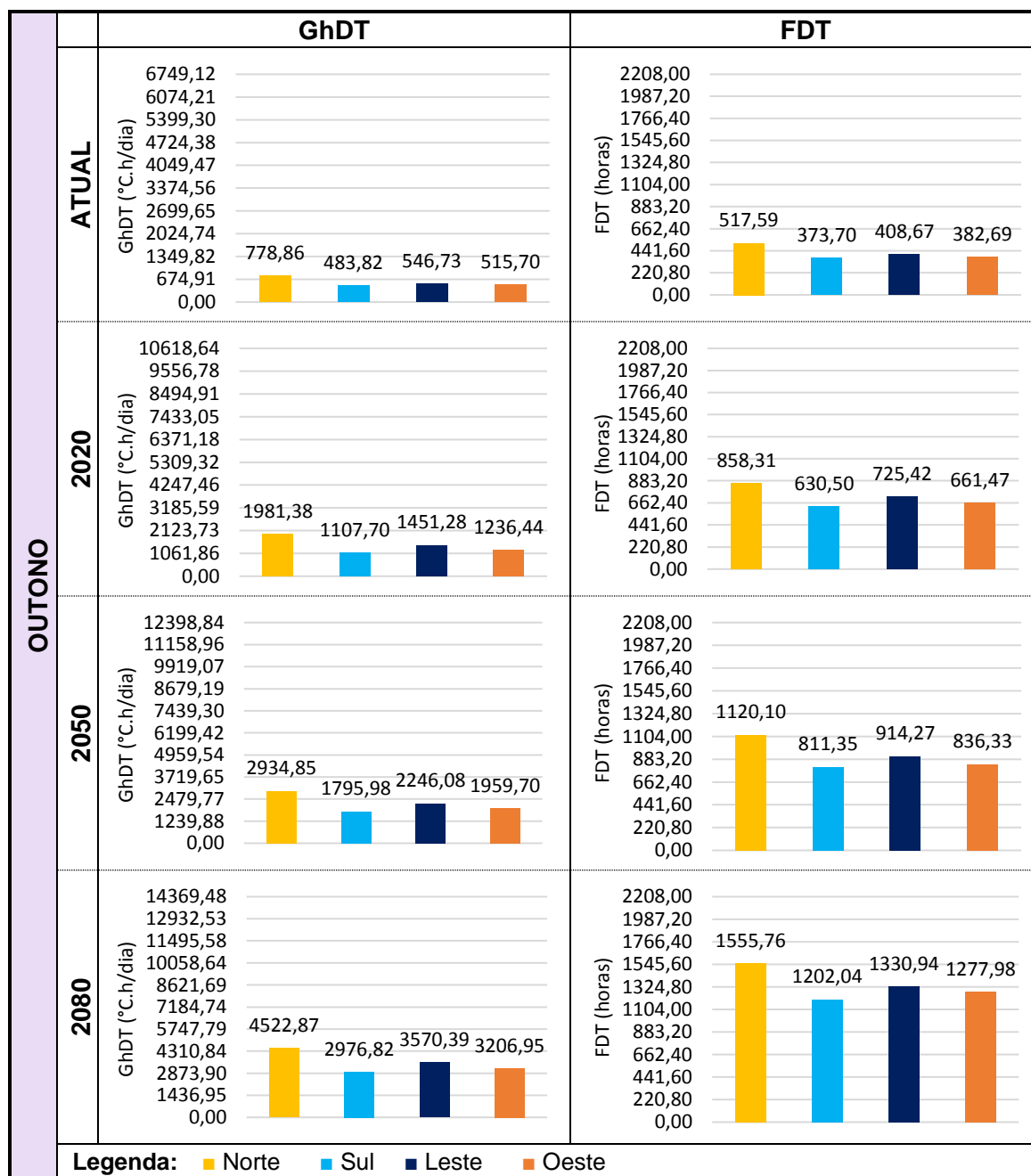


Fonte: A autora.

Analisando o somatório de GhDT e FDT (Tabela 30), constatou-se que para o Outono, a orientação Norte apresentou os maiores índices de desconforto térmico para todos os períodos de tempo analisados, ocasionado possivelmente pela baixa velocidade e baixa frequência do vento, favorecendo a retenção de calor no interior do ambiente, favorecendo o aumento na frequência e na intensidade do desconforto ao longo dos dias.

A orientação Sul, por sua vez, se distinguiu das demais por ter obtido os índices mais baixos de desconforto nesta estação, comprovado pelo fato de não haver incidência solar direta sobre a fachada do edifício nesta estação, contribuindo assim para dias com desconforto mais leve e menos frequente.

Tabela 30: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.



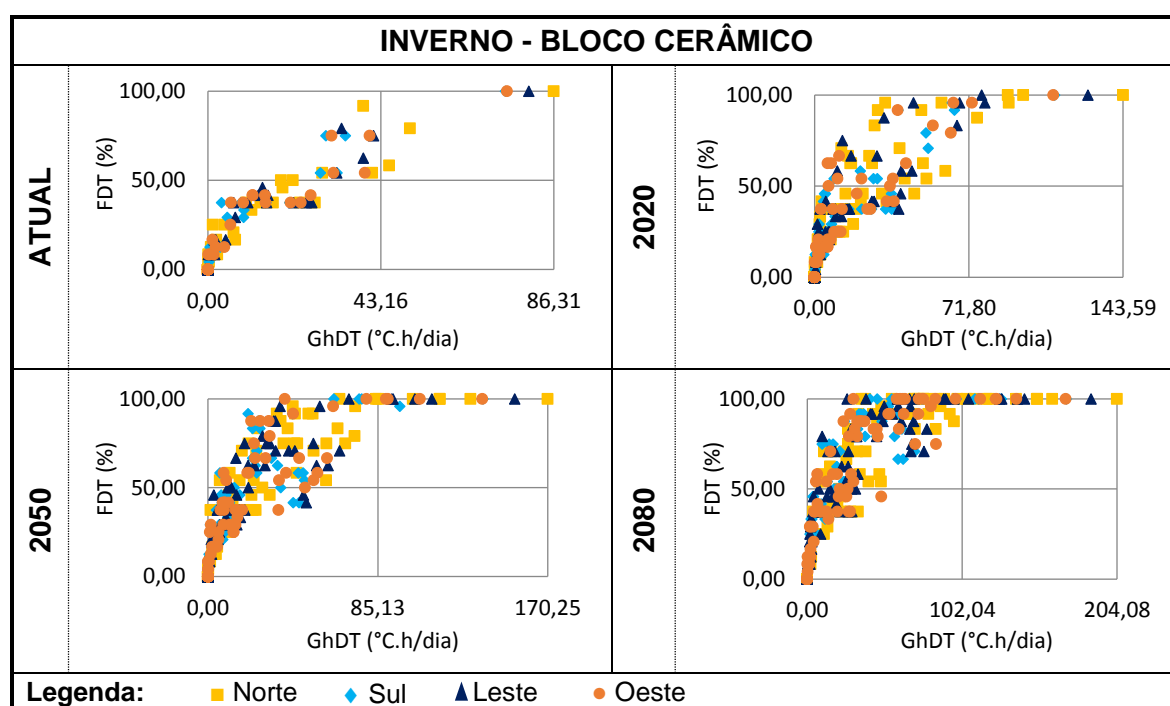
Fonte: A autora.

IV. INVERNO

Analisando-se a fluuabilidade para a estação do Inverno (Tabela 31), percebeu-se que houveram muitos dias em situação de conforto térmico, situados na origem do gráfico para todos os períodos de tempo analisados. Para o período atual, verificou-

se ainda maior concentração de dias presentes na zona 1, indicando dias com desconforto leve e temporário. Ao avançar para os períodos futuros, verificou-se um aumento tanto na frequência quanto na intensidade do desconforto para todas as orientações. Nos períodos de 2050 e 2080, observou-se que a maior parte dos dias estiveram concentrados acima de 50% de FDT, apresentando ainda valores mais elevados de GhDT. Verificou-se ainda para esta estação, que apesar do aumento nos índices de desconforto, todas as orientações apresentaram dias em completa situação de conforto para os períodos futuros.

Tabela 31: Diagramas de fluvariabilidade do MR para o Inverno na cidade de Porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.

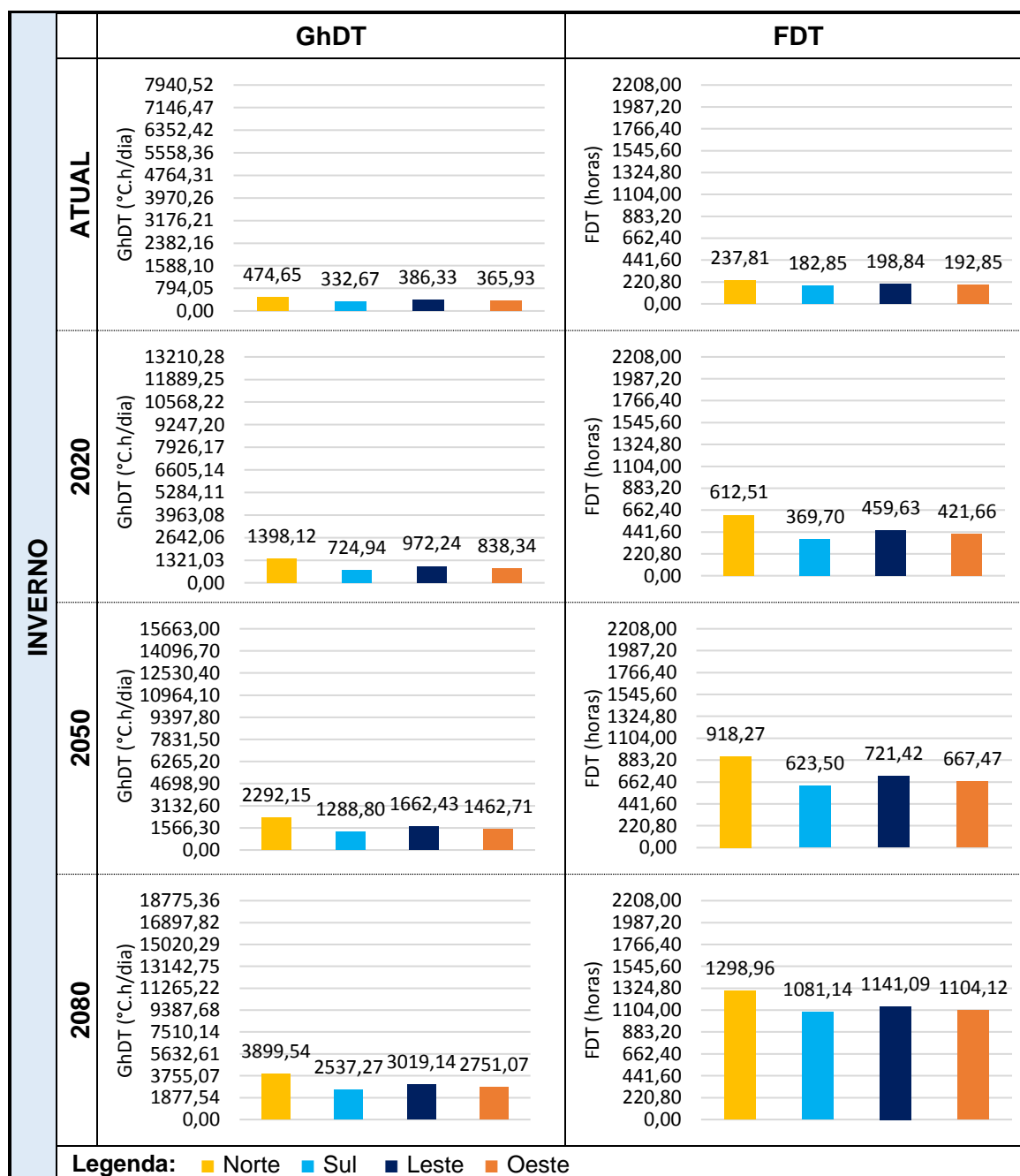


Fonte: A autora.

Por meio das análises do somatório de GhDT e FDT (Tabela 32), percebeu-se que a orientação Norte apresentou os valores mais elevados de frequência e intensidade de desconforto, para todos os períodos de tempo avaliados. Isto pode ser explicado devido ao maior tempo de exposição da fachada à radiação solar direta durante todo o dia e ao longo de todo o período do Inverno, favorecendo a passagem do calor através das folhas de vidro das janelas, devido à exposição da fachada à radiação solar direta durante todo o dia, para todos os meses nesta orientação, captada pelas folhas de vidro da abertura, dificultando a dissipação de calor pela baixa frequência e velocidade dos ventos nesta estação, assim como ocorre no Outono.

A orientação que apresentou índices mais baixos de desconforto, tanto para GhDT quanto para FDT foi a Sul, pois para essa estação, assim como ocorre no Outono, não há insolação na fachada nesta orientação, favorecendo os índices mais baixos de desconforto térmico, tanto para o período atual, quanto para os períodos futuros.

Tabela 32: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de porto Alegre para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

Para a cidade de Porto Alegre, pode-se inferir que a orientação Norte, configurou-se como a pior para todos os períodos de tempo e todas as estações, apresentando maior frequência e intensidade de desconforto em relação às demais, enquanto a orientação Sul foi considerada a melhor quanto ao desconforto térmico. As estações que mais sofreram com o aumento nos índices de desconforto térmico foram aquelas consideradas mais quentes - Primavera e Verão - enquanto para as mais amenas - Inverno e Outono - os índices foram mais baixos. Entretanto ainda revelaram a necessidade de adaptações para a melhoria do desempenho no interior do ambiente.

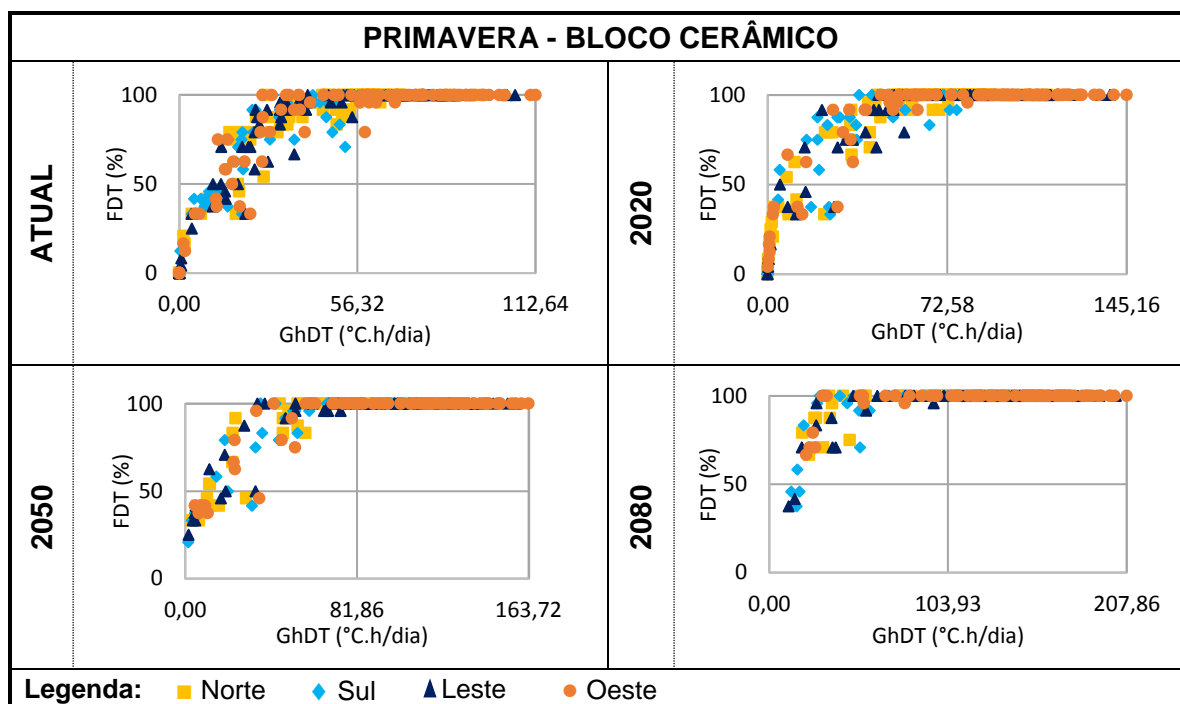
VITÓRIA

I. PRIMAVERA

Na estação da Primavera, a análise da fluvariabilidade de cada uma das orientações (Tabela 33), demonstrou resultados semelhantes e desfavoráveis ao conforto térmico para todos os horizontes de tempo. A orientação Oeste apresentou os valores mais altos de temperatura, acima dos referenciais de conforto estabelecidos, indicando a maior parte dos dias com alta flutuação e 100% das horas em desconforto.

Em contrapartida, os resultados de fluvariabilidade mais positivos foram notados para as orientações Leste e Sul, apontando baixa flutuação, quando comparadas às demais. Ressalta-se ainda, que durante o período de 2080, considerado como o mais crítico, essas duas orientações – Leste e Sul – foram as únicas a apresentarem pontos concentrados na Zona 1, indicando dias com um desconforto temporário e leve. Observou-se ainda que a partir do período de 2050, todas as orientações apresentarão dias com total desconforto térmico, com variações apenas na frequência e intensidade.

Tabela 33: Diagramas de fluvariabilidade do MR para a Primavera na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

Afirmando os resultados obtidos anteriormente pela fluvariabilidade, verificou-se, por meio do somatório de GhDT e FDT (Tabela 34), que a orientação Oeste se destacou dentre todos os períodos de tempo, como aquela com valores mais elevados para os dois índices. Essa condição pode ser explicada pela associação de alguns fatores, destacados anteriormente, como o posicionamento das aberturas, o dimensionamento dos vãos, os dispositivos de sombreamento e de ventilação da edificação.

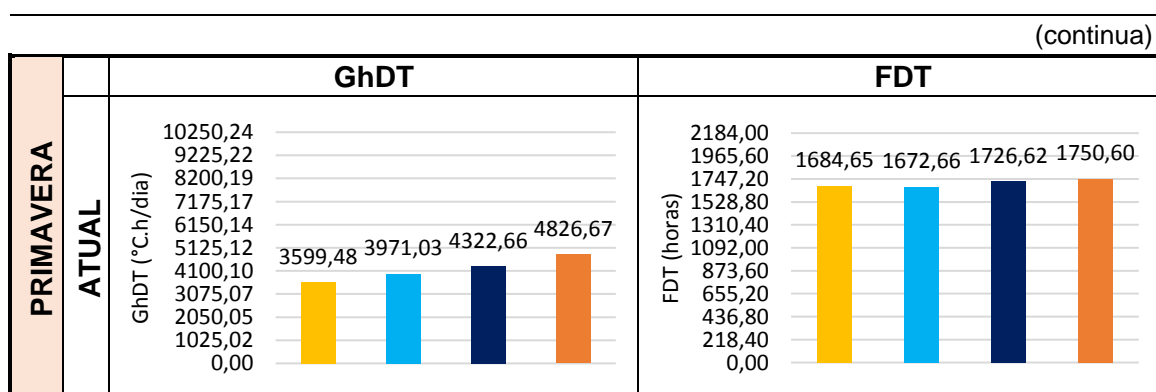
Dentre os quesitos influenciadores, destaca-se a exposição de uma das paredes do ambiente à orientação Sul, sujeita à incidência solar direta durante todas as horas do dia. Este fator, combinado ao posicionamento desfavorável da abertura – voltada para Oeste – é intensificado nos meses mais quentes, de novembro e dezembro, aumentando os ganhos térmicos através das folhas envidraçadas, sobretudo no período da tarde, considerado como um horário crítico. A orientação Oeste é, ainda, contrária aos ventos predominantes, o que contribuiu para o pior desempenho observado.

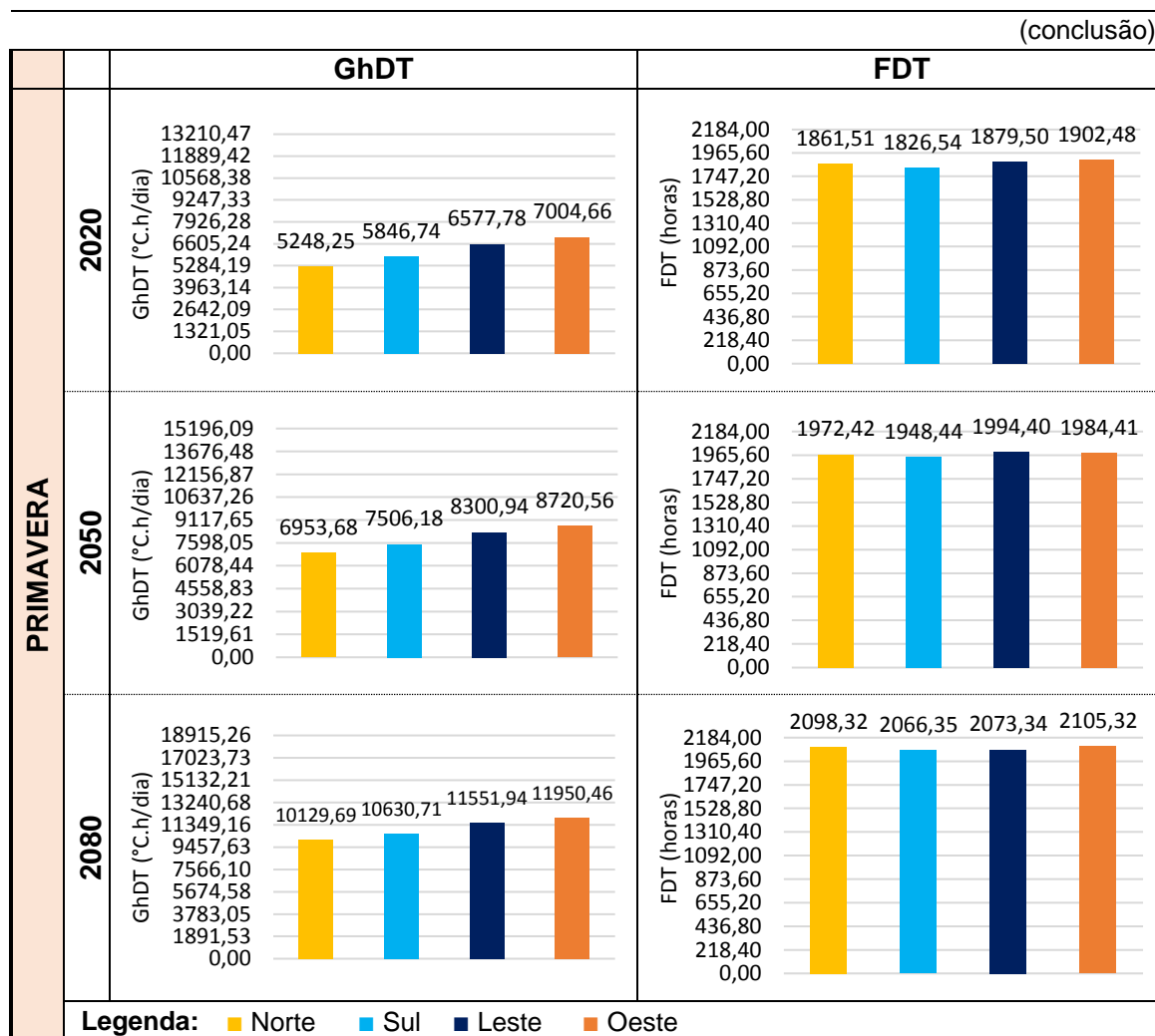
Pode-se constatar também que, o material de vedação utilizado contribui para os resultados mais desfavoráveis, retendo o calor no interior do ambiente, dificultando sua dissipação devido à falta de ventilação permanente. Por isso, a orientação Oeste apresentou um percentual de aumento ao avançar do período atual para o de 2080 de 59,61% no GhDT, indicando um ambiente cada vez mais quente e desconfortável.

A orientação Norte, é indicada neste caso, com o menor índice de GhDT, fato que pode ser verificado devido ao posicionamento da abertura, voltada para Norte, de forma a receber a ventilação predominante com alta frequência e velocidade, que mesmo ocorrendo no período vespertino, contribui para a dissipação de calor do ambiente interno, permitindo as melhores condições ambientais, quando comparada às demais orientações. Verificou-se ainda que a orientação Norte apresentou um aumento no GhDT de 64,46% ao avançar do período atual para 2080, indicando que as orientações com menores valores de GhDT serão aquelas com maiores aumentos percentuais ao avançar do período atual para os períodos futuros.

A orientação Leste apresentou valores mais elevados de GhDT em comparação à orientação Norte, ainda que tenha apresentado os menores índices de FDT, indicando dias com temperaturas mais elevadas por menos tempo ao longo do dia, permitindo uma fácil adaptação por parte do usuário no combate ao desconforto térmico.

Tabela 34: Somatório de GhDT e FDT do MR para a Primavera na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.





Fonte: A autora.

Isto posto, conclui-se, ao analisar todas as orientações, que a frequência de desconforto se mantém de forma mais linear, com pequenos aumentos progressivos durante todos os anos analisados, entretanto, no que se refere ao GhDT, percebeu-se que este apresentou um aumento considerável ao avançar do período atual para o futuro, chegando quase a quadruplicar, demonstrando que o edifício não atende o mínimo de desempenho exigido e tende a piorar com o passar do tempo e com as alterações no clima, que somente as atitudes dos usuários de adaptações não serão possíveis para amenizar o desconforto.

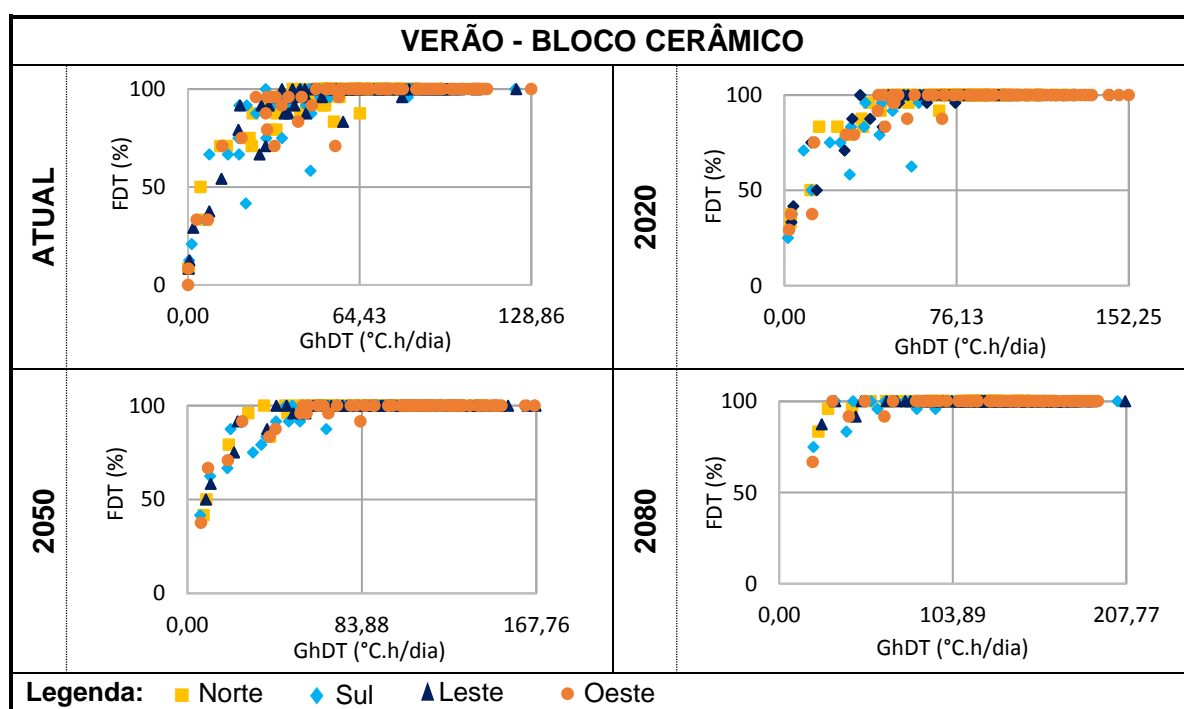
II. VERÃO

A fluutuabilidade para a estação do Verão (Tabela 35), destaca a orientação Oeste como a mais desfavorável ao conforto térmico, apresentando alta flutuação de GhDT

e FDT em grande parte dos dias, indicando temperaturas elevadas no ambiente interno e por tempo prolongado.

Notou-se também, que a partir do período de 2020, todas as orientações apresentarão dias com total desconforto térmico. Além disso, no período de 2080 todas as orientações apresentarão dias com mais de 50% das horas em desconforto térmico, com variação apenas na frequência e intensidade do desconforto. Uma particularidade encontrada para este mesmo período (2080), aponta as orientações Leste e Sul com o pior desempenho durante dois dias do Verão, com altos valores de GhDT e FDT, contrariando os resultados apresentados nos demais períodos, que indicavam a orientação Oeste como o pior caso, revelando que orientações consideradas mais favoráveis ao conforto também passarão a apresentar altos níveis de desconforto térmico no futuro, principalmente em estações mais quentes, salientando o impacto das mudanças no clima sobre o desempenho da edificação.

Tabela 35: Diagramas de fluatibilidade do MR para o Verão na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

Em análise ao somatório de GhDT (Tabela 36), percebeu-se que a orientação Oeste, se destacou dentre todos os períodos, como aquela com valores mais elevados, devido aos ganhos de calor pela incidência solar e pelo posicionamento desfavorável

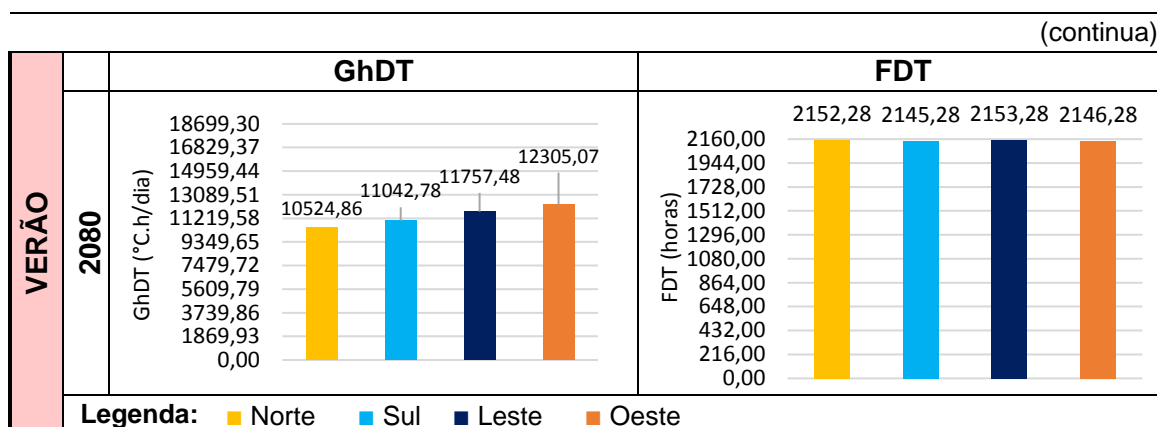
da abertura, contrária à ventilação predominante, enquanto a orientação Norte apresentou-se com os menores valores, em virtude do posicionamento a favor do vento, como já observado anteriormente no período da Primavera, devido a trajetória solar semelhante.

Ao analisar o somatório da FDT, notou-se que todas as orientações apresentaram aumento gradativo até o período de 2050 e sofreram uma pequena redução em 2080. Notou-se também que a orientação Oeste possui os maiores valores FDT para o período atual e em 2080, enquanto os maiores valores para os períodos de 2020 e 2050 foram verificados para a orientação Leste. Em contrapartida, os menores valores de FDT foram observados para a orientação Sul em todos os períodos analisados.

Tabela 36: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Verão na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.

(continua)

		GhDT	FDT
VERÃO	ATUAL	<p>GhDT (°C.h/dia)</p>	<p>FDT (horas)</p>
	2020	<p>GhDT (°C.h/dia)</p>	<p>FDT (horas)</p>
	2050	<p>GhDT (°C.h/dia)</p>	<p>FDT (horas)</p>



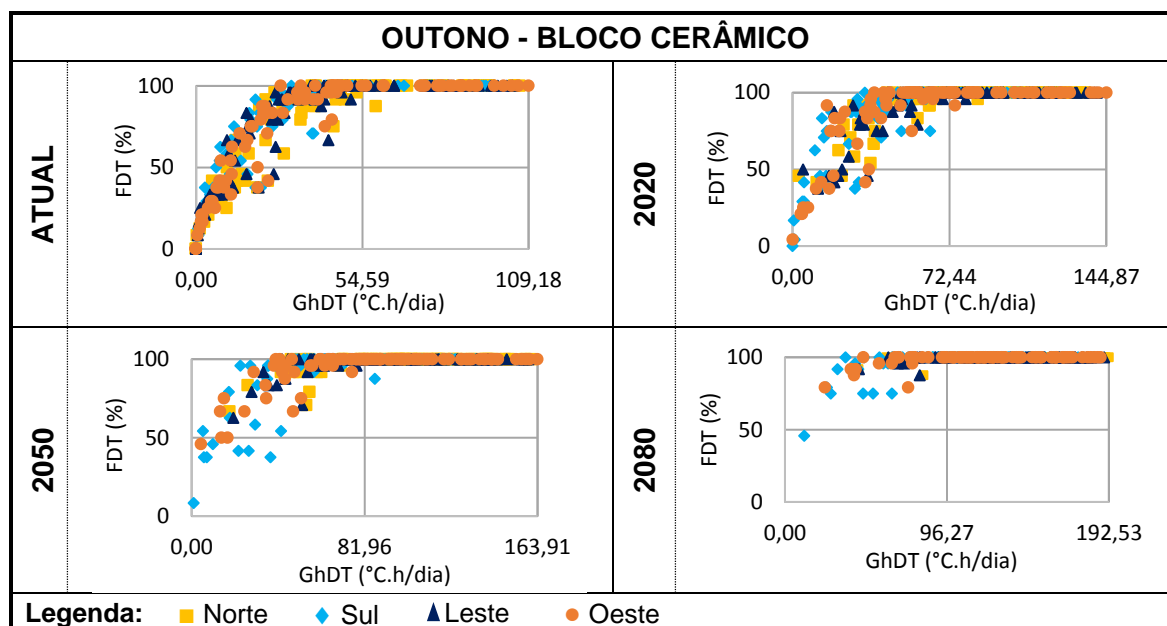
Fonte: A autora.

Levando em consideração que os índices de GhDT estão relacionados a questões projetuais e que o FDT está ligado a questões de adaptação pessoal, destaca-se a orientação Norte, como sendo a melhor orientação para o Verão devido ao menor valor de GhDT observado para todos os períodos de tempo, destacando que para a orientação Sul, a adaptação do usuário pode favorecer a sensação de conforto no ambiente interno.

III. OUTONO

Como mostrado na (Tabela 37), as flutuações diárias no período do Outono, indicaram, para o período de 2020, uma maior dispersão dos pontos concentrados nas zonas 1 e 2, quando comparados ao período atual, com tendência mais pronunciada para a elevação nos valores de GhDT e FDT, indicando aumento dos níveis de desconforto ao avançar para os períodos futuros. Notou-se ainda, que a partir do período de 2050, todos os dias da estação estarão em total desconforto, apresentando variações na frequência e na intensidade. No período de 2080 evidencia-se um aumento no GhDT e na FDT de todas as orientações em mais de 50% do período analisado, destacando que as melhores flutuações foram observadas para a orientação Sul, neste período.

Tabela 37: Diagramas de fluutuabilidade do MR para o Outono na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.

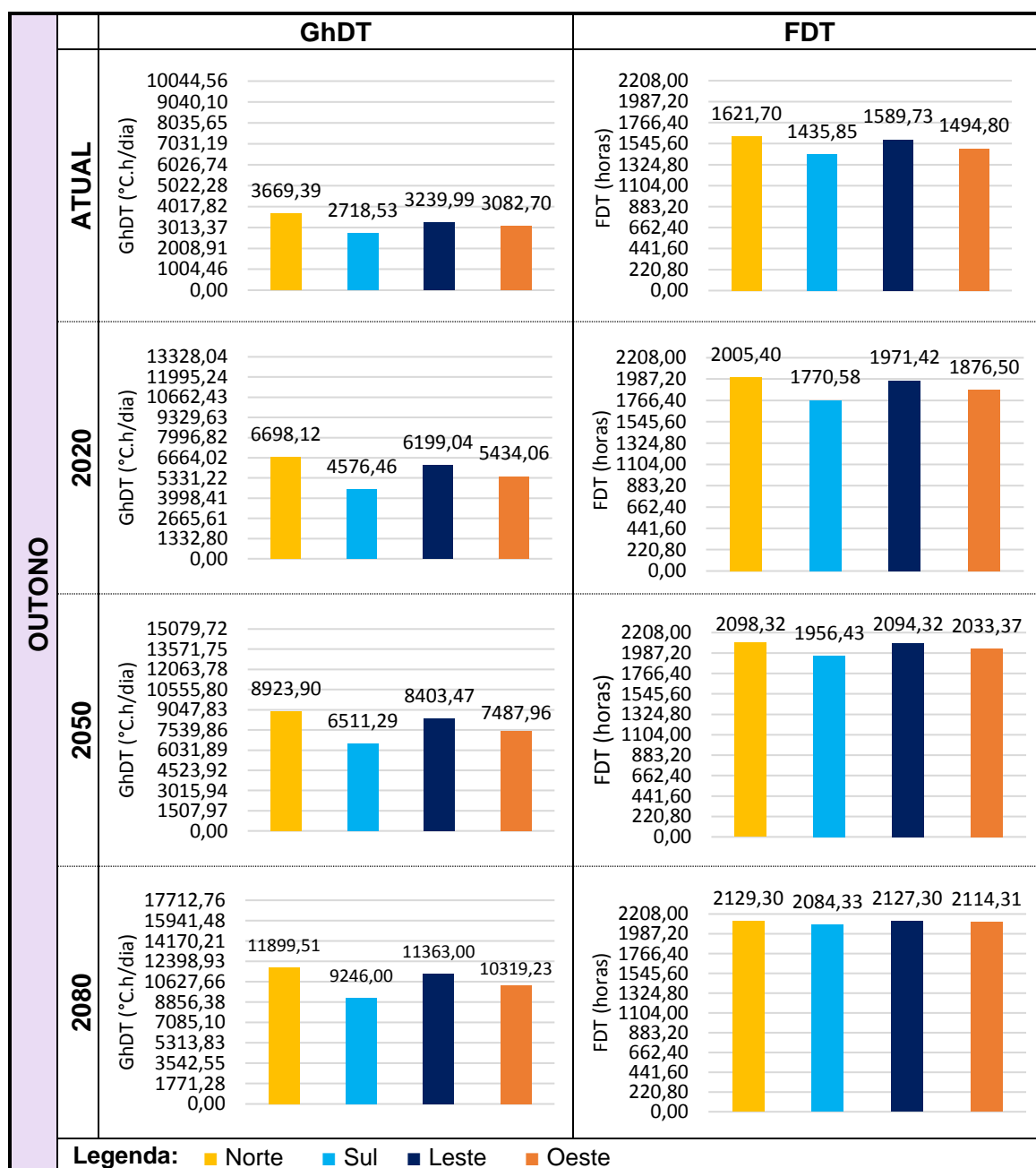


Fonte: A autora.

Verificando o somatório de GhDT e FDT (Tabela 38), constatou-se que, para o Outono, a orientação Norte apresentou os maiores índices de desconforto térmico para todos os períodos de tempo analisados, ocasionado possivelmente pela baixa velocidade e baixa frequência do vento, favorecendo a retenção de calor no interior do ambiente, aumentando a frequência e a intensidade do desconforto ao longo dos dias.

A orientação Sul se destacou por ter obtido os índices mais baixos de desconforto nesta estação, justificado pelo fato de não haver incidência solar direta sobre a fachada do edifício para esta orientação, contribuindo assim para dias com desconforto mais leve e menos frequente.

Tabela 38: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Outono na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.



Fonte: A autora.

IV. INVERNO

Dentre as estações anteriormente analisadas, o Inverno se diferencia por apresentar flutuações que seguiram um padrão de aumento tanto na frequência, quanto na intensidade do desconforto (Tabela 39). Observando o gráfico referente ao período atual, percebeu-se que a maior predominância de pontos para todas as orientações

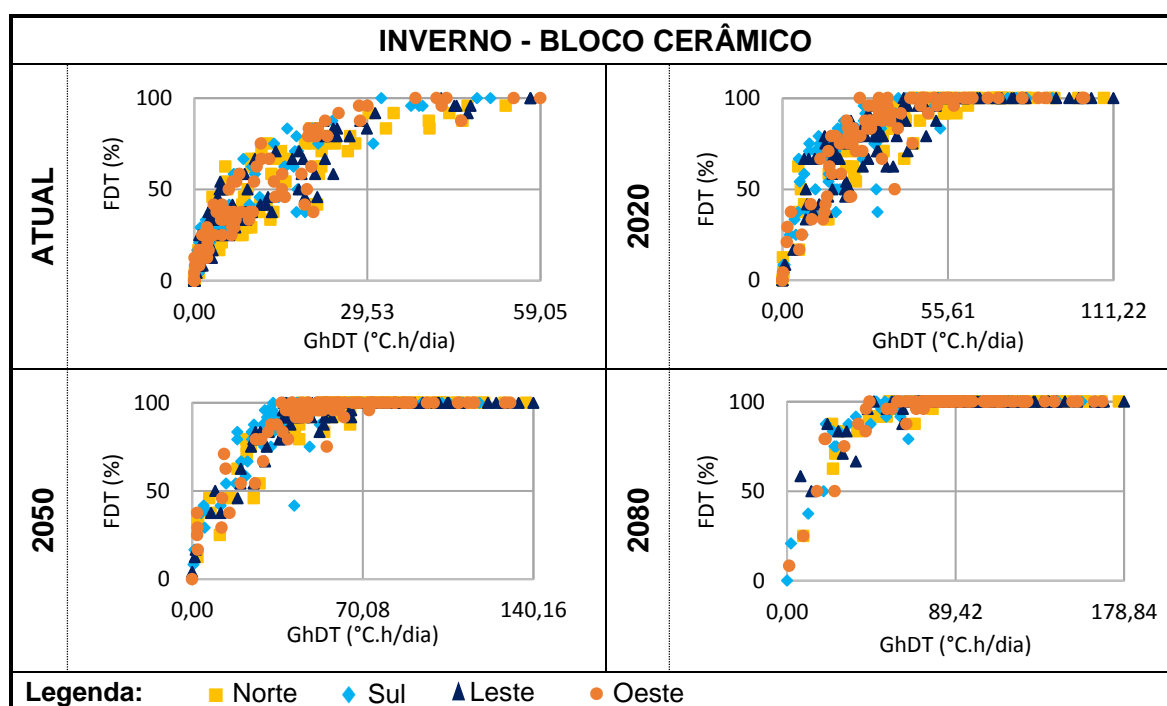
ocorreu na Zona 1, indicando baixa frequência de desconforto para o calor e com temperaturas mais reduzidas.

Ao avançar para o período de 2020, notou-se que as temperaturas diárias sofreram maior aumento tanto na frequência, quanto na intensidade, quando comparadas ao período atual, representando intervalos com maior tempo em desconforto.

Em 2050 verificou-se uma intensificação do ocorrido em 2020, no entanto a tendência de flutuação para a maioria dos dias analisados deu-se rumo ao limite de FDT, representando intervalos diários com maior tempo em desconforto em detrimento a temperaturas mais altas, propriamente.

O período de 2080 resultou na maior parte dos dias com FDT superior a 50% e altos valores de GhDT, no entanto ainda apresentou dias com baixa flutuabilidade, concentrando-se na Zona 1, como é o caso da orientação Sul e Oeste. Nesse sentido, o Inverno se destacou como a única estação com dia em total conforto térmico para o período de 2080 em Vitória, identificado para a orientação Sul.

Tabela 39: Diagramas de flutuabilidade do MR para o Inverno na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.

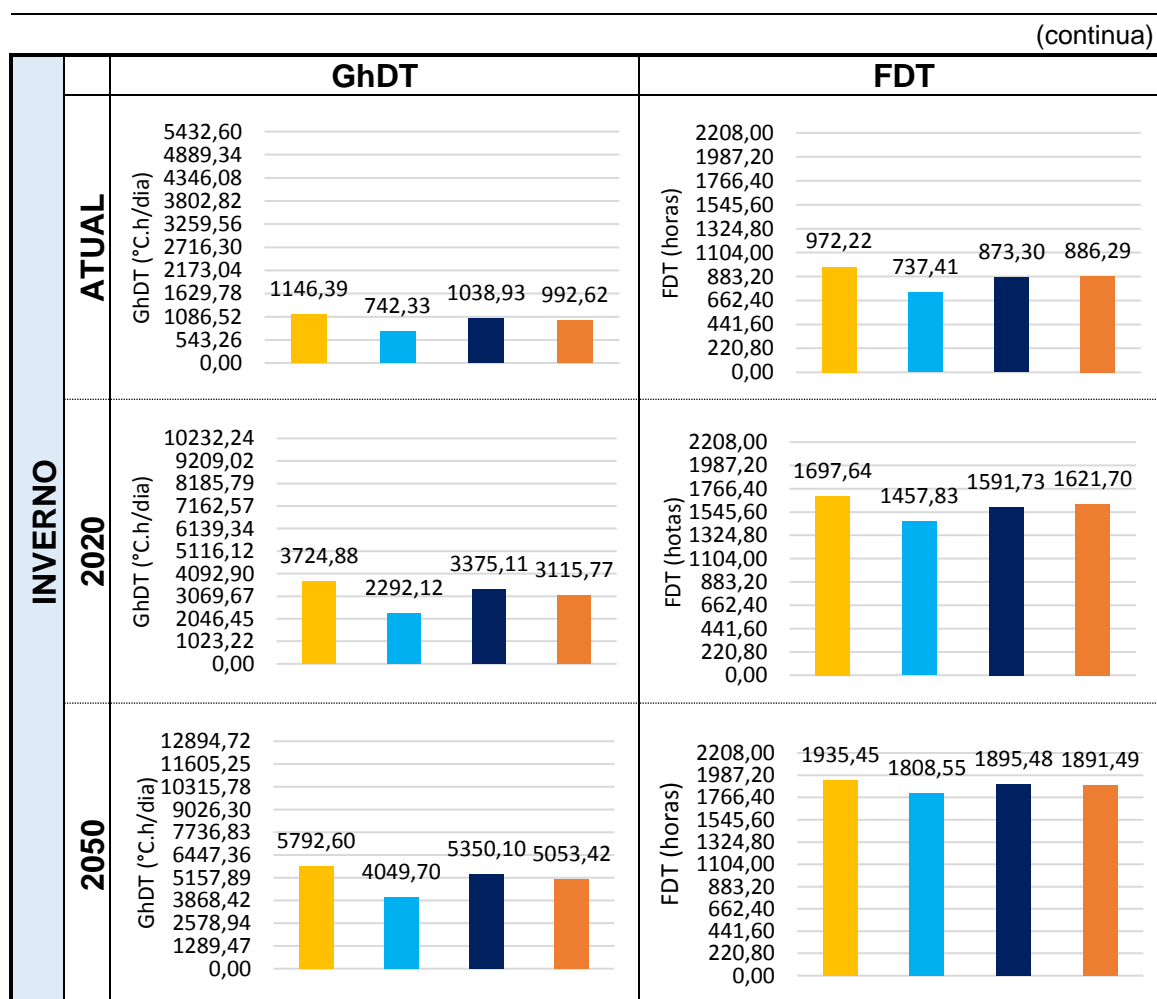


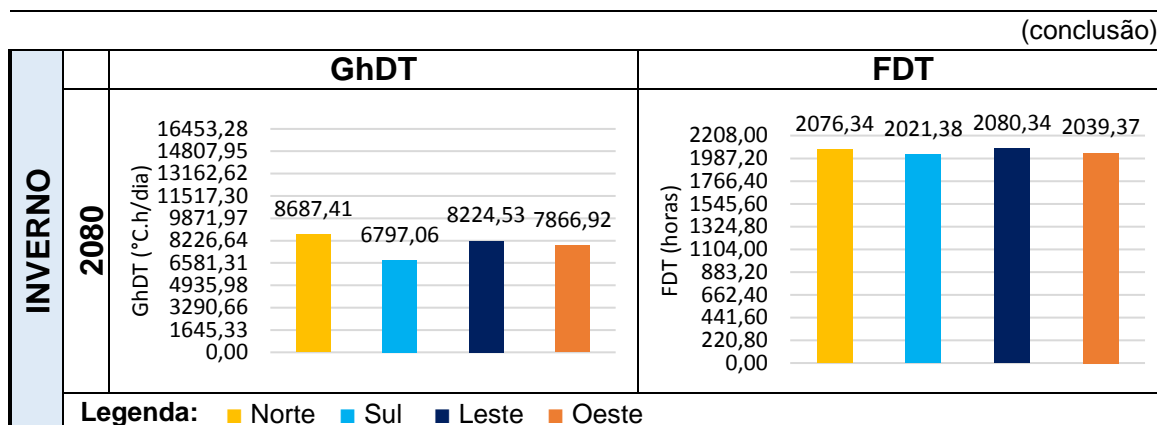
Fonte: A autora.

Percebeu-se, por meio das análises do somatório de GhDT e FDT (Tabela 40), que a orientação Norte apresentou os valores mais elevados de frequência e intensidade, devido à exposição da radiação solar direta durante todo o dia nesta orientação, captada pelas folhas de vidro da abertura, dificultando a dissipação de calor de dentro do ambiente pela baixa frequência de ventos no Inverno. Indicando que as orientações com maiores níveis de desconforto térmico no período atual serão aquelas que menos sofrerão aumento no futuro.

A orientação que apresentou índices mais baixos de desconforto foi a Sul, pois para essa estação, assim como ocorre no Outono, não há insolação na fachada voltada para esta orientação, favorecendo os índices mais baixos de desconforto térmico, tanto para o período atual, quanto para o período futuro.

Tabela 40: Somatório de GhDT e FDT do MR para o Inverno na cidade de Vitória para os quatro horizontes de tempo.





Fonte: A autora.

A partir destas análises, foi verificado para a cidade de Vitória, que todas as estações e orientações apresentaram resultados desfavoráveis ao conforto térmico interno para todos os horizontes de tempo analisados, com altos níveis de GhDT e FDT, sendo cada vez mais intensificados ao avançar do período atual para os períodos futuros.

Notou-se que para as estações consideradas mais quentes (Primavera e Verão), a orientação Oeste se destacou como a menos favorável ao conforto térmico, devido a questões relacionadas ao alto nível de radiação solar, contribuindo para o ganho interno de calor, e ao posicionamento desfavorável da janela em relação aos ventos predominantes, prejudicando a dissipação do calor para o meio externo.

Ao considerar as estações mais amenas (Outono e Inverno), a orientação Norte se destacou dentre as demais, como a que apresentou os índices mais elevados de desconforto, devido à alta insolação e a baixa ocorrência de ventos para essa orientação.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS ANÁLISES DO MR

Observou-se que a perspectiva apresentada para o clima atual e para as próximas décadas, em todas as cidades e estações, aponta para a intensificação da frequência e da intensidade do desconforto para o calor nas edificações. Dentre os principais resultados obtidos para a simulação do MR, sintetizam-se, em destaque:

- A utilização de bloco cerâmico como material de vedação das edificações apontou para uma piora no desempenho térmico do MR, em relação ao bloco de concreto, ainda que pequena;
- A partir de 2050, sobretudo, a maioria dos resultados indicou uma tendência ao aumento do desconforto térmico frequente, seja ele leve ou intenso;
- A orientação Oeste apresentou o pior desempenho térmico dentre todas as orientações, tanto para o clima atual quanto para os climas futuros, exceto para a cidade de Porto Alegre;
- Por contar com temperaturas mais baixas, o Inverno se apresentou como a estação menos afetada pela intensificação do desconforto para o calor até 2080, ainda que seja afetado por ela; e
- Fatores como o posicionamento e o dimensionamento de vãos, e a exposição direta das paredes à irradiação solar, contribuíram para o pior desempenho térmico das edificações.

O Quadro 5 permitiu identificar as melhores e as piores condições de desconforto a partir dos valores máximos de GhDT para cada cidade, estação, orientação e período.

Quadro 5: Síntese dos resultados das simulações com o melhor e o pior desempenho.

(continua)

MANAUS					
ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PERÍODOS DE TEMPO			
		ATUAL	2020	2050	2080
PRIMAVERA	Norte	167,19°C.h/dia	258,23°C.h/dia	329,74°C.h/dia	400,51°C.h/dia
	Sul	166,36°C.h/dia	260,77°C.h/dia	333,48°C.h/dia	405,02°C.h/dia
	Leste	163,14°C.h/dia	266,00°C.h/dia	341,23°C.h/dia	413,90°C.h/dia
	Oeste	176,53°C.h/dia	276,06°C.h/dia	348,84°C.h/dia	421,20°C.h/dia
VERÃO	Norte	124,47°C.h/dia	192,86°C.h/dia	264,29°C.h/dia	350,72°C.h/dia
	Sul	140,08°C.h/dia	216,78°C.h/dia	290,26°C.h/dia	378,73°C.h/dia
	Leste	135,54°C.h/dia	215,26°C.h/dia	289,30°C.h/dia	378,43°C.h/dia
	Oeste	136,87°C.h/dia	210,75°C.h/dia	284,05°C.h/dia	372,69°C.h/dia
OUTONO	Norte	118,24°C.h/dia	172,38°C.h/dia	233,95°C.h/dia	340,36°C.h/dia
	Sul	104,65°C.h/dia	152,01°C.h/dia	211,89°C.h/dia	316,16°C.h/dia
	Leste	105,74°C.h/dia	160,43°C.h/dia	221,40°C.h/dia	328,10°C.h/dia
	Oeste	111,03°C.h/dia	162,05°C.h/dia	222,98°C.h/dia	328,71°C.h/dia
INVERNO	Norte	138,07°C.h/dia	221,80°C.h/dia	291,92°C.h/dia	387,67°C.h/dia
	Sul	129,88°C.h/dia	211,89°C.h/dia	279,80°C.h/dia	371,19°C.h/dia
	Leste	127,09°C.h/dia	217,61°C.h/dia	286,92°C.h/dia	380,51°C.h/dia
	Oeste	141,27°C.h/dia	231,32°C.h/dia	299,62°C.h/dia	389,45°C.h/dia

(continua)

BRASÍLIA					
ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PERÍODOS DE TEMPO			
		ATUAL	2020	2050	2080
PRIMAVERA	Norte	84,25°C.h/dia	113,47°C.h/dia	150,55°C.h/dia	219,26°C.h/dia
	Sul	87,11°C.h/dia	119,04°C.h/dia	156,23°C.h/dia	225,00°C.h/dia
	Leste	98,72°C.h/dia	139,07°C.h/dia	178,78°C.h/dia	244,48°C.h/dia
	Oeste	114,38°C.h/dia	148,22°C.h/dia	186,84°C.h/dia	259,37°C.h/dia
VERÃO	Norte	51,79°C.h/dia	81,07°C.h/dia	106,82°C.h/dia	143,44°C.h/dia
	Sul	43,96°C.h/dia	72,43°C.h/dia	97,25°C.h/dia	136,76°C.h/dia
	Leste	57,34°C.h/dia	92,13°C.h/dia	118,02°C.h/dia	155,24°C.h/dia
	Oeste	66,49°C.h/dia	97,86°C.h/dia	123,69°C.h/dia	160,88°C.h/dia
OUTONO	Norte	75,30°C.h/dia	118,70°C.h/dia	160,17°C.h/dia	214,55°C.h/dia
	Sul	41,49°C.h/dia	76,64°C.h/dia	117,31°C.h/dia	170,75°C.h/dia
	Leste	64,10°C.h/dia	109,86°C.h/dia	151,34°C.h/dia	205,61°C.h/dia
	Oeste	59,82°C.h/dia	100,39°C.h/dia	141,26°C.h/dia	194,71°C.h/dia
INVERNO	Norte	95,39°C.h/dia	134,66°C.h/dia	175,81°C.h/dia	225,24°C.h/dia
	Sul	80,19°C.h/dia	116,08°C.h/dia	156,59°C.h/dia	204,78°C.h/dia
	Leste	93,82°C.h/dia	136,55°C.h/dia	177,65°C.h/dia	227,08°C.h/dia
	Oeste	104,78°C.h/dia	151,10°C.h/dia	192,02°C.h/dia	241,74°C.h/dia
PORTO ALEGRE					
ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PERÍODOS DE TEMPO			
		ATUAL	2020	2050	2080
PRIMAVERA	Norte	138,85°C.h/dia	159,81°C.h/dia	191,05°C.h/dia	219,55°C.h/dia
	Sul	135,44°C.h/dia	157,77°C.h/dia	189,15°C.h/dia	217,45°C.h/dia
	Leste	135,87°C.h/dia	161,38°C.h/dia	193,74°C.h/dia	221,77°C.h/dia
	Oeste	142,44°C.h/dia	167,95°C.h/dia	200,12°C.h/dia	228,29°C.h/dia
VERÃO	Norte	157,60°C.h/dia	175,74°C.h/dia	209,52°C.h/dia	238,13°C.h/dia
	Sul	160,84°C.h/dia	181,43°C.h/dia	215,22°C.h/dia	243,92°C.h/dia
	Leste	164,63°C.h/dia	190,59°C.h/dia	225,12°C.h/dia	254,58°C.h/dia
	Oeste	164,08°C.h/dia	186,49°C.h/dia	221,30°C.h/dia	250,13°C.h/dia
OUTONO	Norte	73,36°C.h/dia	115,42°C.h/dia	134,77°C.h/dia	156,19°C.h/dia
	Sul	58,34°C.h/dia	92,06°C.h/dia	111,38°C.h/dia	134,14°C.h/dia
	Leste	62,19°C.h/dia	105,61°C.h/dia	125,04°C.h/dia	146,04°C.h/dia
	Oeste	60,06°C.h/dia	96,84°C.h/dia	116,18°C.h/dia	138,51°C.h/dia
INVERNO	Norte	86,31°C.h/dia	143,59°C.h/dia	170,25°C.h/dia	204,08°C.h/dia
	Sul	74,25°C.h/dia	111,78°C.h/dia	137,84°C.h/dia	170,83°C.h/dia
	Leste	80,01°C.h/dia	127,24°C.h/dia	153,60°C.h/dia	187,08°C.h/dia
	Oeste	74,64°C.h/dia	111,17°C.h/dia	137,52°C.h/dia	170,33°C.h/dia
VITÓRIA					
ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PERÍODOS DE TEMPO			
		ATUAL	2020	2050	2080
PRIMAVERA	Norte	93,33°C.h/dia	113,10°C.h/dia	129,28°C.h/dia	170,75°C.h/dia
	Sul	96,82°C.h/dia	124,44°C.h/dia	145,38°C.h/dia	188,22°C.h/dia
	Leste	106,20°C.h/dia	138,44°C.h/dia	157,82°C.h/dia	201,63°C.h/dia
	Oeste	112,64°C.h/dia	145,16°C.h/dia	163,72°C.h/dia	207,86°C.h/dia

(conclusão)

ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PERÍODOS DE TEMPO			
		ATUAL	2020	2050	2080
VERÃO	Norte	108,14°C.h/dia	125,35°C.h/dia	141,48°C.h/dia	179,91°C.h/dia
	Sul	122,86°C.h/dia	148,30°C.h/dia	163,93°C.h/dia	202,54°C.h/dia
	Leste	123,16°C.h/dia	152,07°C.h/dia	167,47°C.h/dia	207,18°C.h/dia
	Oeste	128,86°C.h/dia	152,25°C.h/dia	167,76°C.h/dia	207,77°C.h/dia
OUTONO	Norte	106,24°C.h/dia	135,15°C.h/dia	160,96°C.h/dia	192,53°C.h/dia
	Sul	96,51°C.h/dia	122,50°C.h/dia	143,50°C.h/dia	174,36°C.h/dia
	Leste	103,96°C.h/dia	140,43°C.h/dia	159,90°C.h/dia	189,72°C.h/dia
	Oeste	109,18°C.h/dia	144,87°C.h/dia	163,91°C.h/dia	187,67°C.h/dia
INVERNO	Norte	53,17°C.h/dia	108,08°C.h/dia	137,25°C.h/dia	176,07°C.h/dia
	Sul	50,53°C.h/dia	90,66°C.h/dia	117,87°C.h/dia	156,15°C.h/dia
	Leste	57,37°C.h/dia	111,22°C.h/dia	140,16°C.h/dia	178,84°C.h/dia
	Oeste	59,05°C.h/dia	101,42°C.h/dia	130,71°C.h/dia	167,17°C.h/dia

Fonte: A autora.

Tendo em vista os aspectos observados, verificou-se que, para todas as cidades, a exposição prolongada, com a ausência de elementos sombreadores de paredes e janelas, principalmente às orientações Oeste e Norte, promoveu a piora no desempenho térmico das edificações, sobretudo em situações onde não há sistemas de ventilação eficazes para promover o resfriamento no interior da habitação.

4.2.2 Comparativo entre o modelo de referência e o modelo proposto

Por permitirem avaliar o desempenho térmico de uma edificação, os elevados valores de GhDT são fatores significativamente impactantes na determinação do conforto térmico do usuário. Embora o índice FDT possa ser diminuído com ações comportamentais e adaptativas, as análises anteriores apontaram ainda, a necessidade de intervenções arquitetônicas na edificação analisada.

Dessa forma, para análise do comparativo entre os modelos (MR e MP), foram considerados apenas os valores referentes ao GhDT para o período atual e para o período de 2080, objetivando verificar a eficácia das medidas adaptativas implementadas, quanto à redução da carga térmica e sua contribuição para o conforto no interior das edificações, considerando a pior situação que ocorre já no período atual e a que poderá ocorrer nos períodos futuros.

Os maiores valores utilizados como referência para a elaboração dos gráficos comparativos entre os modelos e os períodos de tempo, observados nas condições mais críticas de desempenho encontram-se demonstrados na Tabela 41, para o MR. Para todas as cidades, foram apresentadas as piores condições combinadas – de estações do ano e orientações – para o desempenho térmico da habitação.

Tabela 41: Maiores valores de GhDT para os modelos avaliados.

CIDADES	ATUAL	2080
Manaus	OESTE	OESTE
	Primavera - 30/set. GhDT=176,53°C.h/dia	Primavera - 30/set. GhDT=421,20°C.h/dia
Brasília	OESTE	OESTE
	Primavera - 17/nov. GhDT=114,38°C.h/dia	Primavera - 17/nov. GhDT=259,37°C.h/dia
Porto Alegre	LESTE	LESTE
	Verão - 12/jan. GhDT=164,63°C.h/dia	Verão - 12/jan. GhDT=254,58°C.h/dia
Vitória	OESTE	OESTE
	Verão - 27/dez. GhDT=128,86°C.h/dia	Primavera - 29/nov. GhDT=207,86°C.h/dia

Fonte: A autora.

A seguir são apresentados os comparativos entre os modelos e os períodos de tempo para cada uma das cidades analisadas.

MANAUS

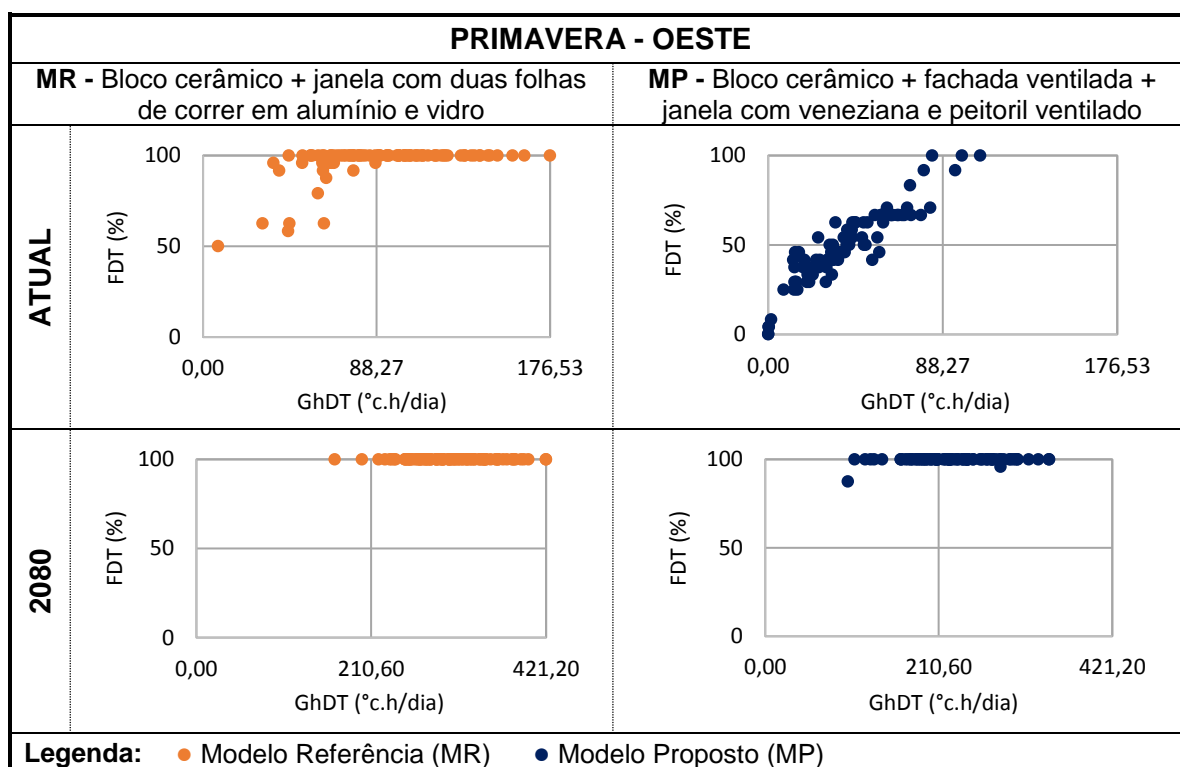
Analisando o comparativo de desempenho térmico entre o MR e o MP para a cidade de Manaus, verificou-se que a pior estação foi a Primavera para a orientação Oeste, apresentando os índices mais elevados de desconforto térmico. Os maiores valores de GhDT foram tomados como referência para a realização do comparativo de melhoria no desempenho entre os modelos estabelecidos.

Os gráficos de fluatibilidade, apresentados na Tabela 42, apontaram melhorias significativas para o MP, quando comparado ao MR, tanto para o período atual quanto para o período de 2080. No período atual, verificou-se que os resultados do MP resultaram em pontos concentrados nas zonas 1 e 2, em sua maioria, caracterizando o desconforto térmico como leve e temporário e leve e frequente respectivamente, entretanto foram observados ainda três dias presentes na zona 4, indicando

desconforto frequente e intenso para um menor percentual de dias. Analisando o período de 2080, considerado como a pior situação dentre os horizontes de tempo estudados, verificou-se para o MP, uma redução nos valores de GhDT, concentrados nas zonas 2 e 4, caracterizando o desconforto como frequente e leve e frequente intenso para os dois modelos analisados.

No entanto, os valores de FDT se mantiveram com flutuação elevada, indicando alta frequência de desconforto para a maior parte dos dias, quando comparado ao MR. Mesmo com as alterações propostas na edificação, nenhum dia no período de 2080, para a orientação Oeste na Primavera obtiveram situação de conforto térmico.

Tabela 42: Comparativo entre os diagramas de fluvariabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Manaus.



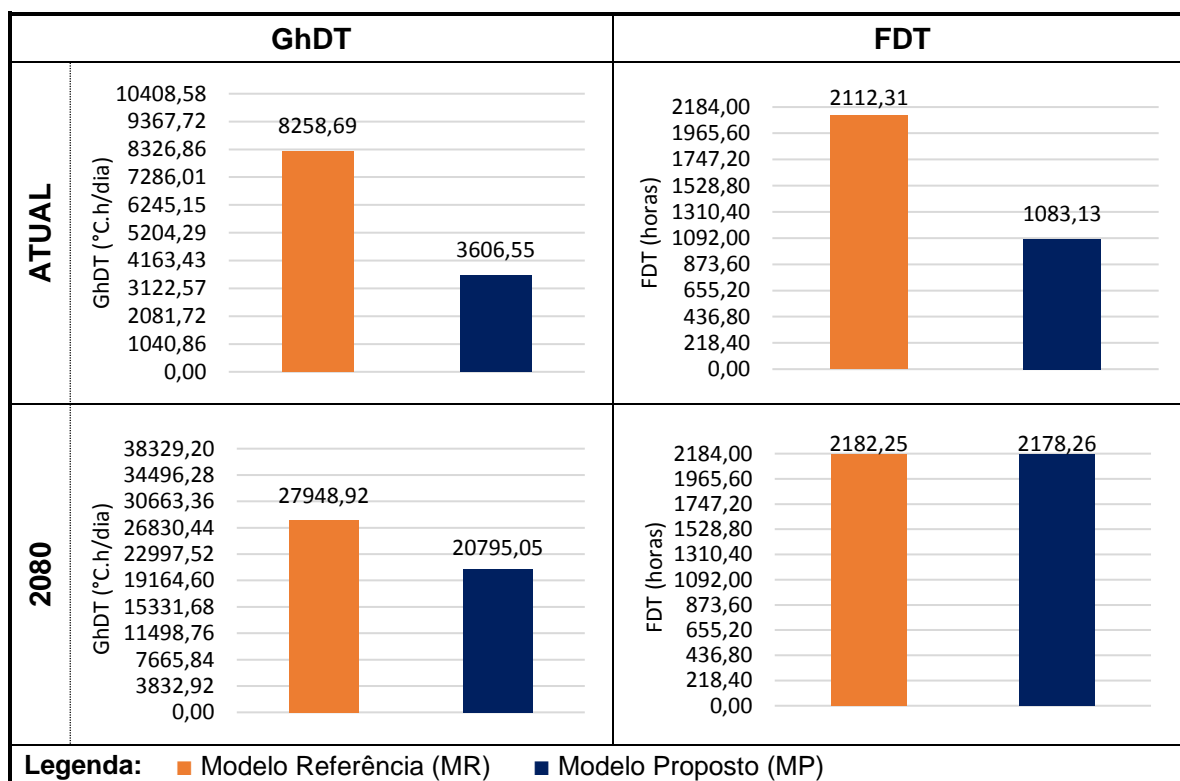
Fonte: A autora.

As observações anteriores puderam ser confirmadas com a análise dos somatórios dos índices de FDT e GhDT (Tabela 43), onde foi possível verificar uma redução para os dois índices, tanto no período atual quanto em 2080, considerando o MP:

- Para o período **atual**, o GhDT sofreu redução de 56,33% e o FDT de 48,72%, equivalente a 1029,18 horas;

- Para o período de **2080**, o GhDT sofreu redução de 25,59%, no entanto o FDT apresentou uma diferença muito sutil, de apenas 4 horas de redução no desconforto, indicando um desconforto constante, porém com menor intensidade.

Tabela 43: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Manaus.



Fonte: A autora.

Por meio dessas análises, observou-se que no período atual, a inserção de elementos que bloquearam a radiação solar direta nas fachadas, maior dimensão das aberturas, somadas à elementos sombreadores e que permitiram a ventilação permanente, foram estratégias que se mostraram eficientes para o melhor desempenho térmico da edificação.

Contudo, para o período futuro, verificou-se que mesmo com a alterações propostas, os índices de desconforto se mantiveram muito elevados, devido às condições meteorológicas extremas, evidenciando que as estratégias passivas não serão capazes de proporcionar conforto térmico interno adequado, sendo necessário a adoção de outras intervenções para alcançar a melhoria do desempenho térmico da edificação, principalmente por meio da utilização de condicionamento artificial.

Devido aos altos índices de GhDT apresentados, que não serão possíveis de controlar somente com alterações passivas na edificação e com atitudes comportamentais dos usuários. No entanto, o uso de estratégias bioclimáticas aplicadas ao projeto contribuirão para a redução na demanda energética para resfriamento do ambiente interno.

BRASÍLIA

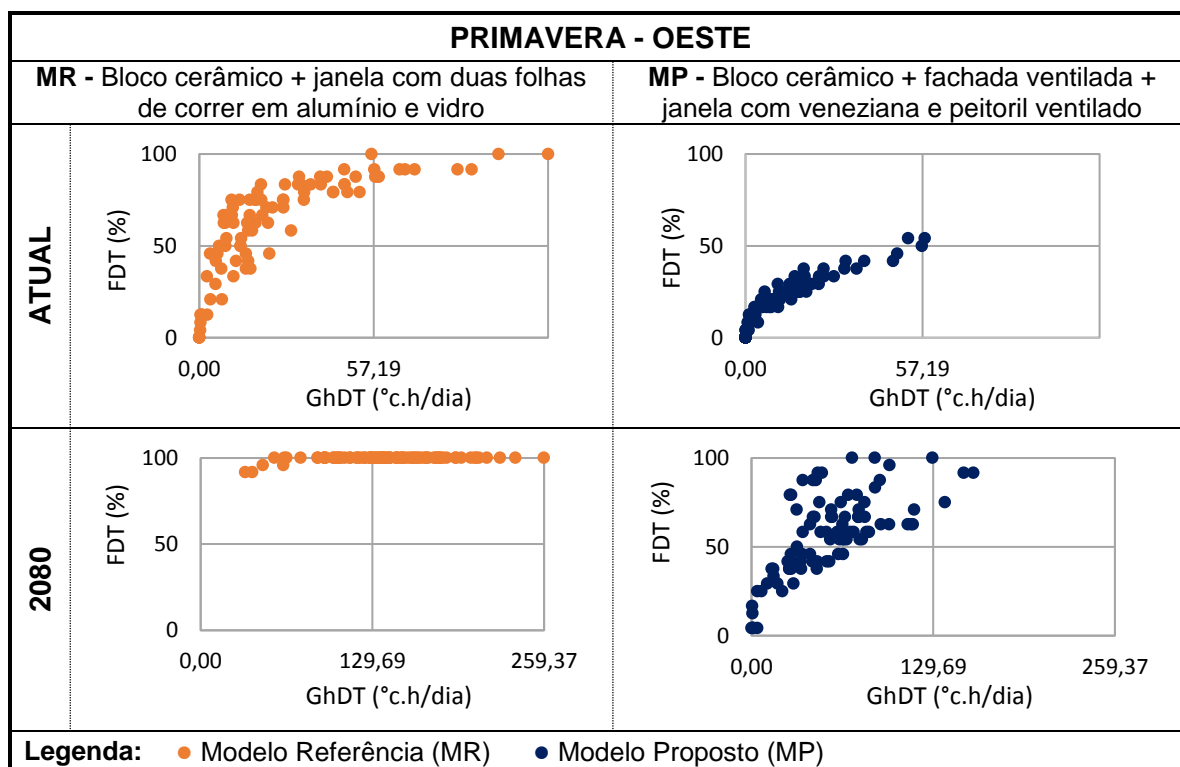
O comparativo de desempenho térmico entre o MR e o MP para a cidade de Brasília, identificou a estação da Primavera para a orientação Oeste, com os maiores índices de desconforto térmico, sendo estes, utilizados como referência para a realização do comparativo de melhoria entre os modelos definidos.

Os gráficos de fluabilidade (Tabela 44), apontaram consideráveis melhorias no conforto térmico em comparação ao MR, tanto para o período atual quanto para o período de 2080.

Em análise ao período atual, verificou-se que os resultados do MP apresentaram flutuações mais baixas quando comparado ao MR, resultando em maior concentração de pontos presentes na zona 1, caracterizando o desconforto térmico como leve e temporário. Foram observados ainda três dias presentes na zona 2, indicando desconforto frequente e leve para um menor percentual de dias.

Para o período de 2080, verificou-se que o MP, apesar de não possui dias em situação de total conforto térmico, apresentou, contudo, melhorias consideráveis em relação ao MR. O MR apontou grande parte dos dias com frequência de 100% de desconforto, e altos índices de GhDT, enquanto o MP, apresentou flutuações mais baixas, concentradas nas zonas 1 e 2, caracterizando o desconforto térmico respectivamente, como temporário e leve e frequente e leve. Observou-se ainda que, para o MP apenas três dias estiveram presentes na zona 3, com desconforto frequente e intenso durante uma pequena fração de tempo.

Tabela 44: Comparativo entre os diagramas de fluabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Brasília.

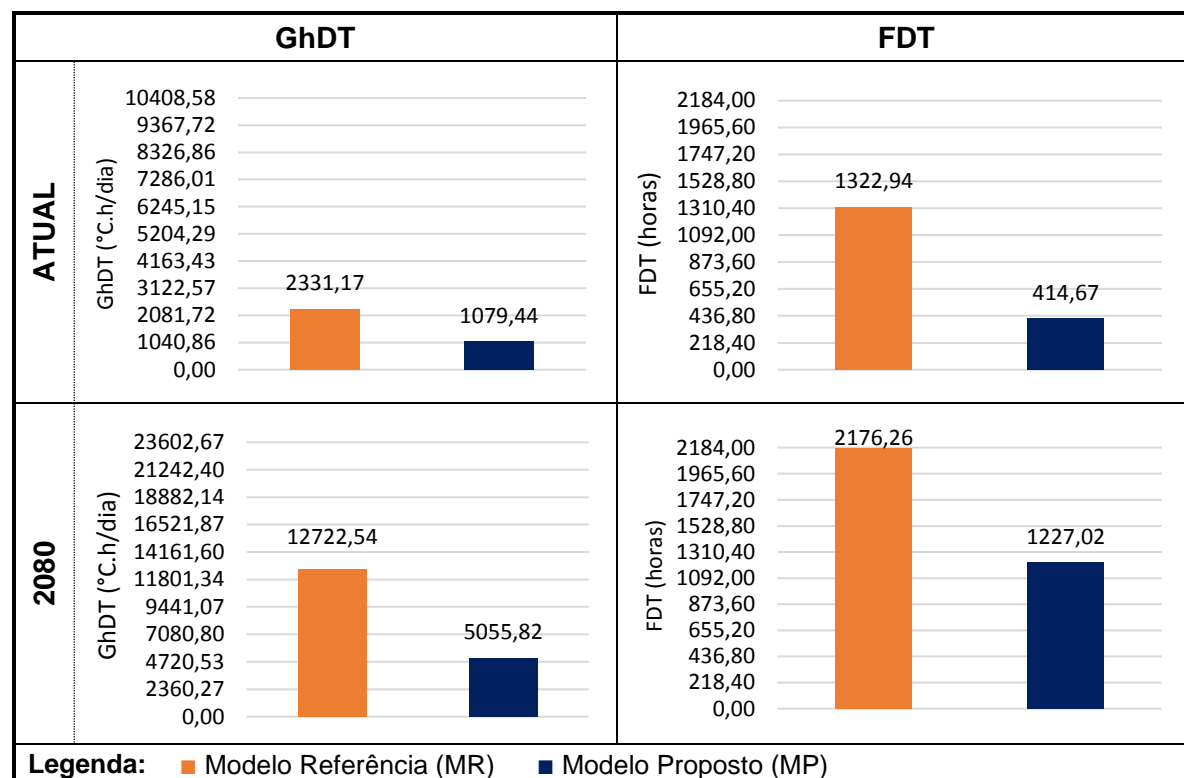


Fonte: A autora.

Avaliando o somatório dos índices de GhDT e FDT (Tabela 45), notou-se, para o MP, uma considerável redução para os dois índices, tanto no período atual quanto em 2080:

- Para o período **atual**, o GhDT apresentou redução de 53,69% e 68,65% para FDT, equivalente a 908,27 horas em comparação ao MR; e
- Para o período de **2080**, o GhDT apresentou redução de 60,26% e 43,61% para FDT, equivalente a 949,24 horas.

Tabela 45: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Brasília.



Fonte: A autora.

Verificou-se, portanto, que esse fator de redução se deu em virtude do acréscimo de dispositivos sombreadores nas fachadas e elementos de proteção solar e de ventilação permanente, fazendo com que a ventilação apesar de não ser a predominante, conseguisse contribuir para a melhoria do conforto térmico no interior da edificação. Além disso, observou-se que as reduções nas porcentagens de desconforto térmico foram maiores para o período de 2080, ressaltando que o uso de estratégias passivas na edificação mostrou-se eficaz para a redução dos efeitos das mudanças climáticas.

PORTO ALEGRE

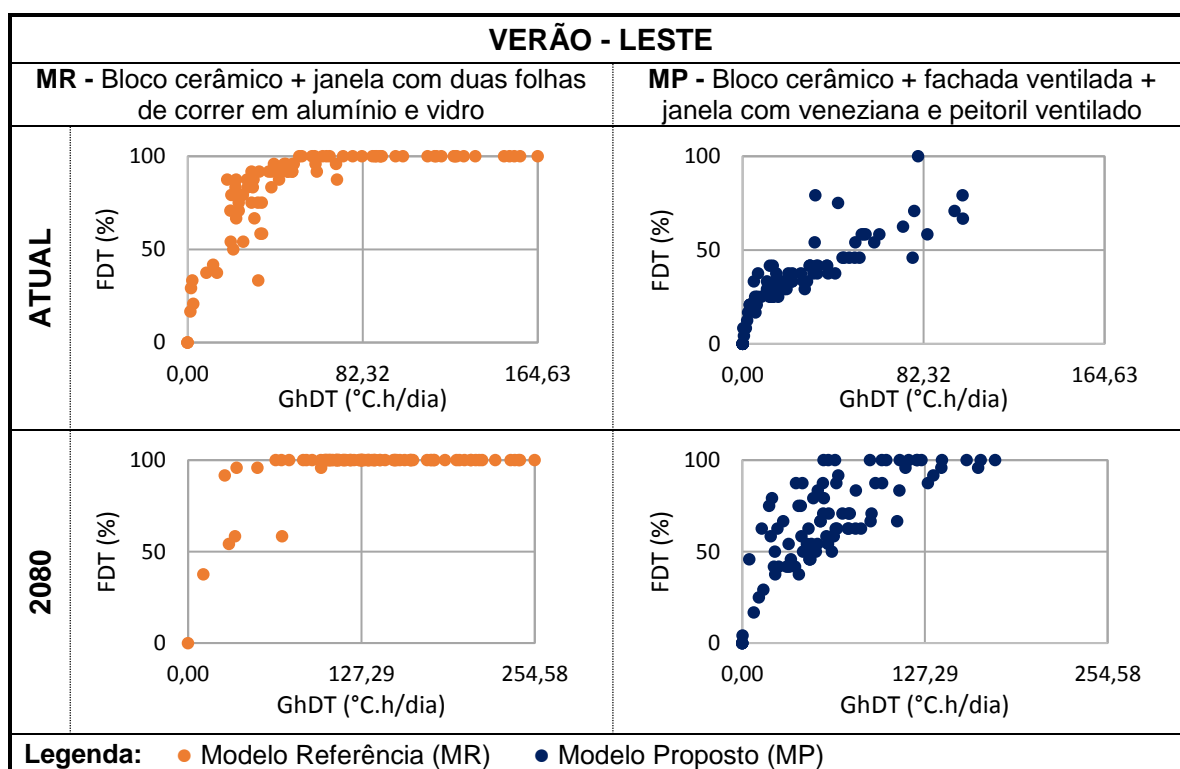
Analisando o comparativo de melhoria no desempenho térmico entre o MR e o MP para a cidade de Porto Alegre, percebeu-se que a estação com índices mais elevados de desconforto térmico deu-se para o Verão na orientação Leste. Os maiores valores de GhDT foram tomados como referência para a realização do comparativo de melhoria no desempenho entre os modelos estabelecidos.

Os gráficos de fluvariabilidade, observados na Tabela 46, apontaram melhorias significativas quanto à frequência e a intensidade do desconforto térmico, tanto para o período atual quanto para o período de 2080.

No período atual, verificou-se que os resultados do MP contiveram flutuações mais baixas quando comparado ao MR. Além disso, apresentaram um aumento na quantidade de dias em total condição de conforto, demonstrando maior concentração de pontos presentes nas zonas 1 e 2, caracterizando o desconforto térmico respectivamente como leve e temporário e leve e frequente.

Em 2080, foi observado para o MR uma FDT com grande período apresentando 100% das horas em desconforto. Além disso, apresentou altas flutuações, com maior concentração de dias presentes nas zonas 2 e 4, caracterizando o desconforto como leve e frequente e intenso e frequente. Já o MP, resultou em flutuações mais baixas, concentradas nas zonas 1 e 2, caracterizando o desconforto térmico respectivamente, como temporário e leve e frequente e leve, sendo observado também o aumento da quantidade de dias com total condição de conforto térmico.

Tabela 46: Comparativo entre os diagramas de fluvariabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Porto Alegre.



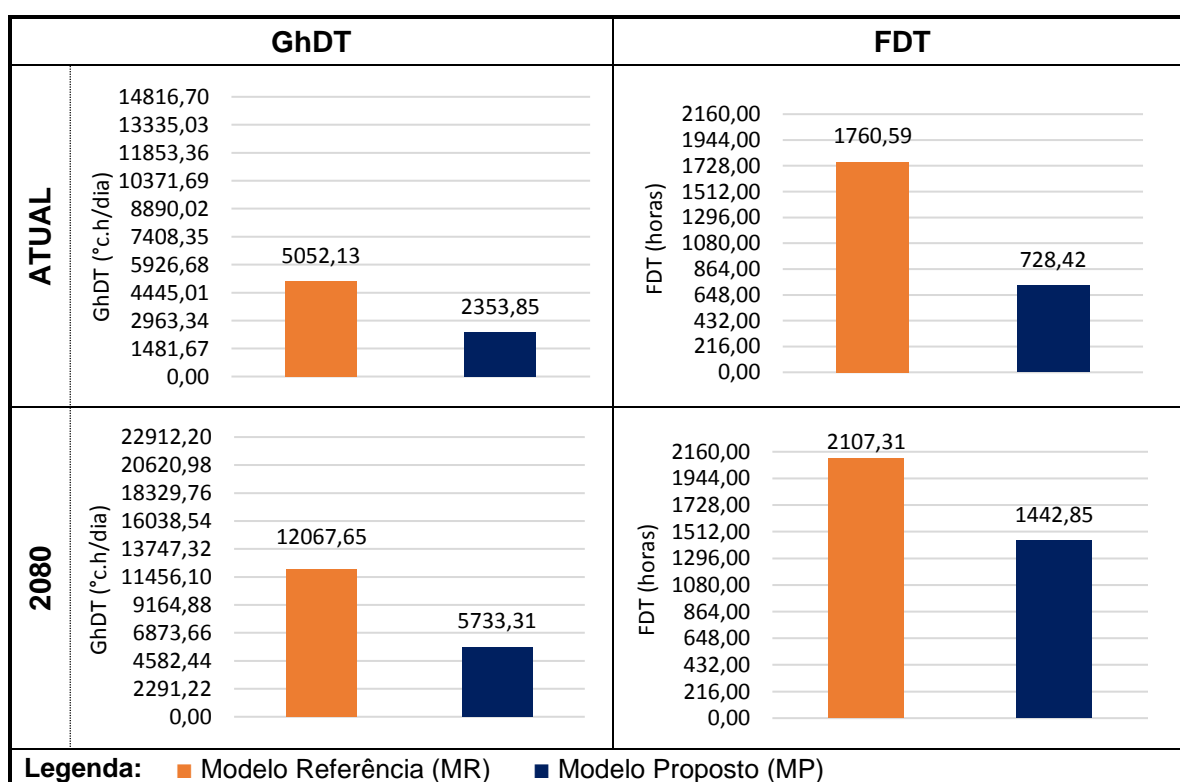
Fonte: A autora.

Analisando o somatório de FDT e GhDT (Tabela 47), foi possível constatar que houve uma redução significativa para esses dois índices, tanto no período atual quanto no período de 2080.

- Para o período **atual** o índice de GhDT sofreu uma redução de 53,40% e o de FDT nesse mesmo período, diminuiu em 58,62% (1032,17 horas), no desconforto térmico;
- Para o período de **2080**, houve 52,49% de redução para GhDT e 31,53% (664,46 horas) para FDT.

Dessa forma, entende-se que as alterações propostas para o sombreamento das fachadas, dimensionamento adequado das aberturas, vinculado a elementos sombreadores e permeáveis à ventilação, para a edificação na cidade de Porto Alegre, demonstraram ser de fundamental importância no alcance de condições mais favoráveis ao conforto térmico do ambiente interno.

Tabela 47: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Porto Alegre.



Fonte: A autora.

Pela observação dos aspectos analisados, verificou-se que a aplicação das estratégias passivas com a adoção do *retrofit* ao MR – que originaram o MP –

apontaram, em todas as cidades, uma melhoria significativa no desempenho térmico da habitação. Estes resultados demonstram que a inserção de elementos sombreadores e a adequação dimensional e de ventilação permanente nas aberturas das fachadas, promoveram a potencialização do desempenho da edificação e, conseqüentemente, corroboram ao conforto térmico, tornando-se instrumentos válidos para a melhoria da habitabilidade e da qualidade de vida nas habitações, configurando-se como estratégias fundamentais na adaptação das edificações aos efeitos das mudanças climáticas.

VITÓRIA

Para a cidade de Vitória, ao analisar o comparativo entre o MR e o MP, verificou-se que a pior estação foi o Verão para a orientação Oeste, apresentando os índices mais elevados de desconforto térmico. Para a realização do comparativo de melhoria no desempenho entre os modelos estabelecidos, foram tomados como referência os maiores valores de GhDT.

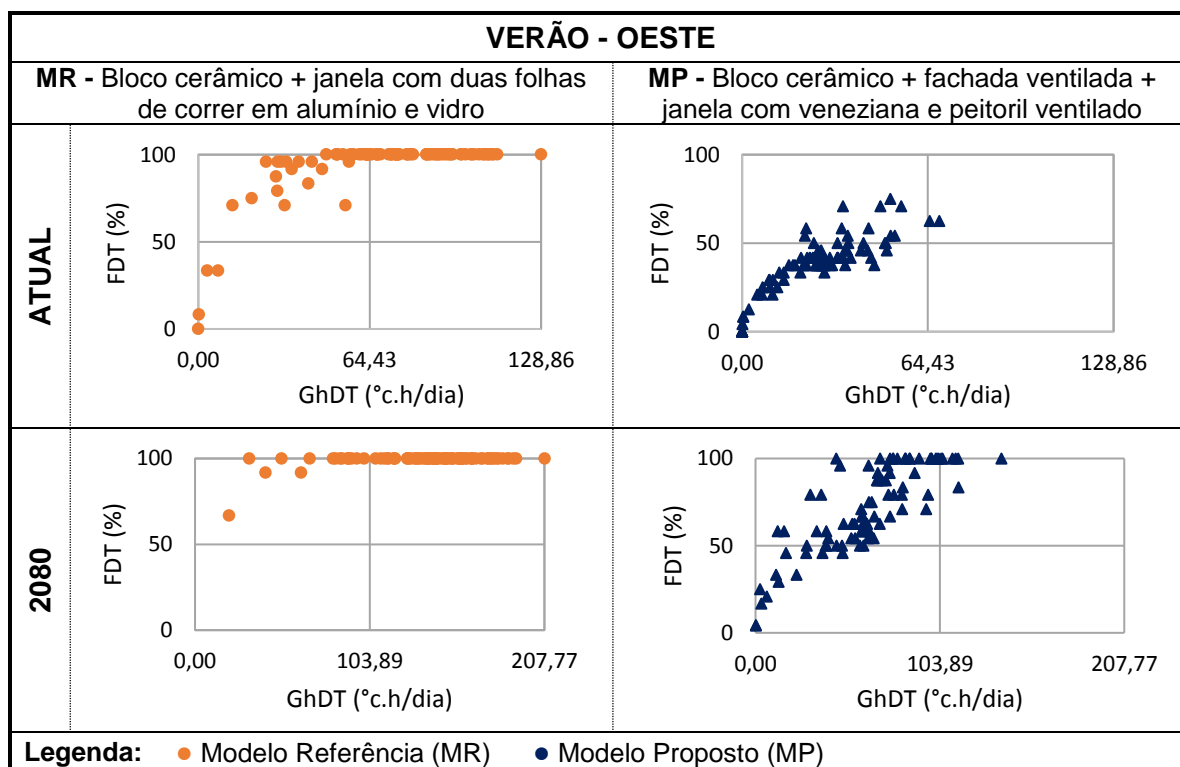
Por meio dos gráficos de fluutuabilidade (Tabela 48), percebeu-se, que o MP apontou melhorias significativas em relação ao MR, com menor flutuação, tanto para GhDT quanto para FDT no período atual e em 2080.

O MR para o período atual, demonstrou flutuações concentradas, em sua maioria nas zonas 2 e 4, caracterizadas por um desconforto leve e frequente e frequente e intenso, respectivamente. Observando a flutuação do MP, verificou-se uma grande redução tanto na frequência, quanto na intensidade do desconforto térmico, apresentando maior concentração de pontos nas zonas 1 e 2, identificando o desconforto como leve e temporário e leve e frequente.

Ao analisar o período de 2080 para o MR, verificou-se também altos índices de FDT, demonstrando que a maioria dos dias conta com frequência de 100% de desconforto térmico concentrados na zona 4, com desconforto frequente e intenso. Em contrapartida, o MP apresentou considerável redução para os dois índices, com dispersão de pontos presentes nas zonas 1 e 2, caracterizadas por desconforto leve

e temporário e leve e frequente. Apesar disso, foi verificado ainda, que nenhum dia no período de 2080 apresentou condição de conforto térmico.

Tabela 48: Comparativo entre os diagramas de fluutuabilidade do MR e MP para os períodos atual e 2080 na cidade de Vitória.

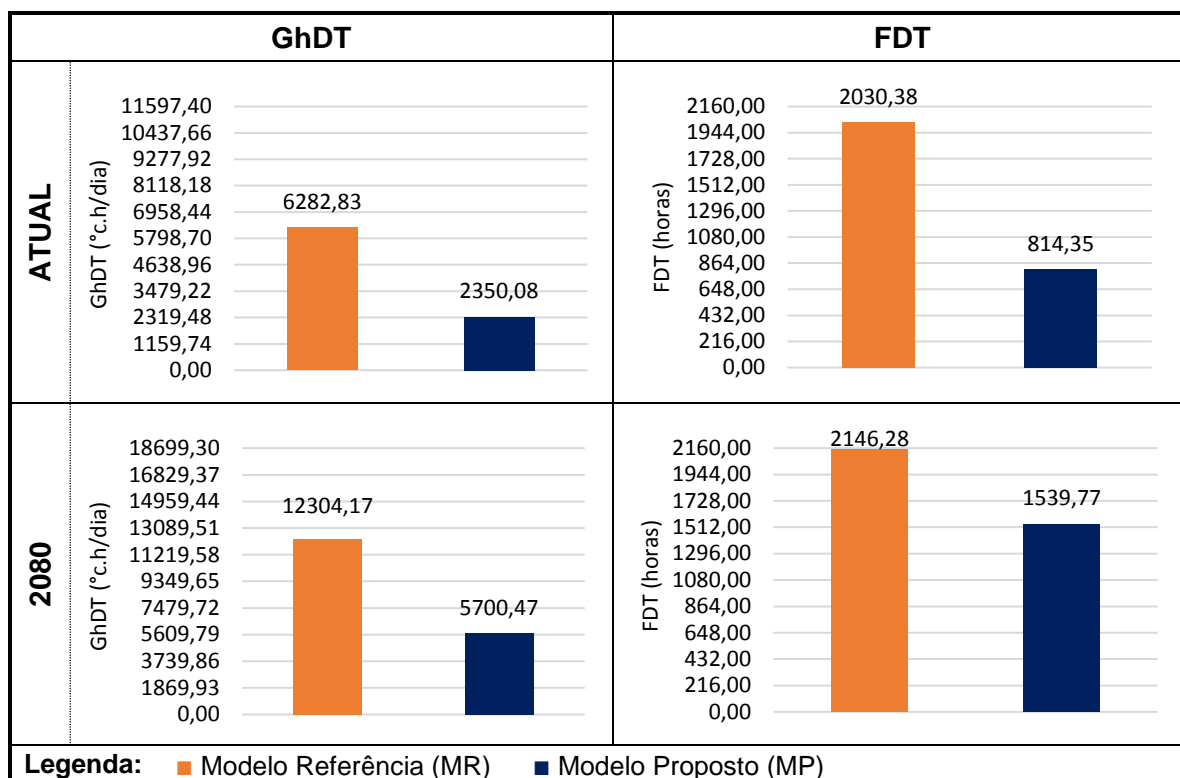


Fonte: A autora.

O somatório dos índices de GhDT e FDT para o MP (Tabela 49), demonstrou uma redução para os dois índices, tanto no período atual quanto em 2080:

- Para o período **atual**, o GhDT apresentou redução de 62,59% e o FDT de 59,89%, equivalente a 1216,03 horas em comparação ao MR; e
- Para o período de **2080**, os índices de GhDT reduziram 53,67%, enquanto o FDT reduziu 28,25%, equivalente a 606,51 horas.

Tabela 49: Comparativo do somatório de GhDT e FDT entre o MR e MP para os períodos atual e de 2080 na cidade de Vitória.



Fonte: A autora.

Percebeu-se para este caso, que o GhDT sofreu maior redução em detrimento ao FDT. A significativa redução nesses índices ocorreu devido à inserção de elementos sombreadores nas fachadas e permeáveis nas aberturas, permitindo que a ventilação, apesar de pouco intensa, fosse suficiente para dissipar o calor do ambiente interno, contribuindo para obtenção dos melhores índices de desconforto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas, já em curso, afetarão as regiões brasileiras de maneiras distintas, impactando significativamente o consumo energético nas edificações. Estes dados ratificam a relevância da adequação dos edifícios como estratégia de melhoria do desempenho termoenergético e do conforto do usuário no ambiente construído.

O desenvolvimento da pesquisa consistiu na incorporação de estratégias passivas, pautadas na NBR 15220:3 (2005), aplicadas às edificações residenciais multifamiliares, como forma de adaptação às mudanças climáticas, com foco voltado ao desempenho térmico e ao conforto dos usuários. Para este propósito, buscou-se representar as diferentes condições geográficas e climáticas do território brasileiro, por meio da seleção de quatro cidades, para as quais foram formatados arquivos climáticos com projeções de mudanças futuras de médio e longo prazos, ou seja, para os anos de 2020, 2050 e 2080. Embora existam incertezas relacionadas aos cenários climáticos futuros, os resultados buscaram evidenciar tendências para os diferentes períodos.

Por meio do processo de simulação computacional, estabelecido em duas etapas principais, foi realizado o comparativo do desempenho térmico dos edifícios, considerando dois modelos paramétricos, conforme as configurações de suas características arquitetônicas. Diante disso, os resultados destacaram que a prática construtiva atual, recorrente em todo o território nacional e aplicada ao modelo de projeto representativo do edifício, desprovida de quaisquer estratégias de condicionamento passivo, demonstrou propensão a um baixo desempenho térmico na operação desde o período atual, avançando ainda para os períodos futuros.

Constatou-se que esta tendência se aplicou especialmente para as estações consideradas as mais quentes (Primavera e Verão) e para a edificação composta por vedações de blocos cerâmicos, indicando para os períodos futuros um desempenho ainda mais comprometido.

Frente ao panorama de alterações no clima, as quatro cidades brasileiras analisadas apresentaram considerável aumento da temperatura externa do ar até o período de 2080, em comparação com as condições atuais.

Para a cidade de Manaus, classificada como uma das cidades mais quentes do país, as mudanças climáticas se apresentaram de forma mais severa, provocando efeitos expressivos no desempenho das edificações. Por estar situada próximo à Linha do Equador, esta cidade passará a apresentar estações do ano menos definidas, manifestando apenas um clima quente e menos quente ao longo dos anos. Verificou-se, então, que o uso de estratégias passivas de projeto para condição de ventilação natural na edificação, embora tenha apresentado redução nos níveis de desconforto, não permitiu melhora significativa até o período de 2080, sendo necessária a utilização mais intensiva de condicionamento artificial para a promoção do conforto, o que provocará, conseqüentemente, um elevado consumo energético nesta cidade.

Para as demais cidades, o aumento das temperaturas do ar, além de provocar maior desconforto aos usuários, motivaram também a elevação na demanda energética para resfriamento. Esse fator foi agravado ainda mais, ao considerar as mudanças projetadas para o clima futuro, apresentando uma intensificação do ocorrido nos períodos atuais, evidenciando a necessidade de inserir elementos para a adaptação bioclimática aos projetos construídos nos dias atuais.

Destaca-se, ainda, a necessidade de mudança com relação a forma de pensar e projetar os edifícios, pois a aplicação conjunta de medidas para adaptação em prol da eficiência energética apresenta-se com amplo potencial para a melhora dos níveis de desconforto térmico, tanto para o cenário climático atual, quanto para os futuros.

A segunda etapa de simulações considerou propostas de *retrofit* com a aplicação de estratégias bioclimáticas para o condicionamento passivo da edificação. As simulações destacaram que as medidas adaptativas implementadas apresentaram resultados mais expressivos para a melhoria do desempenho térmico no interior da edificação, para cada uma das quatro cidades avaliadas.

Esse fator evidencia que a incorporação de medidas de eficiência energética ao projeto deve passar por uma análise criteriosa das condições climáticas, a fim de definir as escolhas mais adequadas à cada região, mostrando-se fundamental para minimização dos efeitos das mudanças no clima durante as próximas décadas, ainda que existam altos índices de incertezas na previsão do comportamento da edificação, devido à baixa resolução dos modelos climáticos.

Nesse sentido, torna-se evidente que as normativas brasileiras sejam periodicamente revisadas a cada certo período de tempo, para que o comportamento das edificações atenda aos novos requisitos propostos pelo clima em transição, visto que as normas vigentes foram criadas considerando o cenário climático atual, e que as edificações devem possuir vida útil de pelo menos 50 anos.

Dessa forma, por meio dos resultados obtidos, foi possível confirmar a previsão de que haverá mudanças, principalmente no aquecimento terrestre, que impactarão diretamente no conforto do usuário e no consumo energético. Além disso, a atualização constante dos arquivos climáticos, mostra-se essencial para a obtenção de resultados de simulações computacionais mais reais em relação às condições climáticas, destacando-se que uma postura negligente relacionada ao processo de adaptação de edificações, pode acarretar desde o desconforto dos usuários, até o aumento do consumo energético no futuro, reforçando a perspectiva de que toda e qualquer construção deve ser projetada para o futuro, e não para o passado.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

No decorrer da pesquisa, foram encontrados alguns fatores limitantes:

- A seleção de um maior número de cidades, que apresentem condições climáticas distintas, pode permitir um panorama mais extenso sobre o comportamento térmico das edificações em diferentes localidades do território brasileiro, sob as condições de mudanças climáticas;
- Os arquivos climáticos futuros utilizados foram gerados a partir de modelos de circulação global, desconsiderando as condições regionais;
- A pesquisa considerou somente o cenário climático A2, com base nos relatórios AR3 e AR4 do IPCC. A utilização de mais cenários climáticos permite a obtenção de resultados distintos;
- As simulações consideraram apenas um ambiente do edifício e um tipo de comportamento dos usuários em relação à operabilidade do edifício. Outros comportamentos configurados podem modificar os resultados expressos;
- As simulações foram realizadas considerando apenas um conjunto de propostas adaptativas, assim, outros tipos de soluções e técnicas construtivas poderiam ser consideradas; e

- Os resultados apresentados devem ser considerados o retrato de uma tendência, e não como valores absolutos, uma vez que se baseiam na hipótese de mudanças climáticas futuras, o que ainda se conjectura uma tendência.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das limitações apresentadas, foram sugeridos os seguintes tópicos como sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento arquivos climáticos regionalizados, que considerem os cenários climáticos futuros mais atualizados do IPCC, para simulação termoenergética de edificações;
- Proposição de diferentes tipologias arquitetônicas, com aplicação de estratégias bioclimáticas e soluções construtivas combinadas, determinadas para cada região brasileira, possibilitando o menor consumo energético;
- Avaliação dos custos de implantação e manutenção ao longo da vida útil da edificação, tempo de retorno do investimento e economia gerada com eletricidade; e
- Recomendação de diretrizes para as normativas, quanto à aplicação de estratégias e técnicas construtivas, em atendimento às condições de conforto para o clima futuro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. vol. 22, n. 6, p. 711-728. 2014.
- ALVAREZ, C. E.; BRAGANÇA, L. Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído. In: **Anais...** 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires, Vila Velha, 2018. Disponível em: <<https://nvdjjwjs2pz3uphn0y3dmq-on.driv.tw/ciresurbanere/>>. Acesso em: 08 fev. 2018.
- ALVES, C. A.; DUARTE, D. H. S.; GOLÇALVES, F. L. T. Residential buildings' thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, vol. 114, p. 62-71. 2016.
- AMAZONAS. Lei nº 3, de 16 de janeiro de 2014. Manaus, 2014. Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Manaus e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-manaus-am>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55. **ASHRAE 55** - Thermal Environmental Conditions for human Occupancy. Atlanta, 2013.
- ANALYSIS SOL-AR - Versão 6.2. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>> Acesso em: 08 dez. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: 1-5 Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: 1-6 Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro. 2013.
- BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. **Building Services Engineering Research and Technology**, 26, p. 49–61, 2005.
- BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Climate, Comfort, & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Center for Environmental Design Research Center for the Built Environment, 2001. Disponível em:< <https://escholarship.org/uc/item/2048t8nn>>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- BRASIL. Lei nº 10295, de 17 de outubro de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M.. Avaliação do desempenho de vedações verticais utilizando o Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisão. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 2, P. 109-121, jun. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção verde: desenvolvimento com sustentabilidade**. Encontro da Indústria para a sustentabilidade. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002175850295139e.pdf>. Acesso em: 04 de dezembro de 2018.

CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/6178/1/Bruna%20Gomes%20Casagrande.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2018.

CCWORLDWEATHERGEN. **Climate change world weather file generator Software**. Version 1.9. 2017.

CHIDIAC, S. E.; CATANIA, E. J. C.; MOROFSKY, E.; FOO, S. A screening methodology for implementing cost effective energy retrofit measures in Canadian office buildings. **Energy and Buildings**, vol. 43, n. 2-3, p. 614-620. 2011.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para redução do consumo energético**. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. ASHRAE Transactions 104 (1a), p. 145–67, 1998.

DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA. **DesignBuilder** Software Ltda. Version 3.4.0.041. 2000-2013.

DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA. Design Builder, 2018. Disponível em: <<https://designbuilder.co.uk/>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

DICKINSON, R.; BRANNON, B. Generating future weather files for resilience. In: 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA. 2016. Los Angeles. Disponível em: <<http://www.weather-shift.com/Generating%20Future%20Weather%20Files.pdf>>. Acesso em: Acesso: 17 nov. 2018.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 2.105/98, de 08 de outubro de 1998. Distrito Federal, 1998. Dispõe sobre o Código de Edificações do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/10/COE_Atualizado_2015.05-compilado-1.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

DUCATTI, J. T.; TIBÚRCIO, T. M. de S.; CARMO, R. R. do Carmo. **Tecnologias Sustentáveis na Habitação Multifamiliar e os impactos no modo de vida**. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória, 2011.

- ELETROBRAS. Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico. Volume 1. 2010. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/files/files/casaeficiente/vol%20I-WEB.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2018.
- ELIANETEC. Fachadas ventiladas. 2019. Disponível em:<<https://elianetec.com/fachadas-ventiladas>>. Acesso em: 27 de fev. 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional – BEN. Brasil. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 08 jan. 2019.
- ESPÍRITO SANTO. Lei nº 4821, de 30 de dezembro de 1998. Vitória, 1998. Institui o Código de Edificações do município de Vitória e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- FARAH, S.; WHALEY, D.; SAMAN, W.; BOLAND, J. Integrating climate change into meteorological weather data for building energy simulation. **Energy and Buildings**, vol. 183, p. 749-760. 2019.
- FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; QIN, D.; DOKKEN, D. J.; EBI, K. L.; MASTRANDREA, M. D.; MACH, K. J.; PLATTNER, G. K.; ALLEN, S. K.; TIGNOR, M.; MIDGLEY, P. M. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2012.
- FLORES-LARSEN, S.; FILIPPÍN, C.; BAREA, G. Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. **Energy and Buildings**, vol. 184, p. 216-229. 2019.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.; Manual do Conforto Térmico. Ed. Studio Nobel. 8ª edição. São Paulo. 2009. P.126.
- GUARDA, E. L. A; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Efeitos do Aquecimento Global nas Estratégias de Projeto das Edificações por Meio de Cartas Bioclimáticas. **Engineering and Science**. v. 7, n. 2, p. 54-70, 2018. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/6827/4870>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.
- GUPTA, R.; GREGG, M. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. **Building and Environment**, v. 55, p. 20-42, 2012.
- HOOFF, T. V.; BLOCHEN, B.; TIMMERMANS, H.; HENSEN, J. Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. **Energy**, v. 94, p. 811–820, 2016.
- HUANG, K.; HWANG, R. Future trends of residential building cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change: The case of Taiwan. **Applied Energy**, v. 184, p. 1230-1240. 2016.
- HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and**

Environment, v. 63, p. 40-55, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. Cidades e Estados, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Gráficos climatológicas (1931 - 1960 e 1961 - 1990). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil, 2018. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 20 fev 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Portaria nº 50, de 01 de fevereiro de 2013. Anexo geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. 2013. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 2012. Disponível em: < <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: 2001. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf>. Acesso em: 21 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change: The IPCC Scientific Assentment**. Contribution of Working Group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 1990. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf>. Acesso em: 13 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. IPCC Second Assentment Climate Change 1995. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1995. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/2nd-assessment-en-1.pdf>>. Acesso em: 18 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: 2001. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf>. Acesso em: 21 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf>. Acesso em: 21 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf>. Acesso em: 23 novembro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **AR6 Syntesis Report: Climate Change 2022**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>>. Acesso em: 02 fevereiro de 2019.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Energy Efficiency: analysis and outlooks to 2040. Paris. 2018. Disponível em: <<http://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2018/11/Energy-efficiency-2018.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

INVIDIATA, A. **Método de avaliação multicritério de estratégias de projeto de edificações mais sustentáveis**. 2017. 333f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32. 2016.

JAGARAJANA, R.; ASMONIA, M. N. A. M.; MOHAMMEDA, A. H.; JAAFARA, M. N.; MEIA, J. L. Y. BABAB, M. Green retrofitting – A review of current status, implementations and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1360-1368. 2017.

JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. S.; JAMES, P. A. B. Climate change future proofing of buildings - Generation and assessment of building simulation weather files. **Energy and Buildings**. Issue 12, vol. 40, p. 2148-2168. 2008.

JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. S.; JAMES, O. A. B. **Manual CCWorldWeatherGen Climate change world weather file generator: Manual**. Versão 1.9. Southampton: University of Southampton, 2017.

JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B.; BOURIKAS, L.; BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. **Renewable Energy**, vol. 55, p. 514-524. 2013.

KOČÍ, J.; KOČÍ, V.; MADĚRA, J.; ČERNÝ, R. Effect of applied weather data sets in simulation of building energy demands: Comparison of design years with recent weather data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 100, p. 22-32. 2019.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - LABEEE. Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 15 dez 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética em Arquitetura**. 3ª edição. Ed: ELETBRAS. 2014. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acesso em: 23 out. 2018.

LOPES, A. C. P.; FILHO, D. O.; ALTOE, L.; CARLO, J. C.; LIMA, B. B. Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 66, p. 207-219. 2016.

MAILE, T.; FISCHER, M.; BAZJANAC, V. Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective. Center for Integrated Facility Engineering. Stanford University. 2007.

MARDOOKHY, M.; SAWHNEY, R.; SHUGUANG, J.; XIAOJUAN, Z.; WNJUN, Z. A study of energy efficiency in residential buildings in Knoxville, Tennessee. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 241-249, 2014.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, Brasil. 2007.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, Roberto; CUNHA, José Bellini. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, 2005.

MENDONÇA, A. M. **Caracterização do estoque de edificações históricas de uso institucional ou público localizadas em Florianópolis com relação ao consumo de eletricidade**. 2014. 276f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

MOAZAMI, A.; CARLUCCI, S.; GEVING, S. Critical Analysis of Software Tools Aimed at Generating Future Weather Files with a view to their use in Building Performance Simulation. **Energy Procedia**, vol. 132, p. 640-645. 2017.

MOAZAMI, A.; NIK, V. M.; CARLUCCI, S.; GEVING, S. Impacts of future weather data typology on building energy performance – Investigating long-term patterns of climate change and extreme weather conditions. **Applied Energy**, vol. 238, p. 696-720. 2019.

MONTES, M. A. T; **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. 2016. 473f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

NAKICENOVIC, N.; SWART, R. Special Report on Emissions Scenarios. **A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2000.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambiente ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES**. 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Construção e Desenho, da Universidade de Bío Bío, Concepción, 2015.

NIK, V.; MATA, E.; SASIC KALAGASIDIS, A.; SCARTEZZINI, J. Effective and robust energy retrofitting measures for future climatic conditions—Reduced heating demand of Swedish households. **Energy and Buildings**, v. 121, p. 176 – 187, 2016.

OLONSCHECK, M.; HOLSTEN, A.; KROPP, J.P. Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change. **Energy Policy**, v. 39, p. 4795–4806, 2011.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PMBC. 2016a. Sumário Executivo do Volume 1 – Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT1/GT1_volume_completo_cap1.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PMBC. 2016b. Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PMBC. 2016c. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PNA, 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>. Acesso em 04 dez. 2018.

PBE EDIFICA. O que é a etiqueta PBE EDIFICA? 2018. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

PROJETEEE - BRASÍLIA. Dados climáticos da cidade de Brasília. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=DF+-+Bras%C3%ADlia&id_cidade=bra_df_brasilia-kubitschek.intl.ap.833780_try.1962>. Acesso em: 08 dez. 2018.

PROJETEEE - PORTO ALEGRE. Dados climáticos da cidade de Porto Alegre. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS+-+Porto+Alegre&id_cidade=bra_rs_porto.alegre-filho.intl.ap.839710_try.1954>. Acesso em: 08 dez. 2018.

PROJETEEE - VITÓRIA. Dados climáticos da cidade de Vitória. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=ES+-+Vit%C3%B3ria&id_cidade=bra_es_vitoria-salles.ap.836490_try.1962>. Acesso em: 08 dez. 2018.

REN, Z.; CHEN, Z.; WANG, X. Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings. **Building and Environment**. Issue 11, v. 46, p. 2398-2412, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 284, de 27 de outubro de 1992. Porto Alegre, 1992. Institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-porto-alegre-rs>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**: Um guia de sobrevivência para o século XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, 2012. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos> Acesso em: 24 jan. 2019.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. S. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. **Revista USP**, vol. n. 103, p. 41-54. 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/LPP/Desktop/99179-Texto%20do%20artigo-172668-1-10-20150619.pdf>>. Acesso: 14 nov. 2018.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. **Energy and Buildings**, vol. 57, p. 74-94. 2013.

SANTO, A. D. **O impacto da janela no conforto térmico: Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**. 2014. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SANTOS, M. F. N. dos; BATTISTELLE, R. A. G.; VARUM, H. Habitações e meio ambiente. Uma breve reflexão histórica. **Arquitextos**, São Paulo, ano 14, n. 161.05, Vitruvius, out. 2013. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4921>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

SASAZAKI. Janela de correr sem grade. Disponível em: <<http://www.sasazaki.com.br/produto/janela-de-correr-sem-grade-aluminio-2-folhas-branco-linha-alumislim>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v.47, p 402-410, 2012.

SILVERO, F.; RODRIGUES, F.; MONTELPARE, S.; SPACONE, E.; VARUM, H. The path towards buildings energy efficiency in South American countries. **Sustainable Cities and Society**, vol. 44, p. 646-665. 2019.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; R.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública. 2012. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

TATEOKA, S. S.; DUARTE, D. H. Adaptação às mudanças climáticas: desafios para requalificação de edifícios existentes em São Paulo. In: ENCAC; ELACAC, 2017, Balneário Camboriú. **Anais** do XIV Encontro Nacional, X Encontro Latino-americano, de conforto no

ambiente construído. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo24.pdf>>. Acesso em: 05 de agosto de 2018.

TRIANA, A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1379-1392. 2018.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. The Paris Agreement. 2019. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em 09 de janeiro de 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP, 2017. Disponível em: <<http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>>. Acesso em 08 dez. 2017.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY – DOE. Building Energy Software Tools Directory. Disponível em: <<https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

VENÂNCIO, Raoni. Manual de Treinamento para o programa Design Builder versão 2.0. Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon) - UFRN. Natal: 2009.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2018. Statement on the State of the Global Climate in 2017. Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453>. Acesso em 08 fev. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2019. Statement on the State of the Global Climate in 2018. Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789>. Acesso em 08 fev. 2019.

APÊNDICE A

Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperatura neutra e intervalo de temperatura de conforto térmico baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 para cada cidade.

MANAUS

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n=0,31(T_e)+17,8$	Intervalo de Temperatura de conforto (°C) da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,75	26,0925	23,5925	28,5925
Fevereiro	26,81	26,1111	23,6111	28,6111
Março	27,57	26,3467	23,8467	28,8467
Abril	26,42	25,9902	23,4902	28,4902
Maio	27	26,17	23,67	28,67
Junho	26,79	26,1049	23,6049	28,6049
Julho	26,73	26,0863	23,5863	28,5863
Agosto	27,93	26,4583	23,9583	28,9583
Setembro	28,96	26,7776	24,2776	29,2776
Outubro	28,24	26,5544	24,0544	29,0544
Novembro	27,32	26,2692	23,7692	28,7692
Dezembro	26,74	26,0894	23,5894	28,5894

BRASÍLIA

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n=0,31(T_e)+17,8$	Intervalo de Temperatura de conforto (°C) da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	21,59	24,4929	21,9929	26,9929
Fevereiro	22	24,62	22,12	27,12
Março	21,59	24,4929	21,9929	26,9929
Abril	21,3	24,403	21,903	26,903
Maio	19,2	23,752	21,252	26,252
Junho	17,68	23,2808	20,7808	25,7808
Julho	17,78	23,3118	20,8118	25,8118
Agosto	20,43	24,1333	21,6333	26,6333
Setembro	22,62	24,8122	22,3122	27,3122
Outubro	21,37	24,4247	21,9247	26,9247
Novembro	21,92	24,5952	22,0952	27,0952
Dezembro	20,86	24,2666	21,7666	26,7666

PORTO ALEGRE

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n=0,31(T_e)+17,8$	Intervalo de Temperatura de conforto (°C) da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	24,6	25,426	22,926	27,926
Fevereiro	24,34	25,3454	22,8454	27,8454
Março	23,42	25,0602	22,5602	27,5602
Abril	19,83	23,9473	21,4473	26,4473
Mai	14,42	22,2702	19,7702	24,7702
Junho	14,87	22,4097	19,9097	24,9097
Julho	13,68	22,0408	19,5408	24,5408
Agosto	16,24	22,8344	20,3344	25,3344
Setembro	16,93	23,0483	20,5483	25,5483
Outubro	18,31	23,4761	20,9761	25,9761
Novembro	21,27	24,3937	21,8937	26,8937
Dezembro	23,2	24,992	22,492	27,492

VITÓRIA

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura Neutra (°C) $T_n=0,31(T_e)+17,8$	Intervalo de Temperatura de conforto (°C) da ASHRAE 55 90% de aceitabilidade	
			Mínima	Máxima
Janeiro	26,35	25,9685	23,4685	28,4685
Fevereiro	25,76	25,7856	23,2856	28,2856
Março	26,65	26,0615	23,5615	28,5615
Abril	25,34	25,6554	23,1554	28,1554
Mai	22,84	24,8804	22,3804	27,3804
Junho	21,98	24,6138	22,1138	27,1138
Julho	22,38	24,7378	22,2378	27,2378
Agosto	21,69	24,5239	22,0239	27,0239
Setembro	22,07	24,6417	22,1417	27,1417
Outubro	24,41	25,3671	22,8671	27,8671
Novembro	26,5	26,015	23,515	28,515
Dezembro	26,86	26,1266	23,6266	28,6266

APÊNDICE B

Máximos valores de GhDT para cada cidade e período de tempo do Modelo de Referência (MR).

MANAUS - BLOCO CERÂMICO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 140,08°C.h/dia = 12607,20°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 124,47°C.h/dia	GhDT = 135,54°C.h/dia	GhDT = 140,08°C.h/dia	GhDT = 136,87°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 118,24°C.h/dia = 10878,08°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	23/mar. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 118,24°C.h/dia	GhDT = 105,74°C.h/dia	GhDT = 104,65°C.h/dia	GhDT = 111,03°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 141,27°C.h/dia = 12996,84 °C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 138,07°C.h/dia	GhDT = 127,09°C.h/dia	GhDT = 129,88°C.h/dia	GhDT = 141,27°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 176,53°C.h/dia = 16064,23°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 167,19°C.h/dia	GhDT = 163,14°C.h/dia	GhDT = 166,36°C.h/dia	GhDT = 176,53°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 216,78°C.h/dia = 19510,20°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 192,86°C.h/dia	GhDT = 215,26°C.h/dia	GhDT = 216,78°C.h/dia	GhDT = 210,75°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 172,38°C.h/dia = 15858,96°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 172,38°C.h/dia	GhDT = 160,43°C.h/dia	GhDT = 152,01°C.h/dia	GhDT = 162,05°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 231,32°C.h/dia = 21281,44°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 221,80°C.h/dia	GhDT = 217,61°C.h/dia	GhDT = 211,89°C.h/dia	GhDT = 231,32°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 276,06°C.h/dia = 25121,46°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 258,23°C.h/dia	GhDT = 266,00°C.h/dia	GhDT = 260,77°C.h/dia	GhDT = 276,06°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 290,26°C.h/dia = 26123,4°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 264,29°C.h/dia	GhDT = 289,30°C.h/dia	GhDT = 290,26°C.h/dia	GhDT = 284,05°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 233,95°C.h/dia = 21523,4°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 233,95°C.h/dia	GhDT = 221,40°C.h/dia	GhDT = 211,89°C.h/dia	GhDT = 222,98°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 299,62°C.h/dia = 27565,04°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
26/ago. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 291,92°C.h/dia	GhDT = 286,92°C.h/dia	GhDT = 279,80°C.h/dia	GhDT = 299,62°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 348,84°C.h/dia = 31744,44°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 329,74°C.h/dia	GhDT = 341,23°C.h/dia	GhDT = 333,48°C.h/dia	GhDT = 348,84°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 378,73°C.h/dia = 34085,7°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 350,72°C.h/dia	GhDT = 378,43°C.h/dia	GhDT = 378,73°C.h/dia	GhDT = 372,69°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 340,36°C.h/dia = 31313,12°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 340,36°C.h/dia	GhDT = 328,10°C.h/dia	GhDT = 316,16°C.h/dia	GhDT = 328,71°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 389,45°C.h/dia = 35829,4°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.
GhDT = 387,67°C.h/dia	GhDT = 380,51°C.h/dia	GhDT = 371,19°C.h/dia	GhDT = 389,45°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 421,20°C.h/dia = 38329,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 400,51°C.h/dia	GhDT = 413,90°C.h/dia	GhDT = 405,02°C.h/dia	GhDT = 421,20°C.h/dia

MANAUS - BLOCO DE CONCRETO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 131,42°C.h/dia = 11827,8°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 119,41°C.h/dia	GhDT = 130,05°C.h/dia	GhDT = 119,41°C.h/dia	GhDT = 131,42°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 112,29°C.h/dia = 10330,68°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	23/mar. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 112,29°C.h/dia	GhDT = 100,19°C.h/dia	GhDT = 99,08°C.h/dia	GhDT = 104,70°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 134,94°C.h/dia = 12414,48°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 132,31°C.h/dia	GhDT = 122,45°C.h/dia	GhDT = 124,51°C.h/dia	GhDT = 134,94°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 170,26°C.h/dia = 15493,66°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 161,70°C.h/dia	GhDT = 158,40°C.h/dia	GhDT = 161,06°C.h/dia	GhDT = 170,26°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 211,45°C.h/dia = 19030,5°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 187,85°C.h/dia	GhDT = 209,36°C.h/dia	GhDT = 211,45°C.h/dia	GhDT = 205,18°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 166,60°C.h/dia = 15327,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 166,60°C.h/dia	GhDT = 156,31°C.h/dia	GhDT = 146,93°C.h/dia	GhDT = 155,69°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 224,15°C.h/dia = 20621,8°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 216,15°C.h/dia	GhDT = 212,60°C.h/dia	GhDT = 206,76°C.h/dia	GhDT = 224,15°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 269,36°C.h/dia = 24511,76°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 252,80°C.h/dia	GhDT = 260,86°C.h/dia	GhDT = 255,65°C.h/dia	GhDT = 269,36°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 284,82°C.h/dia = 25633,8°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 259,08°C.h/dia	GhDT = 283,12°C.h/dia	GhDT = 284,82°C.h/dia	GhDT = 278,42°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 227,67°C.h/dia = 20945,64°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 227,67°C.h/dia	GhDT = 216,99°C.h/dia	GhDT = 206,42°C.h/dia	GhDT = 216,09°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 292,28°C.h/dia = 26889,76°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
26/ago. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.	15/set. - 4°PAV.
GhDT = 285,72°C.h/dia	GhDT = 281,78°C.h/dia	GhDT = 274,74°C.h/dia	GhDT = 292,28°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 341,92°C.h/dia = 31114,72°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.
GhDT = 324,31°C.h/dia	GhDT = 335,77°C.h/dia	GhDT = 328,24°C.h/dia	GhDT = 341,92°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 373,20°C.h/dia = 33588°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.	30/jan. - 4°PAV.
GhDT = 345,53°C.h/dia	GhDT = 372,09°C.h/dia	GhDT = 373,20°C.h/dia	GhDT = 367,12°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 333,74°C.h/dia = 30704,08°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.	20/mai. - 4°PAV.
GhDT = 333,74°C.h/dia	GhDT = 323,29°C.h/dia	GhDT = 310,58°C.h/dia	GhDT = 321,35°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 382,33°C.h/dia = 35174,36°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.	26/ago. - 4°PAV.
GhDT = 381,43°C.h/dia	GhDT = 375,49°C.h/dia	GhDT = 365,92°C.h/dia	GhDT = 382,33°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 415,46°C.h/dia = 37806,86°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
30/set. - 4°PAV.	30/set. - 4°PAV.	31/out. - 4°PAV.	31/out. - 4°PAV.
GhDT = 395,35°C.h/dia	GhDT = 408,54°C.h/dia	GhDT = 400,53°C.h/dia	GhDT = 415,46°C.h/dia

BRASÍLIA - BLOCO CERÂMICO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 66,49°C.h/dia = 5984,1°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	23/fev. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 51,79°C.h/dia	GhDT = 57,34°C.h/dia	GhDT = 43,96°C.h/dia	GhDT = 66,49°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 75,30°C.h/dia = 6927,6°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 75,30°C.h/dia	GhDT = 64,10°C.h/dia	GhDT = 41,49°C.h/dia	GhDT = 59,82°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 104,78°C.h/dia = 9639,76°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 95,39°C.h/dia	GhDT = 93,82°C.h/dia	GhDT = 80,19°C.h/dia	GhDT = 104,78°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 114,38°C.h/dia = 10408,58°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 84,25°C.h/dia	GhDT = 98,72°C.h/dia	GhDT = 87,11°C.h/dia	GhDT = 114,38°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 97,86°C.h/dia = 8807,4°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	19/jan. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 81,07°C.h/dia	GhDT = 92,13°C.h/dia	GhDT = 72,43°C.h/dia	GhDT = 97,86°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 118,70°C.h/dia = 10920,4°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 118,70°C.h/dia	GhDT = 109,86°C.h/dia	GhDT = 76,64°C.h/dia	GhDT = 100,39°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 151,10°C.h/dia = 13901,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 134,66°C.h/dia	GhDT = 136,55°C.h/dia	GhDT = 116,08°C.h/dia	GhDT = 151,10°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 148,22°C.h/dia = 13488,02°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 113,47°C.h/dia	GhDT = 139,07°C.h/dia	GhDT = 119,04°C.h/dia	GhDT = 148,22°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 123,69°C.h/dia = 11132,1°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 106,82°C.h/dia	GhDT = 118,02°C.h/dia	GhDT = 97,25°C.h/dia	GhDT = 123,69°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 160,17°C.h/dia = 14735,64°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 160,17°C.h/dia	GhDT = 151,34°C.h/dia	GhDT = 117,31°C.h/dia	GhDT = 141,26°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 192,02°C.h/dia = 17665,84°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 175,81°C.h/dia	GhDT = 177,65°C.h/dia	GhDT = 156,59°C.h/dia	GhDT = 192,02°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 186,84°C.h/dia = 17002,44°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 150,55°C.h/dia	GhDT = 178,78°C.h/dia	GhDT = 156,23°C.h/dia	GhDT = 186,84°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 160,88°C.h/dia = 14479,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	19/jan. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 143,44°C.h/dia	GhDT = 155,24°C.h/dia	GhDT = 136,76°C.h/dia	GhDT = 160,88°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 214,55°C.h/dia = 19738,6°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 214,55°C.h/dia	GhDT = 205,61°C.h/dia	GhDT = 170,75°C.h/dia	GhDT = 194,71°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 241,74°C.h/dia = 22240,08°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 225,24°C.h/dia	GhDT = 227,08°C.h/dia	GhDT = 204,78°C.h/dia	GhDT = 241,74°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 259,37°C.h/dia = 23602,67°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 219,26°C.h/dia	GhDT = 244,48°C.h/dia	GhDT = 225,00°C.h/dia	GhDT = 259,37°C.h/dia

BRASÍLIA - BLOCO DE CONCRETO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 49,73°C.h/dia = 4475,7°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	23/fev. - 4°PAV.	31/dez. - 4°PAV.
GhDT = 45,75°C.h/dia	GhDT = 49,73°C.h/dia	GhDT = 37,31°C.h/dia	GhDT = 35,23°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 41,64°C.h/dia = 3830,88°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	02/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 41,64°C.h/dia	GhDT = 31,64°C.h/dia	GhDT = 12,28°C.h/dia	GhDT = 27,18°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 100,82°C.h/dia = 9275,44°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 93,20°C.h/dia	GhDT = 91,81°C.h/dia	GhDT = 78,37°C.h/dia	GhDT = 100,82°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 106,19°C.h/dia = 9663,29°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 78,47°C.h/dia	GhDT = 90,73°C.h/dia	GhDT = 80,25°C.h/dia	GhDT = 106,19°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 89,81°C.h/dia = 8082,9°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	19/jan. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 74,85°C.h/dia	GhDT = 84,66°C.h/dia	GhDT = 67,10°C.h/dia	GhDT = 89,81°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 112,37°C.h/dia = 10338,04°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 112,37°C.h/dia	GhDT = 104,29°C.h/dia	GhDT = 71,36°C.h/dia	GhDT = 93,22°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 143,06°C.h/dia = 13161,52°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 129,11°C.h/dia	GhDT = 130,82°C.h/dia	GhDT = 110,77°C.h/dia	GhDT = 143,06°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 140,16°C.h/dia = 12754,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 107,43°C.h/dia	GhDT = 130,50°C.h/dia	GhDT = 112,73°C.h/dia	GhDT = 140,16°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 115,78°C.h/dia = 10420,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 100,70°C.h/dia	GhDT = 110,67°C.h/dia	GhDT = 91,11°C.h/dia	GhDT = 115,78°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 154,03°C.h/dia = 14170,76°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 154,03°C.h/dia	GhDT = 146,00°C.h/dia	GhDT = 112,27°C.h/dia	GhDT = 134,30°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 184,21°C.h/dia = 16947,32°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 170,36°C.h/dia	GhDT = 171,90°C.h/dia	GhDT = 151,47°C.h/dia	GhDT = 184,21°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 178,83°C.h/dia = 16273,53°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	22/set. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 144,67°C.h/dia	GhDT = 170,24°C.h/dia	GhDT = 150,08°C.h/dia	GhDT = 178,83°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 153,09°C.h/dia = 13778,1°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/mar. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.	19/jan. - 4°PAV.	04/mar. - 4°PAV.
GhDT = 137,50°C.h/dia	GhDT = 148,03°C.h/dia	GhDT = 131,69°C.h/dia	GhDT = 153,09°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 208,67°C.h/dia = 19197,64°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.	03/mai. - 4°PAV.
GhDT = 208,67°C.h/dia	GhDT = 200,55°C.h/dia	GhDT = 166,05°C.h/dia	GhDT = 188,01°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 233,59°C.h/dia = 21490,28°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/set. - 4°PAV.	09/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.	13/set. - 4°PAV.
GhDT = 219,51°C.h/dia	GhDT = 221,32°C.h/dia	GhDT = 199,69°C.h/dia	GhDT = 233,59°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 250,85°C.h/dia = 22827,35°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.	17/nov. - 4°PAV.
GhDT = 213,41°C.h/dia	GhDT = 235,99°C.h/dia	GhDT = 219,01°C.h/dia	GhDT = 250,85°C.h/dia

PORTO ALEGRE - BLOCO CERÂMICO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 164,63°C.h/dia = 14816,7°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 157,60°C.h/dia	GhDT = 164,63°C.h/dia	GhDT = 160,84°C.h/dia	GhDT = 164,08°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 73,36°C.h/dia = 6749,12°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 73,36°C.h/dia	GhDT = 62,19°C.h/dia	GhDT = 58,34°C.h/dia	GhDT = 60,06°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 86,31°C.h/dia = 7940,52°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 86,31°C.h/dia	GhDT = 80,01°C.h/dia	GhDT = 74,25°C.h/dia	GhDT = 74,64°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 142,44°C.h/dia = 12962,04°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 138,85°C.h/dia	GhDT = 135,87°C.h/dia	GhDT = 135,44°C.h/dia	GhDT = 142,44°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 190,59°C.h/dia = 17153,1°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 175,74°C.h/dia	GhDT = 190,59°C.h/dia	GhDT = 181,43°C.h/dia	GhDT = 186,49°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 115,42°C.h/dia = 10618,64°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 115,42°C.h/dia	GhDT = 105,61°C.h/dia	GhDT = 92,06°C.h/dia	GhDT = 96,84°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 143,59°C.h/dia = 13210,28°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 143,59°C.h/dia	GhDT = 127,24°C.h/dia	GhDT = 111,78°C.h/dia	GhDT = 111,17°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 167,95°C.h/dia = 15283,45°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 159,81°C.h/dia	GhDT = 161,38°C.h/dia	GhDT = 157,77°C.h/dia	GhDT = 167,95°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 225,12°C.h/dia = 20260,8°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 209,52°C.h/dia	GhDT = 225,12°C.h/dia	GhDT = 215,22°C.h/dia	GhDT = 221,30°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 134,77°C.h/dia = 12398,84°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 134,77°C.h/dia	GhDT = 125,04°C.h/dia	GhDT = 111,38°C.h/dia	GhDT = 116,18°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 170,25°C.h/dia = 15663°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 170,25°C.h/dia	GhDT = 153,60°C.h/dia	GhDT = 137,84°C.h/dia	GhDT = 137,52°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 200,12°C.h/dia = 18210,92°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 191,05°C.h/dia	GhDT = 193,74°C.h/dia	GhDT = 189,15°C.h/dia	GhDT = 200,12°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 254,58°C.h/dia = 22912,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 238,13°C.h/dia	GhDT = 254,58°C.h/dia	GhDT = 243,92°C.h/dia	GhDT = 250,13°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 156,19°C.h/dia = 14369,48°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 156,19°C.h/dia	GhDT = 146,04°C.h/dia	GhDT = 134,14°C.h/dia	GhDT = 138,51°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 204,08°C.h/dia = 18775,36°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 204,08°C.h/dia	GhDT = 187,08°C.h/dia	GhDT = 170,83°C.h/dia	GhDT = 170,33°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 228,29°C.h/dia = 20774,39°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 219,55°C.h/dia	GhDT = 221,77°C.h/dia	GhDT = 217,45°C.h/dia	GhDT = 228,29°C.h/dia

PORTO ALEGRE - BLOCO DE CONCRETO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 128,86°C.h/dia = 11597,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 151,56°C.h/dia	GhDT = 158,40°C.h/dia	GhDT = 154,73°C.h/dia	GhDT = 157,47°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 109,18°C.h/dia = 10044,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 65,82°C.h/dia	GhDT = 56,16°C.h/dia	GhDT = 51,75°C.h/dia	GhDT = 52,74°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 59,05°C.h/dia = 5432,60°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 80,24°C.h/dia	GhDT = 74,61°C.h/dia	GhDT = 68,53°C.h/dia	GhDT = 68,78°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 112,64°C.h/dia = 10250,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 132,40°C.h/dia	GhDT = 130,09°C.h/dia	GhDT = 129,34°C.h/dia	GhDT = 135,74°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 128,86°C.h/dia = 11597,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 170,03°C.h/dia	GhDT = 184,31°C.h/dia	GhDT = 175,86°C.h/dia	GhDT = 179,97°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 109,18°C.h/dia = 10044,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 108,29°C.h/dia	GhDT = 100,21°C.h/dia	GhDT = 86,29°C.h/dia	GhDT = 89,75°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 59,05°C.h/dia = 5432,60°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 137,35°C.h/dia	GhDT = 122,72°C.h/dia	GhDT = 106,66°C.h/dia	GhDT = 105,43°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 112,64°C.h/dia = 10250,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 153,81°C.h/dia	GhDT = 155,76°C.h/dia	GhDT = 152,16°C.h/dia	GhDT = 161,44°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 128,86°C.h/dia = 11597,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 203,75°C.h/dia	GhDT = 218,77°C.h/dia	GhDT = 209,59°C.h/dia	GhDT = 214,53°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 109,18°C.h/dia = 10044,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 127,79°C.h/dia	GhDT = 119,76°C.h/dia	GhDT = 105,75°C.h/dia	GhDT = 109,21°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 59,05°C.h/dia = 5432,60°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 164,11°C.h/dia	GhDT = 149,19°C.h/dia	GhDT = 132,86°C.h/dia	GhDT = 131,91°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 112,64°C.h/dia = 10250,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 185,15°C.h/dia	GhDT = 188,11°C.h/dia	GhDT = 183,66°C.h/dia	GhDT = 193,27°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 128,86°C.h/dia = 11597,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 232,20°C.h/dia	GhDT = 247,99°C.h/dia	GhDT = 238,12°C.h/dia	GhDT = 243,28°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 109,18°C.h/dia = 10044,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.	05/abr. - 4°PAV.
GhDT = 149,44°C.h/dia	GhDT = 141,01°C.h/dia	GhDT = 128,67°C.h/dia	GhDT = 131,80°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 59,05°C.h/dia = 5432,60°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 198,13°C.h/dia	GhDT = 182,89°C.h/dia	GhDT = 166,08°C.h/dia	GhDT = 164,90°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 112,64°C.h/dia = 10250,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.	17/dez. - 4°PAV.
GhDT = 213,68°C.h/dia	GhDT = 216,21°C.h/dia	GhDT = 211,97°C.h/dia	GhDT = 221,83°C.h/dia

VITÓRIA - BLOCO CERÂMICO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 128,86°C.h/dia = 11597,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 108,14°C.h/dia	GhDT = 123,16°C.h/dia	GhDT = 122,86°C.h/dia	GhDT = 128,86°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 109,18°C.h/dia = 10044,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 106,24°C.h/dia	GhDT = 103,96°C.h/dia	GhDT = 96,51°C.h/dia	GhDT = 109,18°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 59,05°C.h/dia = 5432,60°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 53,17°C.h/dia	GhDT = 57,37°C.h/dia	GhDT = 50,53°C.h/dia	GhDT = 59,05°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 112,64°C.h/dia = 10250,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.
GhDT = 93,33°C.h/dia	GhDT = 106,20°C.h/dia	GhDT = 96,82°C.h/dia	GhDT = 112,64°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 152,25°C.h/dia = 13702,50°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 125,35°C.h/dia	GhDT = 152,07°C.h/dia	GhDT = 148,30°C.h/dia	GhDT = 152,25°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 144,87°C.h/dia = 13328,04°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 135,15°C.h/dia	GhDT = 140,43°C.h/dia	GhDT = 122,50°C.h/dia	GhDT = 144,87°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 111,22°C.h/dia = 10232,24°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 108,08°C.h/dia	GhDT = 111,22°C.h/dia	GhDT = 90,66°C.h/dia	GhDT = 101,42°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 145,16°C.h/dia = 13210,47°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.
GhDT = 113,10°C.h/dia	GhDT = 138,44°C.h/dia	GhDT = 124,44°C.h/dia	GhDT = 145,16°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 167,76°C.h/dia = 15098,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 141,48°C.h/dia	GhDT = 167,47°C.h/dia	GhDT = 163,93°C.h/dia	GhDT = 167,76°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 163,91°C.h/dia = 15079,72°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 160,96°C.h/dia	GhDT = 159,90°C.h/dia	GhDT = 143,50°C.h/dia	GhDT = 163,91°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 140,16°C.h/dia = 12894,72°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 137,25°C.h/dia	GhDT = 140,16°C.h/dia	GhDT = 117,87°C.h/dia	GhDT = 130,71°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 163,72°C.h/dia = 14898,52°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.
GhDT = 129,28°C.h/dia	GhDT = 157,82°C.h/dia	GhDT = 145,38°C.h/dia	GhDT = 163,72°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 207,77°C.h/dia = 18699,30°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 179,91°C.h/dia	GhDT = 207,18°C.h/dia	GhDT = 202,54°C.h/dia	GhDT = 207,77°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 192,53°C.h/dia = 17712,76°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 192,53°C.h/dia	GhDT = 189,72°C.h/dia	GhDT = 174,36°C.h/dia	GhDT = 187,67°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 178,84°C.h/dia = 16453,28°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	13/jul. - 4°PAV.
GhDT = 176,07°C.h/dia	GhDT = 178,84°C.h/dia	GhDT = 156,15°C.h/dia	GhDT = 167,17°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 207,86°C.h/dia = 18915,26°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.
GhDT = 170,75°C.h/dia	GhDT = 201,63°C.h/dia	GhDT = 188,22°C.h/dia	GhDT = 207,86°C.h/dia

VITÓRIA - BLOCO DE CONCRETO

ATUAL			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 123,39°C.h/dia = 11105,10°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 104,13°C.h/dia	GhDT = 117,98°C.h/dia	GhDT = 118,04°C.h/dia	GhDT = 123,39°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 102,52°C.h/dia = 9431,84°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 100,00°C.h/dia	GhDT = 98,65°C.h/dia	GhDT = 91,03°C.h/dia	GhDT = 102,52°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 52,51°C.h/dia = 4830,92°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 48,57°C.h/dia	GhDT = 52,36°C.h/dia	GhDT = 45,09°C.h/dia	GhDT = 52,51°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 106,94°C.h/dia = 9731,54°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.
GhDT = 89,00°C.h/dia	GhDT = 100,72°C.h/dia	GhDT = 92,27°C.h/dia	GhDT = 106,94°C.h/dia
2020			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 147,16°C.h/dia = 13244,40°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	12/jan. - 4°PAV.
GhDT = 121,75°C.h/dia	GhDT = 121,75°C.h/dia	GhDT = 144,28°C.h/dia	GhDT = 147,16°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 138,07°C.h/dia = 12702,44°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 129,56°C.h/dia	GhDT = 129,56°C.h/dia	GhDT = 117,57°C.h/dia	GhDT = 138,07°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 103,96°C.h/dia = 9564,32°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 103,96°C.h/dia	GhDT = 103,96°C.h/dia	GhDT = 86,07°C.h/dia	GhDT = 91,85°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 139,77°C.h/dia = 12719,07°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.	13/dez. - 4°PAV.
GhDT = 109,39°C.h/dia	GhDT = 109,39°C.h/dia	GhDT = 120,67°C.h/dia	GhDT = 139,77°C.h/dia

2050			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 166,32°C.h/dia = 14968,80°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	26/jan. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 137,94°C.h/dia	GhDT = 166,32°C.h/dia	GhDT = 159,95°C.h/dia	GhDT = 162,73°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 157,26°C.h/dia = 14467,92°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 155,51°C.h/dia	GhDT = 154,77°C.h/dia	GhDT = 138,43°C.h/dia	GhDT = 157,26°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 136,35°C.h/dia = 12544,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	27/ago. - 4°PAV.
GhDT = 133,23°C.h/dia	GhDT = 136,35°C.h/dia	GhDT = 113,46°C.h/dia	GhDT = 124,25°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 157,96°C.h/dia = 14374,36°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
13/dez. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.
GhDT = 125,64°C.h/dia	GhDT = 152,43°C.h/dia	GhDT = 141,47°C.h/dia	GhDT = 157,96°C.h/dia

2080			
ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 90 dias x 202,58°C.h/dia = 18232,2°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.	27/dez. - 4°PAV.
GhDT = 176,38°C.h/dia	GhDT = 202,20°C.h/dia	GhDT = 198,69°C.h/dia	GhDT = 202,58°C.h/dia
ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 187,9°C.h/dia = 17286,8°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
04/abr. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	04/abr. - 4°PAV.	21/mar. - 4°PAV.
GhDT = 187,9°C.h/dia	GhDT = 185,16°C.h/dia	GhDT = 169,44°C.h/dia	GhDT = 180,85°C.h/dia
ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 92 dias x 175,18°C.h/dia = 16116,56°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.	25/jul. - 4°PAV.
GhDT = 172,24°C.h/dia	GhDT = 175,18°C.h/dia	GhDT = 151,96°C.h/dia	GhDT = 161,47°C.h/dia
ESTAÇÃO DO PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 91 dias x 201,76°C.h/dia = 18360,16°C.h/dia)			
NORTE	LESTE	SUL	OESTE
29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.	29/nov. - 4°PAV.
GhDT = 167,49°C.h/dia	GhDT = 196,21°C.h/dia	GhDT = 184,42°C.h/dia	GhDT = 201,76°C.h/dia