

**Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura**

Gabriela Sartori

**Avaliação do impacto da orientação solar no conforto e
desempenho térmico de projeto padrão de pré-escola do
Programa Proinfância nas zonas bioclimáticas brasileiras**

Porto Alegre
2019

GABRIELA SARTORI

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR NO
CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO DE PROJETO
PADRÃO DE PRÉ-ESCOLA DO PROGRAMA PROINFÂNCIA
NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia

Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
PhD. pela Universidade de Leeds
Orientador

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidade Politécnica da
Catalunha
Coorientador

Porto Alegre
2019

GABRIELA SARTORI

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR NO
CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO DE PROJETO
PADRÃO DE PRÉ-ESCOLA DO PROGRAMA PROINFÂNCIA
NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Construção, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2019.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
PhD pela Universidade de Leeds, Inglaterra
Orientador

Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidade Politécnica da
Catalunha, Espanha
Coorientador

Prof. Angela Borges Masuero
Coordenadora do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ana Carolina Badalotti Passuello (UFRGS)
Dr^a. pela Universidade Rovira i Virgili, Espanha

Prof. Eduardo Grala da Cunha (UFPEL)
Dr. pela UFRGS, Brasil

Prof. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dr^a. pela UFRGS, Brasil

A meus pais pelo amor e apoio incondicional,
sempre.

AGRADECIMENTOS

Ao fim da jornada percebemos quão valioso foi o apoio e a companhia de quem esteve ao nosso lado. Quero agradecer aos meus orientadores pela contribuição ao longo do trabalho. Ao professor Luiz Carlos por orientar esta dissertação. Ao professor Maurício pela disponibilidade e dedicação em lapidar o trabalho e por todo o conhecimento passado. Agradeço aos demais professores do NORIE, Ana Paula, Ana Carolina, Sattler, Formoso, Bonin, Angela, Luciani, Denise, Isatto que sempre estiveram disponíveis e ajudaram de alguma forma para o desenvolvimento da pesquisa ou ao longo do Mestrado. Grata também por ter tido a oportunidade de estudar em uma Universidade de excelência como a UFRGS.

Agradeço a banca que aceitou revisar este trabalho e aos professores da banca de qualificação que deram importantes contribuições, auxiliando na delimitação e ajudando a definir os rumos da dissertação.

Quero agradecer também ao pessoal do LABCEE da Faculdade de Arquitetura da UFPEL, professores Eduardo Grala da Cunha e Paulo Rheingantz, e demais pesquisadores do laboratório, que me receberam e estiveram disponíveis para ajudar durante a minha estadia em Pelotas, contribuindo de forma significativa para esta pesquisa.

Ao engenheiro Rudybert von Eye do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) que disponibilizou dados de implantação do Programa Proinfância no Brasil, contribuindo para o avanço dos estudos em relação ao Programa.

Agradeço a atenção dada pela funcionária da prefeitura de Maratá, Josiane Schumacher Gaelzer, que apresentou a pré-escola Tipo 2 existente no município, e disponibilizou informações que contribuíram para dar realismo às simulações computacionais realizadas.

Aos meus amigos do PPGCI que fizeram os dias dessa jornada muito mais alegres, Janaíne, Isadora, Deise, Débora, Natália, Roberta, Michele, Lúcia, Maíra, Michelle e vários outros amigos e colegas que agradeço por ter tido a oportunidade de conhecer e compartilhar momentos.

Aos demais amigos da minha vida, que sempre ajudaram dando apoio moral, principalmente às amigas Natali e Juliane, amigas que remontam de tempos longínquos, mas que acompanharam de perto a produção desta dissertação.

À minha família pelo amor e suporte inestimáveis e de tantas formas diferentes. Ao Fernando, por seu apoio e compreensão, e pelos conselhos sempre úteis ao longo do Mestrado. Aos meus pais, Marisa e Cesar, que sempre incentivaram os seus filhos a estudarem, e cujo apoio sempre foi a minha base para lançar-me a novos voos.

“Em algum lugar, alguma coisa incrível está esperando
para ser conhecida.”
(Carl Sagan)

RESUMO

SARTORI, G. **Avaliação do impacto da orientação solar no conforto e desempenho térmico de projeto padrão de pré-escola do Programa Proinfância nas zonas bioclimáticas brasileiras**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

O programa Proinfância do Governo Federal foi desenvolvido para ampliar vagas e garantir o acesso de crianças a creches e pré-escolas. Desde sua criação em 2007 até o ano de 2017, já haviam sido investidos mais de 5 bilhões de reais em mais de 5 mil pré-escolas concluídas ou em fase de construção em todos os estados brasileiros. Foram desenvolvidos projetos padrão de pré-escolas para serem implantados em qualquer região do território brasileiro. Por outro lado, o Brasil está dividido em 8 zonas bioclimáticas, cada qual com características singulares e que exigem diretrizes construtivas específicas. Dessa maneira, a ideia de um projeto padrão, não contempla a adoção de diferentes estratégias construtivas para diferentes zonas bioclimáticas. Assim, este estudo analisou a influência da orientação solar no conforto térmico dos usuários e no desempenho térmico da edificação proporcionado pelo projeto padrão Tipo 2 do Programa Proinfância em todas as zonas bioclimáticas brasileiras estabelecidas de acordo com a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Com o auxílio do software *EnergyPlus* foram realizadas simulações computacionais para avaliar as temperaturas resultantes nos ambientes de permanência prolongada da edificação apenas com ventilação natural. O desempenho térmico da edificação foi avaliado conforme a classificação da NBR 15.575 (ABNT, 2013), pois o Manual para o desenvolvimento dos edifícios escolares do Programa Proinfância exige o cumprimento de determinados níveis de desempenho térmico para inverno e verão estabelecidos nesta norma. O conforto térmico dos usuários foi avaliado pelo método do modelo adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013) desenvolvido para ambientes naturalmente ventilados. Através deste método foi possível obter o percentual de horas em conforto térmico da pré-escola em cada mês do ano. Com os resultados obtidos nas avaliações de conforto e desempenho térmico, foi possível fazer um comparativo entre as mesmas. Os parâmetros de avaliação da *Standard 55* parecem ser mais realistas do que aqueles adotados na norma brasileira de desempenho de edificações. A NBR 15.575 considera apenas influências climáticas externas, não utiliza as cargas térmicas internas e não apresenta exigências quanto às trocas térmicas da edificação com o solo, além de analisar somente os dias típicos de verão e inverno. Desta forma, espera-se que as temperaturas resultantes da análise de conforto térmico sejam mais realistas do que aquelas obtidas a partir da análise do desempenho térmico. Além disso, algumas temperaturas resultantes verificadas nos ambientes de permanência prolongada e aceitas pela classificação da ABNT NBR 15.575:2013, ficam fora da zona de conforto definida para cada zona bioclimática. O impacto da orientação solar foi avaliado simulando o modelo do projeto padrão orientado para leste, oeste, norte e sul. Os resultados de conforto térmico se mostraram mais sensíveis à orientação solar da edificação que os resultados de desempenho térmico. Os resultados de desempenho térmico tiveram poucas variações nas classificações e apontam resultados qualitativos, enquanto os resultados de conforto térmico apresentam variações quantitativas, gerando indicações e recomendações de implantação mais claras quanto à orientação solar.

Palavras-chave: Programa Proinfância. Conforto térmico. Desempenho térmico. Orientação solar.

ABSTRACT

Sartori, G. **Evaluation of the impact of solar orientation in the thermal comfort and thermal performance in a Proinfância Program preschool standard project in Brazilian bioclimatic zones.** 2019. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Federal Brazilian Government's Proinfância Program was developed to ensure children's access to kindergartens and preschools. More than 5 thousand preschool standard buildings were built since its creation in 2007 all over the country. Preschool standard projects were developed to be implemented in any region of the Brazilian territory. On the other hand, Brazil is divided into 8 bioclimatic zones, each one with unique characteristics that require specific building guidelines. The idea of a standard design is against the idea of adopting different building strategies for different bioclimatic zones. Thus, this study analyzed the solar orientation influence in the user's thermal comfort and building thermal performance provided by the Type 2 Proinfância Program standard design in all Brazilian bioclimatic zones established according to ABNT NBR 15.220-3:2005. Using EnergyPlus software, computer simulations were performed to evaluate the resulting temperatures in the longstanding rooms with natural ventilation only. The building thermal performance was evaluated according to the classification of ABNT NBR 15.575:2013, since the Manual for the development of the Proinfância School buildings requires the fulfillment of certain winter and summer performance levels established in the Brazilian standard. The user's thermal comfort was evaluated by the ASHRAE Standard 55-2013 adaptive model developed for naturally ventilated spaces. Through this method it was possible to obtain the percentage of occupied hours in comfort in each month of the year. The results obtained from the evaluation of thermal comfort and thermal performance according to the two normative methods suggest a comparison between them. ASHRAE Standard 55 evaluation parameters appear to be more realistic than those adopted by the Brazilian performance standard, since NBR 15.575 considers only external climatic conditions, not considering internal thermal loads, nor the thermal exchange between the building and the exterior ground, and analyzes summer and winter design days only. Thus, the temperatures resulting from the thermal comfort analysis are expected to be more realistic than those obtained from the thermal performance analysis. Besides that, some resulting temperatures verified in longstanding rooms and accepted by the ABNT NBR 15.575:2013 classification are outside the comfort zone defined for each bioclimatic zone. The impact of solar orientation was evaluated by simulating the standard project model oriented to east, west, north and south. Thermal comfort results were more sensitive to the solar orientation of the building than thermal performance results. The thermal performance results had few variations in the classifications and indicate qualitative results, while the thermal comfort results have quantitative variations, generating clearer indications and recommendations for the building implantation in relation to solar orientation.

Keywords: Proinfância Program. Thermal comfort. Thermal performance. Solar orientation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carta Bioclimática de Givoni adaptada para o Brasil	27
Figura 2. Envoltória.....	28
Figura 3. Orientação solar simplificada a ser adotada.....	31
Figura 4. Principais trocas térmicas entre o homem e a edificação.....	33
Figura 5. Gráfico das zonas de conforto para o método gráfico.....	37
Figura 6. Limites de temperaturas operativas de conforto térmico	39
Figura 7. Zoneamento bioclimático brasileiro.....	44
Figura 8. Delineamento da pesquisa.....	55
Figura 9 e 10. Fachada frontal e fachada lateral do projeto padrão Tipo 2	56
Figura 11. Planta baixa do projeto padrão Tipo 2	57
Figura 12. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Curitiba.....	60
Figura 13. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Santa Maria	61
Figura 14. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Porto Alegre	61
Figura 15. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Brasília	62
Figura 16. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Niterói	63
Figura 17. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Goiânia	63
Figura 18. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Teresina	64
Figura 19. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Rio de Janeiro.....	65
Figura 20. Fase 1 da pesquisa.....	67
Figura 21. Modelo do projeto padrão Tipo 2	68
Figura 22. Acesso principal orientado para leste.....	72
Figura 23. Orientações de acordo com a entrada da pré-escola	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Administração: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto	78
Gráfico 2. Pré-escola 2: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto	78
Gráfico 3. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	79
Gráfico 4. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico....	79
Gráfico 5. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	82
Gráfico 6. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	82
Gráfico 7. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	83
Gráfico 8. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico....	83
Gráfico 9. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	86
Gráfico 10. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	86
Gráfico 11. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	87
Gráfico 12. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico..	87
Gráfico 13. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	90
Gráfico 14. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	90
Gráfico 15. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	91
Gráfico 16. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico..	91
Gráfico 17. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	94
Gráfico 18. Pré-escola: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto.....	94
Gráfico 19. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	95
Gráfico 20. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico..	95
Gráfico 21. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	97
Gráfico 22. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	98
Gráfico 23. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	98
Gráfico 24. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico..	99
Gráfico 25. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	101
Gráfico 26. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	101
Gráfico 27. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	102

Gráfico 28. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	102
Gráfico 29. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	104
Gráfico 30. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto	105
Gráfico 31. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	105
Gráfico 32. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico	106
Gráfico 33. Médias ponderadas dos POCs anuais da pré-escola em cada ZB	107
Gráficos 34 e 35. Médias ponderadas dos POCs de inverno e verão da pré-escola em cada ZB	108
Gráfico 36. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	117
Gráfico 37. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	119
Gráfico 38. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	121
Gráfico 39. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	123
Gráfico 40. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	125
Gráfico 41. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	126
Gráfico 42. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	127
Gráfico 43. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal	129
Gráfico 44. Diferença de HOC entre o melhor e pior resultado de cada ZB.....	131
Gráfico 45. Médias das HOC das orientações em cada ZB.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de projetos padrão do Programa Proinfância.....	19
Tabela 2. Escala sétima de sensações térmicas	36
Tabela 3. Aplicabilidade dos métodos gerais da ASHRAE Standard 55	37
Tabela 4. Transmitância Térmica U (W/m ² .K)	45
Tabela 5. Capacidade térmica CT (kJ/m ² .K)	45
Tabela 6. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	46
Tabela 7. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	46
Tabela 8. Transmitância Térmica e Capacidade Térmica calculadas.....	69
Tabela 9. Propriedades térmicas e características dos materiais utilizados.....	70
Tabela 10. Parâmetros de simulação adotados para cada uma das análises	73
Tabela 11. Número de ocupantes e carga térmica por ambiente	74
Tabela 12. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 1 - Inverno.....	76
Tabela 13. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 1 - Verão	76
Tabela 14. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 1	77
Tabela 15. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 2 - Inverno.....	80
Tabela 16. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 2 - Verão	80
Tabela 17. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 2.....	81
Tabela 18. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 3 - Inverno.....	84
Tabela 19. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 3 - Verão	84
Tabela 20. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 3.....	85
Tabela 21. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 4 - Inverno.....	88
Tabela 22. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 4 - Verão	88
Tabela 23. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 4.....	89

Tabela 24. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 5 - Inverno.....	92
Tabela 25. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 5 - Verão	92
Tabela 26. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 5.....	93
Tabela 27. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 6 - Verão	96
Tabela 28. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 6.....	96
Tabela 29. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 7 - Verão	99
Tabela 30. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 7...	100
Tabela 31. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 8 - Verão	103
Tabela 32. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 8...	103
Tabela 33. Classificação de desempenho térmico para inverno.....	106
Tabela 34. Adaptações adotadas e recomendadas para avaliação térmica de projetos padrão	110
Tabela 35. Recomendações para desempenho e conforto térmico adequado para projetos padrão do Proinfância.....	111
Tabela 36. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 1 - Inverno	115
Tabela 37. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 1 - Verão.....	116
Tabela 38. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 2 - Inverno	117
Tabela 39. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 2 - Verão.....	118
Tabela 40. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 3 - Inverno	119
Tabela 41. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 3 - Verão.....	120
Tabela 42. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 4 - Inverno	121
Tabela 43. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 4 - Verão.....	122
Tabela 44. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 5 - Inverno	123
Tabela 45. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 5 - Verão.....	124
Tabela 46. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 6 - Verão.....	125
Tabela 47. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 7 - Verão.....	126
Tabela 48. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 8 - Verão.....	128
Tabela 49. Classificação de desempenho térmico para inverno em todas as ZBs.....	130
Tabela 50. Classificação de desempenho térmico para verão em todas as ZBs.....	130

Tabela 51. Recomendações de orientações solares para implantação do projeto padrão Tipo 2 em cada ZB.....	137
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers

BEN: Balanço Energético Nacional

COEDI: Coordenação Geral de Educação Infantil

DOE: Department of Energy

FNDE: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

ENCE: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

HOC: Horas Ocupadas em Conforto

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IWEC: International Weather for Energy Calculations

ISSO: International Organization for Standardization

LABCEE: Laboratório de Conforto e Eficiência Energética

LABEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NBR: Norma Técnica Brasileira

PBE: Programa Brasileiro de Etiquetagem

PDE: Programa de Desenvolvimento Educacional

PMV: Predicted Mean Vote

POC: Percentual de horas Ocupadas em Conforto

PPD: Predicted percentage dissatisfied

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROINFÂNCIA: Programa Nacional de Reestruturação e Aparentagem da Rede Escolar Pública de Educação Infantil

RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

SWERA: Solar and Wind Energy Resource Assessment

TMY: Typical Meteorological Year

TRY: Test Reference Year

ZB: Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	22
1.3	DELIMITAÇÕES	23
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	MEIO AMBIENTE: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CONSUMO ENERGÉTICO	25
2.2	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	26
2.2.1	Clima	26
2.2.2	Envoltória	27
2.2.3	Sombreamento.....	29
2.2.4	Orientação solar	30
2.2.5	Ventilação natural.....	31
2.3	CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO.....	32
2.3.1	Conforto Térmico.....	32
2.3.2	Conforto Térmico em ambiente escolar	34
2.3.3	Avaliação do conforto térmico	35
2.3.3.1	ISO 7730:2005 - <i>Ergonomics of the thermal environmental</i>	35
2.3.3.2	ASHRAE Standard 55:2013 - <i>Thermal environmental conditions for human occupancy</i>	36
2.3.3.3	Abordagem Adaptativa	39
2.3.3.4	Avaliação do conforto térmico em projetos padrão do Programa Proinfância.....	41
2.3.4	Avaliação do desempenho térmico	43
2.3.4.1	ABNT NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações	44
2.3.4.2	ABNT NBR 15.575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho	45
2.3.4.3	Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III).....	48
2.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	49
2.4.1	Avaliação da Eficiência Energética	50
2.4.1.1	RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.....	50

2.4.2	Simulações termoenergéticas	51
2.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO	52
3	MÉTODO.....	53
3.1	DEFINIÇÃO DO MÉTODO	53
3.2	OBJETO DE ESTUDO.....	55
3.3	CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA	59
3.3.1	Zona bioclimática 1	59
3.3.2	Zona bioclimática 2	60
3.3.3	Zona bioclimática 3	61
3.3.4	Zona bioclimática 4	62
3.3.5	Zona bioclimática 5	62
3.3.6	Zona bioclimática 6	63
3.3.7	Zona bioclimática 7	64
3.3.8	Zona bioclimática 8	64
4	FASE 1 – ANÁLISE DO CONFORTO E DO DESEMPENHO	
	TÉRMICO	66
4.1	MÉTODOS DE ANÁLISE.....	66
4.2	MODELAGEM DO OBJETO DE ESTUDO	67
4.3	PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DO	
	DESEMPENHO TÉRMICO	68
4.3.1	Arquivo climático	68
4.3.2	Materiais	69
4.3.3	Temperatura do solo	71
4.3.4	Cargas térmicas e horários de funcionamento	71
4.3.5	Renovação de ar	72
4.3.6	Orientação Solar	72
4.4	PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DO CONFORTO	
	TÉRMICO	72
4.4.1	Cargas térmicas e horários de funcionamento	73
4.4.2	Ventilação natural.....	74
4.5	RESULTADOS	75
4.5.1	Zona bioclimática 1	75
4.5.1.1	Análise do desempenho térmico	75

4.5.1.2	Análise do conforto térmico	76
4.5.2	Zona bioclimática 2	79
4.5.2.1	Análise do desempenho térmico	80
4.5.2.2	Análise do conforto térmico	81
4.5.3	Zona bioclimática 3	83
4.5.3.1	Análise do desempenho térmico	84
4.5.3.2	Análise do conforto térmico	85
4.5.4	Zona bioclimática 4	87
4.5.4.1	Análise do desempenho térmico	88
4.5.4.2	Análise do conforto térmico	89
4.5.5	Zona bioclimática 5	91
4.5.5.1	Análise do desempenho térmico	92
4.5.5.2	Análise do conforto térmico	93
4.5.6	Zona bioclimática 6	95
4.5.6.1	Análise do desempenho térmico	96
4.5.6.2	Análise do conforto térmico	96
4.5.7	Zona bioclimática 7	99
4.5.7.1	Análise do desempenho térmico	99
4.5.7.2	Análise do conforto térmico	100
4.5.8	Zona bioclimática 8	102
4.5.8.1	Análise do desempenho térmico	102
4.5.8.2	Análise do conforto térmico	103
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	106
5	FASE 2 – ANÁLISE DO IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR..	113
5.1	MÉTODOS DE ANÁLISE.....	113
5.2	MODELAGEM E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	114
5.3	RESULTADOS.....	115
5.3.1	Zona bioclimática 1	115
5.3.1.1	Análise do desempenho térmico	115
5.3.1.2	Análise do conforto térmico	116
5.3.2	Zona bioclimática 2	117
5.3.2.1	Análise do desempenho térmico	117
5.3.2.2	Análise do conforto térmico	118
5.3.3	Zona bioclimática 3	119
5.3.3.1	Análise do desempenho térmico	119
5.3.3.2	Análise do conforto térmico	120

5.3.4 Zona bioclimática 4	121
5.3.4.1 Análise do desempenho térmico	121
5.3.4.2 Análise do conforto térmico	122
5.3.5 Zona bioclimática 5	123
5.3.5.1 Análise do desempenho térmico	123
5.3.5.2 Análise do conforto térmico	124
5.3.6 Zona bioclimática 6	125
5.3.6.1 Análise do desempenho térmico	125
5.3.6.2 Análise do conforto térmico	126
5.3.7 Zona bioclimática 7	126
5.3.7.1 Análise do desempenho térmico	126
5.3.7.2 Análise do conforto térmico	127
5.3.8 Zona bioclimática 8	127
5.3.8.1 Análise do desempenho térmico	127
5.3.8.2 Análise do conforto térmico	128
5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	129
5.4.1 Discussão com outros autores	133
5.4.2 Impacto da orientação solar e recomendações de implantação do projeto padrão 136	
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	140
REFERÊNCIAS	141
APÊNDICE A – Memorial de cálculo	148
APÊNDICE B – Gráficos Zona Bioclimática 1	153
APÊNDICE C – Gráficos Zona Bioclimática 2	156
APÊNDICE D – Gráficos Zona Bioclimática 3	159
APÊNDICE E – Gráficos Zona Bioclimática 4	162
APÊNDICE F – Gráficos Zona Bioclimática 5	165
APÊNDICE G – Gráficos Zona Bioclimática 6	168
APÊNDICE H – Gráficos Zona Bioclimática 7	171
APÊNDICE I – Gráficos Zona Bioclimática 8	174

1 INTRODUÇÃO

Existem vários condicionantes na elaboração de um projeto arquitetônico de uma edificação. As condições naturais do entorno e a caracterização do clima local onde o edifício será inserido por exemplo, são fatores relevantes a serem considerados por arquitetos e outros projetistas no momento da concepção do projeto. Com o avanço de novas tecnologias e o uso da eletricidade, aspectos relevantes relacionados às características climáticas foram sendo deixados de lado no desenvolvimento projetual. Lamberts et al. (2014) comentam que o amplo uso de sistemas artificiais, tanto para iluminação quanto para climatização, deu ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima.

Nas últimas décadas do século XX, o termo sustentabilidade vem sendo colocado cada vez mais em pauta. Uma das primeiras definições do termo, afirma que sustentabilidade é atender às necessidades do presente, sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras (BRUNDTLAND et al., 1987). A partir da década de 1960, na área da arquitetura surgiram conceitos como arquitetura sustentável, arquitetura bioclimática que possuem como fundamentos minimizar os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil, desde o canteiro de obras passando pelo uso da edificação até sua deposição final. Passa a haver uma conscientização de que projetistas devem levar em conta condicionantes climáticos e o ciclo de vida da edificação para o processo de concepção projetual. O objetivo destas preocupações é obter conforto térmico no ambiente construído, edifícios energeticamente mais eficientes e diminuir impactos ambientais relacionados à construção civil e o uso das edificações.

De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), as edificações e as atividades desenvolvidas dentro delas são as responsáveis por uma significativa parte das emissões de gases de efeito estufa, mas elas também são a chave para estratégias de mitigação de impactos ambientais. A crise mundial de energia da década de 1970 foi um dos estímulos para que arquitetos começassem a pensar em edifícios a partir de uma nova perspectiva, mudando a compreensão de sustentabilidade e de edifícios sustentáveis (GALAFASSI, 2012). Havia uma grande preocupação para o fato de ser uma crise energética de âmbito mundial e para o impacto ambiental gerado pelo consumo da energia de base fóssil. Além disso, a

demanda por recursos de todos os tipos também era preocupante devido às previsões e alertas a respeito do crescimento da população mundial e o inevitável crescimento das cidades (GONÇALVES; DUARTE, 2006). A crise levou a uma conscientização em países europeus e Estados Unidos, que começaram a desenvolver políticas públicas para o incentivo à eficiência energética. De acordo com Dixon et al. (2010), os Estados Unidos formularam suas primeiras normas relacionadas ao assunto ainda na década de 70.

Pesquisadores (ADALBERTH, 1997); (SHARMA et al., 2010); (CABEZA et al., 2014) apontam que grande parte da energia consumida por edifícios é na fase de uso da edificação. Desta energia consumida, uma parcela significativa é utilizada com climatização e iluminação para garantir conforto aos usuários (ZOMORODIAN et al., 2016). Esse consumo pode ser reduzido com a adição de estratégias arquitetônicas definidas ainda em fase de projeto. Soluções passivas para atingir conforto ambiental fazem parte dos fundamentos da arquitetura bioclimática, que nada mais é que um retorno a concepção projetual sem o uso de soluções ativas (sistemas artificiais) para obter conforto, como era feito antes da revolução industrial e o avanço de tecnologias.

A partir da década de 60 foram desenvolvidos estudos relacionando a bioclimatologia à arquitetura (OLGYAY, 1963); (GIVONI, 1992). Estes estudos buscavam avaliar as melhores estratégias arquitetônicas visando o conforto no ambiente construído considerando as condições climáticas locais. Lamberts et al. (2014) afirma que mesmo após o entendimento do clima, dos conceitos de conforto térmico e das estratégias de projeto é necessário entender como estes fatores influenciam na arquitetura. Este entendimento pode auxiliar projetistas nas tomadas de decisões ainda em fase de projeto, adicionando estratégias passivas à edificação que contribuam para que o edifício atinja conforto ambiental e conseqüentemente eficiência energética, minimizando impactos relacionados ao uso exagerado de sistemas artificiais de climatização e iluminação. Cabe aos profissionais responsáveis pelo projeto e construção ponderarem o uso correto de ambas estratégias, naturais e artificiais, para atingir edificações mais sustentáveis, visto que essas visam balancear o que é retirado e o que é devolvido ao ambiente (CARLO, 2008).

Diferentes regiões bioclimáticas exigem diferentes estratégias construtivas para obtenção de conforto ambiental. Porém, não é raro vermos no setor público a utilização de projetos padronizados com o objetivo de viabilizar economicamente a construção, barateando os custos

com projetos e reduzindo o tempo com licitação e obra. Kowaltowski (2011) aponta que diversas instituições públicas como escolas, hospitais e creches, com o objetivo de atender a programas de necessidades e atividades estabelecidas pelos órgãos responsáveis, frequentemente adotam um projeto padrão. No caso do Brasil, que possui uma grande extensão territorial e oito zonas bioclimáticas distintas, cada qual com a sua necessidade, um projeto padrão pode não ser a solução mais adequada, visto que pode acarretar em baixos índices de desempenho da edificação, comprometendo o conforto ambiental dos usuários.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Após a Constituição Federal do Brasil de 1988, a educação infantil de crianças de 0 a 5 anos passou a ser um direito da criança e um dever do Estado. Os municípios passaram a ter responsabilidade para promover o acesso público à educação infantil que é a primeira etapa da educação básica de acordo com o Plano Nacional de Educação 2001-2010 (PNE) – Lei n.º 10.172/2001. A implementação do PNE em 2001 previu a ampliação da oferta da educação infantil de forma a atender, em cinco anos, a 30% da população de até 3 anos de idade e 60% da população de 4 e 6 anos e, até o final da década (2010), alcançar a meta de 50% das crianças de 0 a 3 anos e 80% das de 4 e 5 anos (BRASIL, Lei n.º 10.172/2001). Porém, com base em pesquisas com dados estatísticos sobre o atendimento à demanda por educação infantil, Flores e Albuquerque (2015) afirmam que o Brasil ainda não garantiu oferta suficiente de vagas públicas para suprir a demanda conforme metas previstas no Plano Nacional de Educação 2001-2010 (PNE) – Lei n.º 10.172/2001.

Para corrigir o déficit de vagas para crianças em creches e pré-escolas, em 2007, o Governo Federal instituiu o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância). O Programa foi uma das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) do Ministério da Educação, e tem como objetivo prestar assistência financeira, ao Distrito Federal e aos municípios (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, FNDE [201-?]). O programa surgiu visando melhorias na infraestrutura escolar infantil brasileira com a construção de edificações escolares e aquisição de equipamentos e mobiliário para garantir o acesso de crianças a creches e pré-escolas públicas.

A construção de creches e pré-escolas, por meio de assistência técnica e financeira do FNDE, pode ser através de projetos padronizados que são fornecidos pelo FNDE ou projetos próprios elaborados pelos proponentes. Os projetos padrão foram desenvolvidos com a intenção de facilitar o processo de assistência financeira pelo Fundo aos municípios, e podem ser do Tipo B, C, 1 ou 2. As características dos diferentes tipos de projetos padrão são apresentados na Tabela 1, sendo que o Tipo A não possui limite de capacidade de alunos, nem dimensões mínimas exigidas para o terreno.

Tabela 1. Tipos de projetos padrão do Programa Proinfância

Tipo	Capacidade em dois turnos (alunos)	Área (m²)	Área mínima do terreno (m)	Localização
B	224	991,05	40x70	Urbana
C	120	668,30	45x35	Urbana/rural
1	376	1317,99	40x60	Urbana
2	188	775,85	45x35	Urbana/rural

Fonte: elaborada pela autora (2018)

De acordo com dados fornecidos pelo FNDE, mais de 5.600 pré-escolas de todas as tipologias já haviam sido construídas ou estavam em fase de construção desde o início do programa até o ano de 2018. Apesar de que o Programa é uma grande estratégia da União para o acréscimo de vagas em pré-escolas públicas (COELHO, in FLORES; ALBUQUERQUE, 2015), projetos padrão em um país de dimensões continentais e com a diversidade climática e sociocultural como o Brasil, podem envolver muitos problemas (PEGLOW et al., 2016). No relatório de auditoria do Tribunal de Contas da União (TCU) de 2012, o TCU indica inadequações resultantes do uso de projetos padrão:

Os projetos padrão utilizados para a construção das unidades do Proinfância em funcionamento não contemplaram adequadamente as diversidades regionais, em especial, no que tange aos condicionantes físico-ambientais, concernentes ao clima, inclusive quanto à adequação dos mobiliários e equipamentos. Essa inadequação provocou o subaproveitamento dos espaços disponibilizados e o desperdício de recursos pela não utilização de áreas construídas. (BRASIL, 2012, p. 9-10)

O relatório também propõe que seja desenvolvido um conjunto de opções para os projetos padrão de forma a torná-los adaptáveis às diversidades regionais. Assim, os projetos padrão Tipo B e C foram substituídos pelos de Tipo 1 e 2 a partir de 2014.

De acordo com critérios da NBR 15.220-3 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005c), o Brasil pode ser dividido em 8 zonas bioclimáticas. Cada qual possui características climáticas específicas e distintas entre si. No caso de projetos padronizados do Proinfância, estes podem ser replicados em qualquer local do território brasileiro onde as prefeituras estejam interessadas em implantar a pré-escola de educação infantil e que cumpram com os pré-requisitos estabelecidos pelo FNDE. Assim, o projeto padrão não leva em consideração condicionantes importantes para a concepção projetual, como variações climáticas e condições externas como terreno, orientação solar, vegetação. O projeto também deixa de incorporar estratégias arquitetônicas apropriadas a cada zona bioclimática que promoveriam economia de recursos energéticos ao longo da vida útil da edificação, bem como proporcionariam um melhor desempenho térmico garantindo maior tempo de conforto tanto no período de inverno quanto no de verão. A especificação de componentes construtivos adequados a cada realidade climática deve ser preferencialmente resolvida na elaboração do partido arquitetônico da edificação (NICOLETTI, 2009), porém, para isto são necessários estudos de implantação e pesquisas que comprovem a pertinência dos sistemas e técnicas construtivas para afirmar qual é o mais indicado para cada local em termos de conforto térmico e consumo de energia.

Kowaltowski (2011) afirma que para projetos padrão não desencadearem a proliferação de falhas, devem ocorrer correções no processo de repetição e avaliações pós-ocupação comprometidas e responsáveis, garantindo implantações futuras com índices de satisfação e qualidade cada vez maiores. O que é observado no sistema atual de projetos padrão do Programa Proinfância é que a concepção do projeto não envolve a comunidade educacional em um processo participativo. Rheingantz et al. (2017) alegam que ao invés de priorizar as crianças, as práticas pedagógicas e as relações que são produzidas em seus ambientes, a concepção “tradicional” de arquitetura para a educação infantil prioriza as políticas públicas, respondendo às metas e objetivos do Proinfância, com projetos padrão concebidos como pacotes fechados, desprezando as diferenças contextuais e os valores culturais das comunidades.

Uma das questões mais importantes e ignoradas no uso de projetos padrão é a implantação. A orientação solar e os ventos dominantes são peculiares a cada situação e demandam ajustes para a proteção solar das aberturas, sem prejuízo à captação de ventos desejáveis. Além disso, o

formato do lote, a topografia, e as condições geológicas nunca são iguais (KOWALTOWSKI, 2011). É de extrema importância conhecer as variáveis climáticas para a implantação do projeto, visto que, através da edificação, é possível tirar partido ou evitar os efeitos destas variáveis de forma a obter um ambiente interior com determinadas condições de conforto para os usuários (LAMBERTS et al., 2014). De acordo com Olgyay (1963), a energia e a saúde do homem dependem amplamente dos efeitos diretos do ambiente, tanto que é comum achar que em alguns dias as condições atmosféricas estimulam e revigoram nossas atividades, enquanto em outros momentos, elas abatem o esforço físico e mental. Xu et al. (2012) afirmam que no caso de crianças, as condições climáticas podem influenciar ainda mais, pois devido às características fisiológicas, metabólicas e comportamentais, elas são mais sensíveis ao desconforto térmico. A alta densidade de pessoas, em ambientes como salas de aula, pode prejudicar a qualidade do ar e influenciar no desconforto térmico, levando a situações perigosas para a saúde, intensificadas no caso de crianças por possuírem hipersensibilidade a temperaturas mais altas e mais baixas (ZOMORODIAN et al., 2016). Porém dentro de certos limites de temperaturas, o conforto térmico pode ser mantido por respostas apropriadas de termorregulação, de forma que atividades físicas e mentais possam ser exercidas sem qualquer prejuízo à saúde (XU et al., 2012).

Trabalhos relacionando ambiente escolar e conforto térmico são pouco desenvolvidos na gestão pública. Cabe à área acadêmica desenvolver estudos científicos neste campo, visando fornecer material informativo que justifique escolhas construtivas de arquitetos, engenheiros e gestores públicos. Faz-se necessário um aprofundamento das análises térmicas em ambientes escolares para a produção de critérios para a tomada de decisões arquitetônicas.

Com o intuito de qualificar o ambiente escolar do programa Proinfância, considerando as potencialidades e as necessidades das crianças que estão iniciando sua trajetória na Pré-Educação, o presente trabalho tem como proposta avaliar o desempenho e o conforto térmico do projeto padrão Tipo 2 de pré-escola do programa Proinfância. O objetivo desta avaliação é o desenvolvimento de recomendações para a definição da orientação solar mais adequada para a implantação do edifício em cada zona bioclimática brasileira, tomando como referência os níveis de desempenho e conforto térmico resultantes de cada orientação solar adotada. Levando em consideração que o Manual do Programa Proinfância não possui muitas opções de adequações construtivas para se obter um nível adequado de conforto térmico nas diferentes zonas bioclimáticas, optou-se por realizar um estudo para averiguar como a orientação solar

pode influenciar no conforto térmico dos usuários. Partiu-se da hipótese que muitas vezes não há uma preocupação dos órgãos públicos quanto à implantação do projeto padrão da pré-escola, resultando em níveis inadequados de conforto térmico em uma tipologia que atende função tão nobre como a educação infantil. Os dados a serem levantados com a presente pesquisa, especialmente quanto às simulações realizadas em ambientes escolares, contribuirão para o avanço do conhecimento no campo de conforto térmico em edificações escolares. Além disso, como cada região brasileira necessita de soluções construtivas específicas são necessários estudos específicos para cada zona bioclimática brasileira. O projeto padrão Tipo 2 foi escolhido como objeto de estudo da pesquisa por ter tido ampla implantação em todo o país. De acordo com dados fornecidos pelo FNDE, desde 2015 até 2018, mais de 600 pré-escolas Tipo 2 já haviam sido construídas ou estavam em fase de construção em 25 estados do Brasil.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral da pesquisa:

Avaliar o impacto da orientação solar do projeto padrão Tipo 2 do Programa Proinfância no conforto térmico dos usuários e no desempenho térmico da edificação nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras.

Objetivos específicos da pesquisa:

- Identificar o nível de desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 para as 8 zonas bioclimáticas, segundo a ABNT NBR 15.575:2013;
- Identificar o nível de conforto térmico do projeto padrão Tipo 2 para as 8 zonas bioclimáticas, segundo o método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013;
- Analisar as relações entre os níveis de desempenho térmico e conforto térmico do objeto de estudo para as 8 zonas bioclimáticas brasileiras;
- Identificar os níveis de desempenho térmico e de conforto térmico para a implantação do projeto padrão Tipo 2 do Programa Proinfância nas orientações norte, sul, leste e oeste, nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras;

- Elaborar uma matriz de recomendações para a avaliação térmica dos projetos padrão do Programa Proinfância que auxiliem na busca de níveis de conforto térmico adequados;
- Construir uma matriz de recomendações para a implantação do Projeto Padrão Tipo 2 do Programa Proinfância baseada nos resultados de conforto térmico e de desempenho térmico para cada orientação solar e zona bioclimática.

1.3 DELIMITAÇÕES

Para definir o escopo da dissertação foi necessário colocar algumas delimitações ao estudo. O presente trabalho avalia o projeto padrão Tipo 2 do Programa Proinfância, não sendo, portanto, os resultados encontrados aplicáveis a outros projetos padrão do Programa.

Na avaliação do impacto da orientação solar a planta do projeto padrão é rotacionada modificando a implantação da edificação para que sejam avaliadas diferentes orientações solares. Porém, isto não implica em qualquer outra modificação no projeto arquitetônico.

Nas simulações computacionais foram utilizados os dados climáticos de apenas uma cidade, escolhida como representativa, para cada uma das 8 zonas bioclimáticas brasileiras. Dessa maneira, a extrapolação dos resultados para outras cidades dentro da mesma zona bioclimática é apenas indicativa, devendo ser feita com cautela.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação será organizada em 6 capítulos descritos a seguir:

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema tendo o objetivo de contextualizar os assuntos relevantes sobre conforto e desempenho térmico, sustentabilidade em edificações e apresentar o problema para o qual a pesquisa está buscando uma solução. Este capítulo também traz os objetivos da pesquisa, delimitações e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo é uma revisão bibliográfica trazendo assuntos relevantes a serem abordados e que justifiquem as escolhas metodológicas da dissertação. Foi feita uma abordagem sobre meio ambiente e os impactos ambientais causados pelas edificações, arquitetura bioclimática, conforto e desempenho térmico, eficiência energética e as normativas de avaliação destes conceitos.

O terceiro capítulo explica o método geral adotado com as duas fases do programa experimental a ser utilizado na pesquisa, e o método para cada uma das avaliações: de conforto e de desempenho térmico. Também apresenta a caracterização do objeto de estudo e de cada uma das 8 regiões bioclimáticas brasileiras analisadas neste estudo.

O quarto capítulo apresenta a Fase 1 do programa experimental. Esta Fase contempla a análise do conforto e desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 com o intuito de apresentar uma análise e reflexão sobre o modo de avaliação térmica do projeto padrão do Programa Proinfância. O capítulo apresenta o método utilizado nesta Fase e os procedimentos necessários para a avaliação do conforto térmico do usuário e do desempenho térmico da edificação nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras. A análise dos resultados encontrados faz um comparativo entre a normativa nacional e a internacional, confrontando níveis de conforto e desempenho térmico encontrados.

O quinto capítulo apresenta a Fase 2 do programa experimental. Esta Fase traz a análise do conforto e desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 em relação a orientação solar com o intuito de apresentar o impacto desta em cada zona bioclimática. O capítulo apresenta o método e os procedimentos adotados para a avaliação do impacto da orientação solar. Os resultados das análises através de simulações computacionais apresentam recomendações de implantação do projeto padrão Tipo 2 em cada zona bioclimática.

O sexto capítulo apresenta as considerações finais e conclusões da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MEIO AMBIENTE: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CONSUMO ENERGÉTICO

De acordo com o United Nations Environment Programme (UNEP), a energia impulsiona as economias e sustenta as sociedades, porém também é possível afirmar que a produção e o uso de energia são os maiores contribuintes para as mudanças climáticas. Conforme o relatório sobre mudanças climáticas do IPCC de 2014, as atividades desenvolvidas pelo homem possuem grande influência no clima mundial e as emissões antropogênicas de gases do efeito estufa são as mais altas da história. Dados da UNEP demonstram que as cidades do mundo ocupam apenas 3% da superfície terrestre, mas respondem por 60 a 80% do consumo de energia e por 75% das emissões de carbono. Grande parte deste consumo é por parte de edificações: em 2010, as edificações responderam por 32% do consumo total global de energia segundo relatório de mitigação das mudanças climáticas do IPCC (2014).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, [201-?]), aponta que o setor da construção civil e o uso das edificações tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. Apesar de ser um setor altamente poluente, também possui um grande potencial para mitigação de impactos ambientais. Os edifícios consomem energia, direta ou indiretamente, em todas as fases do seu ciclo de vida (SARTORI; HESTNES, 2007). Desde a manufatura dos produtos que serão utilizados na construção, passando pelo canteiro de obras, uso da edificação e deposição final, todas estas etapas consomem energia. O ciclo de vida energético total de um edifício está dividido em energia incorporada e energia operacional. Diversos estudos disponíveis na literatura apontam que o maior consumo de energia se dá na fase de uso e operação da edificação. Apesar de todas as fases do ciclo de vida terem aspectos ambientais significativos, a fase operacional possui o maior percentual (80-85%) de consumo de energia no ciclo de vida de um edifício (SHARMA et al., 2010). Deste consumo de energia operacional, de acordo com o Procel ([201-?]), cerca de 70% do consumo da energia elétrica em prédios públicos se deve aos sistemas de iluminação e climatização. Como a energia operacional dos edifícios tem maior participação na distribuição de energia do ciclo de vida, reduzi-la parece ser o ponto mais importante para projetos de edifícios que demandem menos energia ao longo de seu ciclo de vida (CABEZA et al., 2014) e, portanto, que sejam energeticamente mais eficientes.

2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

O termo arquitetura bioclimática surgiu na década de 1960, quando conhecimentos da Bioclimatologia começaram a ser relacionados com a arquitetura por pesquisadores que estudavam estratégias bioclimáticas para projetos arquitetônicos. Nessa época, os irmãos Olgyay (OLGYAY, 1963) foram os pioneiros a publicarem pesquisas que dissertam sobre a relação do clima com o conforto dos seres vivos, para compreender como o clima pode afetar as atividades humanas. Segundo Olgyay (1963), a energia e a saúde do homem dependem amplamente dos efeitos diretos do ambiente. Também afirma que em regiões onde muito calor ou muito frio prevalecem, a energia do ser vivo é diminuída pelo esforço biológico de adaptação às condições extremas (OLGYAY, 1963).

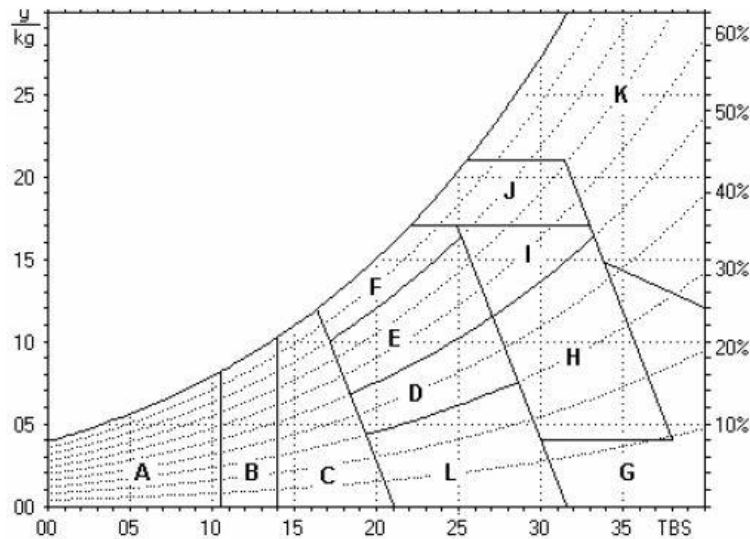
2.2.1 Clima

A carta bioclimática desenvolvida por Olgyay (1963) propõe estratégias de arquitetura para diferentes climas. O gráfico é organizado levando em conta dados de temperatura de vários períodos do ano em função da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar (RUSSI et al., 2012). Possui uma zona de conforto indicada e estratégias bioclimáticas ao redor para que possa ser restabelecida a sensação de conforto quando fora da zona. Mais tarde, a carta foi adaptada por Givoni (GIVONI, 1969), pois o método de Olgyay aplicava seu diagrama apenas para condições externas. Conforme Givoni em trabalho mais atual (1992), diferente da carta de Olgyay, os limites da zona de conforto e as diferentes estratégias de projeto para garantir o conforto interno demarcados no gráfico da “Building Bioclimatic Chart” (BBCC), baseiam-se nas temperaturas internas esperadas em edifícios sem ar-condicionado, projetados adequadamente para o local onde são construídos. O autor supõe que os limites superiores de temperatura e umidade aceitos seriam maiores para pessoas que vivem em países em desenvolvimento e aclimatados a condições de calor úmido (GIVONI, 1992).

Bogo et al. (1994) analisaram diversas metodologias nacionais e internacionais relacionadas à Bioclimatologia aplicada à arquitetura e afirmam que a metodologia para avaliação de desempenho térmico em edificações para caracterizar o clima no Brasil deve ser adaptável a clima quente e úmido. A carta bioclimática desenvolvida por Givoni em 1992 e adotada para o Brasil pode ser visualizada na Figura 1, sendo que: A – zona de aquecimento artificial calefação; B - Zona de aquecimento solar da edificação; C – Zona de massa térmica para aquecimento; D – Zona de conforto térmico (baixa umidade); E – Zona de conforto térmico; F – Zona de

desumidificação (renovação do ar); G + H – Zona de resfriamento evaporativo; H + I – Zona de massa térmica de refrigeração; I + J – Zona de ventilação; K – Zona de refrigeração artificial e L – Zona de umidificação do ar.

Figura 1. Carta Bioclimática de Givoni adaptada para o Brasil

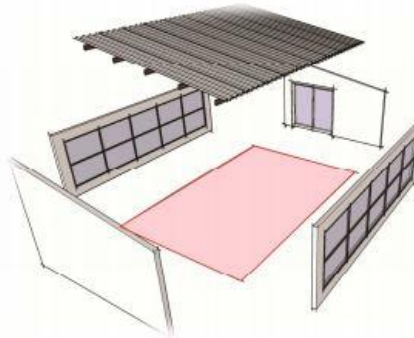


Fonte: ABNT NBR 15.220-3 (2005c)

2.2.2 Envoltória

A envoltória de um edifício compõe os materiais utilizados como fechamento e que fazem a separação do meio interno com o meio externo, paredes e cobertura, conforme (Figura 2). Os materiais utilizados na construção de um prédio regulam seu desempenho térmico e, por conseguinte, influenciarão o conforto térmico de seus usuários (CORBELLA; YANNAS, 2009). A especificação de materiais representa a espinha dorsal da edificação sustentável (KEELER, 2010). Esta especificação exige o entendimento das propriedades dos materiais e de sua adequação às características plásticas da edificação (LAMBERTS, 2014), pois materiais comumente utilizados nos projetos de construção apresentam comportamentos bastante distintos na transmissão de calor por condução em função de suas propriedades físicas e de fabricação (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Figura 2. Envoltória



Fonte: INMETRO (2016).

As características da envoltória que podem aumentar ou minimizar os ganhos de calor são as cores das superfícies, as propriedades térmicas de materiais e a exposição ao ambiente externo, como a ausência de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior (CARLO, 2008). Percebe-se a importância dos elementos construtivos de envoltória da edificação que possuem o papel de isolar o ambiente interno do externo.

A capacidade de absorver e emitir calor (radiação infravermelha) é mais ou menos a mesma para a maior parte dos materiais de construção. Por outro lado, a capacidade de um elemento absorver a radiação solar (função da camada mais externa) varia bastante de um material construtivo a outro (BARROSO-KRAUSE, 2011). Quando expostos aos raios solares, os elementos construtivos de envoltória podem ser classificados em dois tipos: opacos e transparentes ou translúcidos. A maior parte dos materiais de construção, sendo opaca, reflete a parcela de radiação que não absorvem. Já materiais mais ou menos translúcidos, como o vidro, são capazes de deixar a radiação solar atravessá-los, mas impedem, por sua constituição, o sentido contrário da radiação na faixa do infravermelho, gerada pela absorção da radiação solar, retendo o calor no ambiente, e causando o efeito estufa (BARROSO-KRAUSE, 2011). Outras características que influenciam a intensidade de radiação solar absorvida pela envoltória, são a orientação solar, o tamanho e inclinação das fachadas, assim como a função térmica cumprida pela cor dos acabamentos, que fará com que a envoltória seja mais ou menos absorvente ou refletante da radiação solar, modificando seu desempenho térmico (MASCARÓ, 2010).

A parte superior que cobre a área do telhado é uma parte crítica da edificação exposta ao calor devido ao alto índice de radiação solar e altos níveis de emissividade (ROSLAN et al., 2016). Em edificações mais horizontais o telhado é o maior contribuinte para o ganho de calor solar.

O ganho de calor solar do telhado pode ser aproximadamente três vezes maior que paredes com fachada norte e sul (HASHEMI; KHATAMI, 2017). A cor do telhado, assim como os materiais que o constituem, também influenciam para o ganho de calor solar (ROSLAN et al., 2016) e são importantes para a manutenção do conforto térmico em climas tropicais. É importante que o projetista tenha conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção e das leis básicas de transferência de calor. Assim é mais fácil prever qual será a resposta de um prédio às variações do clima externo e, em consequência, tomar decisões a respeito de quais materiais empregar num determinado clima, para facilitar uma situação de conforto térmico aos usuários (CORBELLA; YANNAS, 2009).

2.2.3 Sombreamento

O Brasil é um país com diferentes climas, porém a maior parte do território possui clima equatorial e tropical. O país apresenta temperaturas elevadas em quase todo o território durante o verão e, em certas regiões, o ano inteiro e incidência solar alta. O ganho de calor solar é identificado como um dos principais contribuintes para o superaquecimento em edificações (LAMBERTS et al., 2014). O ganho de calor solar pode ser controlado melhorando os detalhes construtivos para minimizar a transferência de calor das superfícies e introduzindo elementos de sombreamento para minimizar a transmissão solar e ganhos de calor através de superfícies translúcidas e opacas (HASHEMI; KHATAMI, 2017). Por isso, o sombreamento, assim como a ventilação natural, é uma estratégia construtiva tão importante para as edificações construídas no Brasil. Uma característica importante dos elementos de proteção solar é a geometria, que deve ser capaz de interceptar a incidência solar considerando a direção dos raios. Além de elementos construtivos da edificação, a vegetação e a topografia também podem ser utilizadas para sombrear o edifício. Uma das pesquisas desenvolvida por Hashemi e Khatami (2017) aponta que elementos de sombreamento externos quando comparados aos internos, geralmente são 30% mais efetivos na redução do ganho de calor solar. Árvores também podem contribuir beneficentemente para o desempenho térmico de edificações próximas (OLGYAY, 1963), principalmente plantas caducas que perdem suas folhas no inverno, permitindo a radiação solar, e recuperam as folhas no verão, proporcionando sombreamento na estação mais quente. Porém, em lugares de latitude baixa, as árvores podem ser menos eficazes em fornecer sombreamento, a menos que sejam plantadas muito perto da edificação (HASHEMI; KHATAMI, 2017).

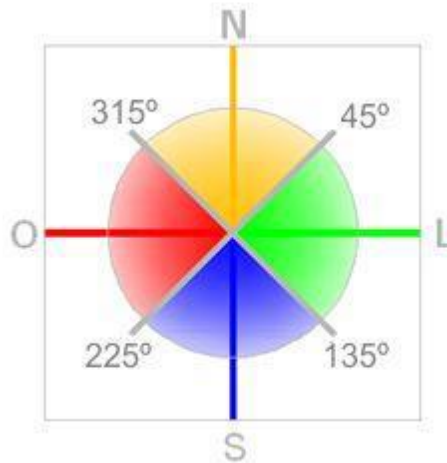
2.2.4 Orientação solar

Outra característica importante para os ganhos térmicos é a orientação da edificação. A orientação do edifício influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebida (MASCARÓ, 1991). De acordo com a mesma autora, um edifício mal orientado e com as fachadas principais expostas à maior carga térmica possível pode consumir mensalmente em média 30% a mais de energia operante por metro quadrado do que um prédio bem orientado. Além da radiação solar, outros fatores influenciam a tomada de decisão sobre a orientação de um edifício, como: a topografia local, as exigências de privacidade, as vistas proporcionadas, a redução de ruído e a direção dos ventos (OLGYAY, 1963).

Hashemi e Khatami (2017) avaliando o ganho de calor solar em habitações em Uganda mostraram que as fachadas leste e oeste possuem uma média de ganho de calor solar 1,4 vezes maior que as fachadas norte e sul. Para edificações localizadas em baixas latitudes e climas tropicais, a organização da edificação com orientação norte-sul com aberturas para estas orientações é mais recomendada. Assim como amplas aberturas para leste e oeste devem ser evitadas (HASHEMI; KHATAMI, 2017).

O Manual para aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) discorre sobre a importância de definir a orientação de forma adequada para a implantação do edifício. Para simplificar os cálculos de eficiência energética e conforto térmico, o Regulamento divide as orientações solares em quatro: Norte, de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0°; Leste, de 45,10° a 135,0°; Sul, de 135,10° a 225,0° e Oeste, de 225,10° a 315,0° (Figura 3). Portanto, se uma edificação tiver uma fachada orientada perpendicularmente ao ângulo 120°, terá a sua orientação considerada como leste. A orientação Norte do Regulamento se refere ao uso do norte geográfico ao invés do norte magnético.

Figura 3. Orientação solar simplificada a ser adotada



Fonte: INMETRO (2016)

2.2.5 Ventilação natural

A direção dos ventos, um dos fatores que influenciam a orientação de uma edificação, é levada em conta para tirar proveito do benefício da ventilação natural. Promover o bem-estar em um ambiente escolar com baixo consumo energético é um desafio em áreas com climas tropicais como o Brasil (ABREU-HARBICH et al., 2018). A ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais importantes para o território brasileiro junto com o sombreamento, sendo que em grande parte do território, a ventilação natural se faz necessária mais de 50% das horas do ano (LAMBERTS et al., 2014). A estratégia bioclimática pode ser uma alternativa à utilização de sistemas artificiais de refrigeração e aquecimento diminuindo o consumo energético. Além disso, ambientes condicionados artificialmente, principalmente salas com ar condicionado que não possibilitam a regulação da temperatura e com janelas sem possibilidade de operação, podem não ser indicativos de conforto térmico satisfatório. Dudek (2007) constatou que melhores níveis de desempenho de alunos foram encontrados em salas de aula com maior área de abertura, claraboias e janelas que poderiam ser operadas pelos usuários. A possibilidade de controle e adaptação do ambiente pelos usuários oferece uma resposta ao clima exterior antes mesmo que os efeitos deste possam se manifestar no interior (KOWALTOWSKI, 2011). Porém, a ventilação natural só se mostra eficiente para ambientes que possuem temperatura externa entre 20 a 32 °C (LAMBERTS et al., 2014).

No Brasil, data-se que desde 1894, prédios educacionais começaram a utilizar ventilação natural, baseada na norma vigente da época, o Código Sanitário (ABREU-HARBICH et al., 2018). Desde então, outras normativas e resoluções foram desenvolvidas ao longo do século

XX definindo a necessidade de ventilação natural e o nível de iluminação natural e artificial dentro dos ambientes. Atualmente, a NBR 15.220 (ABNT, 2005) propõe recomendações construtivas em relação ao tamanho das aberturas de acordo com a zona bioclimática. Os códigos de obras municipais também trazem recomendações de dimensões mínimas para aberturas com o intuito de garantir uma ventilação natural adequada.

A ventilação natural tem tido destaque em diversos estudos por ser um fator determinante na qualidade do ar interior e também no conforto térmico dos usuários de um ambiente. Nascimento e Batista (2017) buscaram identificar o comportamento da ventilação natural no interior dos ambientes em relação aos períodos e intensidade do desconforto térmico em pré-escola do Proinfância. Com base nos valores limites de temperatura operativa para ambientes naturalmente ventilados apresentados na *Standard 55* (ASHRAE, 2013), foi estipulada uma temperatura limite para conforto térmico referente a cidade do estudo. Assim, foram contabilizadas as horas de desconforto, calculando-se os percentuais mensais de horas de desconforto. De acordo com os autores, o ambiente que apresentou menos propensão para ventilação de acordo com o estudo realizado com o instrumento mesa d'água, apresentou maior desconforto térmico.

Os aspectos relacionados ao clima, topografia, direção dos ventos, orientação solar, adicionados ao uso de materiais adequados, elementos de sombreamento e detalhes construtivos desde o nível de projeto podem influenciar bastante no desempenho térmico da edificação, diminuindo a demanda energética gasta com a manutenção do conforto térmico para os usuários.

2.3 CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

A avaliação térmica contempla o aspecto de conforto térmico dos usuários e o desempenho térmico da edificação.

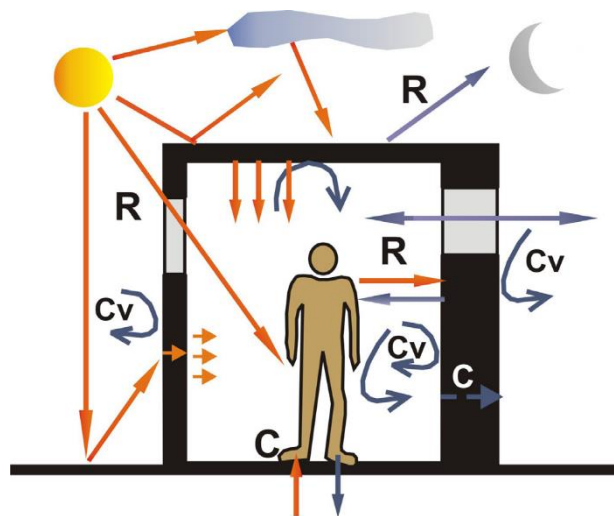
2.3.1 Conforto Térmico

A *Standard 55* (ASHRAE, 2013) define conforto térmico como “o estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda.” Para que edifícios e espaços urbanos atendam às exigências de conforto, é necessário o conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas para o partido arquitetônico adequado a climas particulares (FROTA; SCHIFFER, 2001). As respostas do nosso corpo ao desempenho térmico de um ambiente têm

um efeito considerável na nossa saúde, conforto e no desempenho de atividades. Lamberts et al. (2016) afirmam que quando realizadas em conforto térmico, as atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento.

Parte do calor produzido no interior do corpo humano é dissipado para o meio ambiente através de trocas térmicas secas: condução (C), convecção (Cv) e radiação (R) (calor sensível) (Figura 4); ou trocas térmicas úmidas: evaporação da água produzida por transpiração (calor latente).

Figura 4. Principais trocas térmicas entre o homem e a edificação



Fonte: Barroso-Krause (2011)

As trocas térmicas por condução são trocas por contato. As trocas ocorrem entre um corpo e toda superfície que ele toca e que estejam em temperaturas distintas. O fluxo de calor vai variar de acordo com: diferença de temperatura; densidade do material; condutividade do material e taxa de umidade. Os materiais construtivos, devido à suas propriedades físicas, possuem comportamentos e desempenhos bem distintos na transmissão de calor por condução. As trocas térmicas por convecção ocorrem entre um corpo e o ar que estão em contato direto e há uma diferença de temperatura. De acordo com Barroso-Krause (2011), é possível afirmar que para o ser humano, a convecção serve como um recurso para obter conforto higrotérmico no verão, pois auxilia na capacidade do corpo humano de evacuar o calor pela evaporação nos poros. Em edificações, além de auxiliar a dissipar o calor e a umidade acumulados em superfícies internas (paredes, pisos e teto), também garante a manutenção da qualidade do ar que respiramos.

As trocas térmicas por radiação acontecem entre dois corpos que não se tocam e que apresentam temperaturas distintas, sendo que o fluxo de calor se dará do mais quente para o menos quente.

A radiação solar é a principal influente nos ganhos térmicos em uma edificação (LAMBERTS et al., 2014), portanto, num clima tropical, a principal causa de desconforto térmico é o ganho de calor produzido pela absorção da energia solar que atinge as superfícies dos ambientes construídos (CORBELLA; YANNAS, 2009). As trocas térmicas por evaporação ocorrem através da eliminação do calor pela troca pulmonar, na expiração, e através da pele, pelos poros. A intensidade da evaporação vai depender da atividade física, da umidade relativa do ar e da velocidade do ar. Quando a temperatura interna do corpo se eleva acima de 37°C, as glândulas sudoríparas são acionadas, e a sudorese permite um aumento da taxa de evaporação corporal, que é adicionada a perda por convecção provocada pela vasodilatação.

2.3.2 Conforto Térmico em ambiente escolar

Em uma tipologia que atende função tão nobre como a educação infantil, é importante que se atinja um nível adequado de conforto térmico para que as atividades escolares possam ser desenvolvidas de maneira saudável. O conforto térmico relacionado à produtividade e bem-estar e conservação de energia nas escolas, ganhou importância nos últimos anos (ZOMORODIAN et al., 2016). O ambiente deve estimular as atividades de ensino e de aprendizagem e a troca de conhecimento entre alunos e professores. Souza (2018) afirma que é importante compreender como este ambiente é composto e sua utilização no dia-a-dia para entender como as atividades desenvolvidas são influenciadas pela arquitetura escolar. Diversos estudos apontam a relação entre desempenho escolar e elementos arquitetônicos dos ambientes de ensino (SOUZA, 2018; KOWALTOWSKI, 2011). De acordo com Kowaltowski (2011) é possível afirmar que um desempenho insatisfatório do conforto térmico altera a percepção do usuário sobre os demais itens (acústico, luminosos e ergonômico) e que a importância do conforto ambiental para a produtividade no trabalho ou na aprendizagem dos usuários depende do projeto do edifício e de seus ajustes às atividades do usuário.

Além de afetar o processo de aprendizagem, ambientes com temperaturas muito altas ou muito baixas também podem comprometer a saúde dos usuários, principalmente se estes forem crianças. Fisiologicamente, as crianças apresentam maior relação área/massa de superfície corporal em comparação aos adultos, permitindo maior transferência de temperatura entre o ambiente e o corpo (BLUM et al., 1998). Apesar de ainda existirem lacunas a serem estudadas, o impacto da temperatura ambiental na saúde de crianças tem se tornado uma importante questão de saúde pública. Xu et al. (2012) apresenta diversos estudos que apontam que crianças abaixo de um ano de idade estão em alto risco de mortalidade relacionada ao calor. Além disso,

crianças também podem enfrentar mais desafios em ambientes frios em comparação com adultos. As taxas de diminuição da temperatura da pele de mãos e pés quando expostos ao frio, são significativamente maiores em crianças do que em adultos (TSUZUKI, 2008).

Além disso, a alta densidade de ocupantes nas salas de aula também pode influenciar de maneira negativa, prejudicando a qualidade do ar interno:

Diversos parâmetros agem sobre a qualidade do ar e o homem é extremamente sensível às menores variações de sua composição. Por exemplo, a proporção de CO² no ar fresco é em torno de 0,03% em volume. Logo que esta proporção atinge 0,15%, o ar já é considerado viciado, a partir de 0,4%, acontecem as dores de cabeça e os problemas de concentração (BARROSO-KRAUSE, 2011, p. 56).

Os alunos passam muito tempo nas escolas, por isso é importante proporcionar um nível adequado de conforto térmico e qualidade do ar interior. O desafio é projetar edifícios que facilitem o aprendizado e superem o estado de desconforto com o mínimo consumo de energia.

2.3.3 Avaliação do conforto térmico

Diversos fatores influenciam o estado de satisfação do ser humano com o ambiente térmico. Como mencionado anteriormente, a atividade física exercida, a roupa utilizada, idade, hábitos alimentares, altura e sexo podem influenciar na percepção da temperatura e conseqüentemente, na avaliação do conforto térmico. Em um local com muitas pessoas, usando diferentes tipos de roupas e realizando diferentes tipos de atividades, pode ser difícil criar um ambiente que ofereça conforto térmico para todos os ocupantes. Os métodos existentes para a avaliação do estado térmico geral do corpo, tanto em conforto como sob calor ou frio, são baseados em uma análise do balanço de calor para o corpo humano (KALZ; PFAFFEROTT, 2014).

Existem duas categorias principais de modelos de avaliação de conforto térmico, o racional e o adaptativo. Normativas internacionais como a ISO 7730 e a ASHRAE *Standard 55*, determinam valores de projeto para temperaturas operativas e equações de conforto baseadas nos modelos racional e adaptativo.

2.3.3.1 ISO 7730:2005 - *Ergonomics of the thermal environmental*

A norma internacional ISO 7730 - *Ergonomics of the thermal environmental* (ISO, 2005) utiliza o modelo racional desenvolvido por Ole Fanger. A equação é baseada na avaliação de pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, obtendo o Voto Médio Preditado (PMV). O cálculo do PMV (*Predicted Mean Vote*) é um índice que prevê o valor médio do voto de um grupo de

peças para as condições do ambiente (INMETRO, 2016). O voto médio é baseado na escala sétima da *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), variando de muito frio até muito quente, como mostra a Tabela 2. De acordo com Keeler e Burke (2010) a equação de Fanger inclui seis variáveis. As quatro variáveis ambientais do modelo são: a temperatura ambiente, a temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar. Já as variáveis metabólicas são: o isolamento das roupas e o nível de atividade. A partir do PMV, foi desenvolvido o PPD (Porcentagem de pessoas insatisfeitas ou *Predicted Percentage Of Dissatisfied* em inglês) que indica a porcentagem de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais frio ou mais quente.

Tabela 2. Escala sétima de sensações térmicas

Sensação térmica	
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: elaborada pela autora (2019)

2.3.3.2 ASHRAE Standard 55:2013 - *Thermal environmental conditions for human occupancy*

A *Standard 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy* (ASHRAE, 2013) é uma norma norte americana que apresenta métodos de avaliação do conforto térmico baseado em fatores ambientais e pessoais. De acordo com a própria *Standard 55* (ASHRAE, 2013), o objetivo desta norma é especificar as combinações de fatores ambientais e pessoais que produzem condições ambientais térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes dentro do espaço. A *Standard 55* (ASHRAE, 2013) considera as seis variáveis de conforto térmico mencionadas acima: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar, velocidade do ar, atividade física e vestuário. A norma apresenta tabelas com valores definidos para a taxa de metabolismo de acordo com a atividade física desenvolvida e também para o nível de isolamento promovido pelo vestuário.

A *Standard 55* (ASHRAE, 2013) apresenta três métodos para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços ocupados. Os dois métodos gerais que a norma apresenta são o gráfico e o analítico. Se baseiam em temperaturas operativas para zonas de conforto, e apesar de semelhantes possuem algumas diferenças na aplicabilidade conforme pode ser visualizado na Tabela 3:

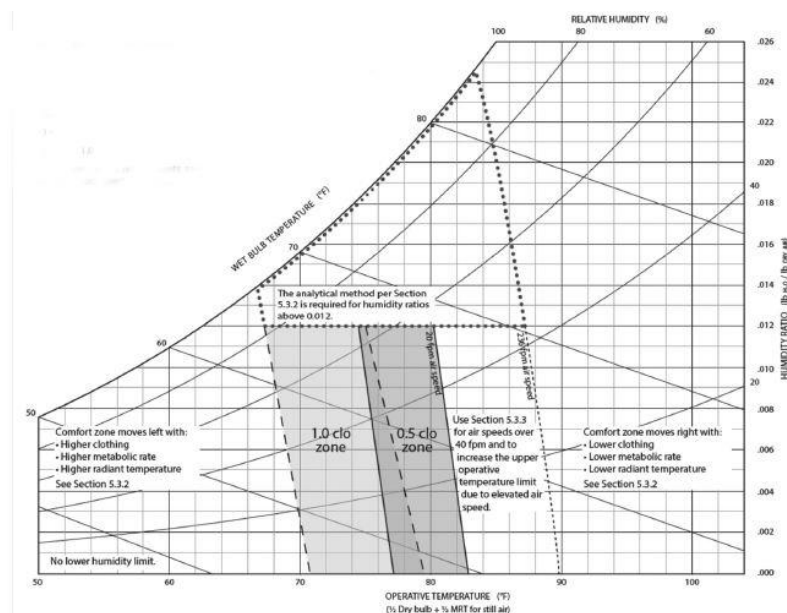
Tabela 3. Aplicabilidade dos métodos gerais da ASHRAE *Standard 55*

Método	Velocidade média do ar (m/s)	Umidade	Met	Clo
Gráfico	< 0,20	< 0,012 kg.H ₂ O/kg ar seco	1,0 – 1,3	0,5 – 1,0
Analítico	< 0,20	qualquer	1,0 – 2,0	0 – 1,5

Fonte: elaborada pela autora

No método gráfico podemos verificar duas zonas de conforto: uma para 1,0 clo e outra para 0,5 clo (Figura 5). Valores intermediários de isolamento de vestuário devem ser determinados por interpolação linear.

Figura 5. Gráfico das zonas de conforto para o método gráfico



Fonte: ASHRAE *Standard 55* (2013)

O método analítico utiliza o PMV/PPD que analisa o voto dos ocupantes na escala sétima de sensações térmicas, como foi apresentado no tópico anterior. A partir do voto, é possível obter

a porcentagem de pessoas insatisfeitas. Um ambiente termicamente aceitável para conforto térmico geral, de acordo com este método, teria um PPD < 10 e um PMV entre -0,5 e +0,5. Lamberts et al. (2016) apresenta as seguintes equações 1 e 2 extraídas dos gráficos da *Standard 55* para cálculo do PPD e PMV:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L$$

[equação 1]

Onde:

PMV = voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo

L = Carga Térmica atuante sobre o corpo.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-[0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]}$$

[equação 2]

Onde:

PPD = porcentagem de pessoas insatisfeitas;

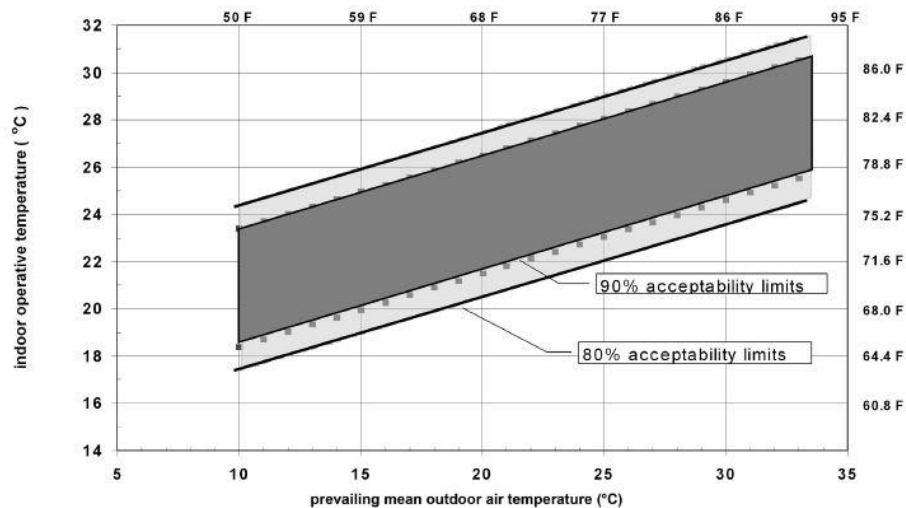
PMV = voto médio predito.

A *Standard 55* apresenta também o modelo adaptativo baseado nos estudos de Humphreys e estudos de campo de De Dear e Brager. A hipótese adaptativa defende que fatores contextuais e o histórico térmico modificam as expectativas e preferências térmicas dos ocupantes de um edifício (DE DEAR; BRAGER, 1998). O modelo de conforto adaptativo considera a sensação térmica dos ocupantes e diferentes ações de forma a adaptar-se ao ambiente térmico como mudança de roupa ou abertura de janelas (KALZ; PFAFFEROTT, 2014). O método adaptativo define ambientes térmicos aceitáveis apenas para espaços naturalmente condicionados, controlados pelos ocupantes e que atendam a todos os seguintes critérios: não haja climatização artificial, a taxa metabólica dos ocupantes deve estar entre 1,0 e 1,3 met; as condições térmicas do vestuário devem estar entre 0,5 e 1,0 clo e as temperaturas médias locais não devem ser inferiores a 10°C ou superiores a 33,5°C.

A Figura 6, extraída da *Standard 55* (ASHRAE, 2013), inclui dois conjuntos de limites de temperaturas operativas, um para 80% de aceitabilidade e um para 90% de aceitabilidade dos

ocupantes do ambiente. A aceitabilidade de 80% serve para aplicações típicas. Também pode-se utilizar os 90% de aceitabilidade quando um padrão mais alto de conforto térmico é desejado.

Figura 6. Limites de temperaturas operativas de conforto térmico



Fonte: ASHRAE *Standard 55* (2013)

Para o cálculo das Temperaturas Operativas de Conforto (TOC) para aceitação de 80% dos ocupantes de um ambiente naturalmente ventilado, a *Standard 55* apresenta duas equações. A equação 3 apresenta o valor limite superior de TOC e a equação 4 apresenta o valor limite inferior de TOC para determinado mês do ano. É importante observar que as TOCs variam de acordo com os meses do ano.

$$T_{OC} = 21,3^{\circ}\text{C} + 0,31 \cdot T_{\text{média mensal}}$$

[equação 3]

$$T_{OC} = 14,3^{\circ}\text{C} + 0,31 \cdot T_{\text{média mensal}}$$

[equação 4]

Onde:

T_{OC} = temperatura operativa de conforto

$T_{\text{média mensal}}$ = temperatura da média mensal do ar externo

2.3.3.3 Abordagem Adaptativa

O modelo de Fanger não fazia distinção quanto à localização geográfica que o indivíduo está inserido. Assim, em 1979, Humphreys desenvolve o modelo adaptativo, que leva em conta a possibilidade de adaptação do indivíduo ao ambiente. Essa adaptação pode acontecer por

ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos. A escolha da vestimenta e abertura ou fechamento de janelas são exemplos de ajustes comportamentais. Segundo Lamberts et al. (2016) os estudos da abordagem adaptativa são baseados nos conceitos de aclimação e os fatores considerados podem incluir características inerentes à demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas). Uma das razões para o desenvolvimento do modelo adaptativo foi a consecução de resultados divergentes entre os obtidos em câmaras climatizadas (usadas para desenvolver o modelo de Fanger) e os observados nos ambientes não climatizados. Foi constatado também que, em ambientes não climatizados, a população parece aceitar um intervalo de temperaturas muito maior, já que um indivíduo pode se adaptar bem ao local em que ele vive (LAMBERTS et al., 2016).

De acordo com de Dear e Brager (1998), ocupantes em edifícios naturalmente ventilados toleram uma faixa significativamente maior de temperaturas, explicada por uma combinação de adaptação comportamental e psicológica. Os estudos de campo apresentados por Dear e Brager (1998), e que contribuíram ao desenvolvimento da abordagem do modelo adaptativo, demonstram que as faixas de temperaturas aceitáveis de 80% e 90% em edifícios naturalmente ventilados foram cerca de 70% mais amplas do que as calculadas para edifícios artificialmente climatizados, suportando a hipótese adaptativa de que os ocupantes com melhores níveis de controle pessoal serão mais tolerantes a maiores mudanças de temperatura.

Em uma edificação escolar, muitas vezes, é possível adaptar-se ao ambiente controlando as instalações do recinto. É permitido aos usuários o abrir e fechar de janelas para controlar o nível de sombreamento, a entrada de radiação solar e a quantidade de ventilação natural; também é permitido a troca do tipo de vestimenta dos alunos e professores. Isto demonstra que o modelo adaptativo pode ser um método apropriado para a avaliação do conforto térmico em salas de aula. Porém, a maioria dos estudos que avaliam conforto térmico em edifícios educacionais utilizam o método racional de Fanger. Zomorodian et al. (2016) revisou diversos estudos sobre conforto térmico em edifícios educacionais nas últimas cinco décadas e para análise, categorizou os resultados com base no clima, na fase educacional e na abordagem de modelo de avaliação do conforto térmico escolhida. Dos trabalhos revisados, 15% apresentam apenas o tipo de abordagem adaptativa e 35% apresentam ambos os métodos para avaliação. De acordo com a mesma revisão também é possível afirmar que em regiões climáticas, onde há uma maior

amplitude de temperaturas, a adaptabilidade quanto às temperaturas operativas de conforto também é maior.

A NBR 16.401-2 Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, parte 2: Parâmetros de conforto térmico (ABNT, 2017) que está em revisão, apresenta o modelo adaptativo, além dos outros dois apresentados acima, como métodos para avaliação do conforto térmico. A citada norma brasileira adota a *Standard 55* (ASHRAE, 2013) como uma normativa de referência.

2.3.3.4 Avaliação do conforto térmico em projetos padrão do Programa Proinfância

Com base que projetos padrão implantados em diferentes zonas bioclimáticas podem não ser indicação de conforto térmico e eficiência energética, pesquisadores nacionais desenvolveram estudos com a avaliação de projetos padrão do Programa Proinfância.

Peglow et al. (2016) compararam o conforto térmico do projeto padrão Tipo C do Proinfância na ZB 2 utilizando dois tipos diferentes de envoltória, visto que esta possui grande influência no conforto térmico, pois participa ativamente das trocas térmicas com o ambiente externo. Foram testados o material original da envoltória do projeto e o sistema construtivo *Wall System* (sistema com paredes formadas por placas de Lâminas de plástico reforçadas com lã de vidro). Além disso os autores testaram algumas otimizações na envoltória como cobertura pintada de branco, isolamento de lã de rocha na cobertura e utilização de brises horizontais e verticais. Para definir o nível de conforto dos usuários foi calculada a temperatura operativa de conforto, baseada no modelo adaptativo ASHRAE 55/2010. Assim, foi possível calcular as horas em desconforto dos ambientes e comparar o desempenho térmico das opções de sistemas de envoltória. Os resultados mostraram que o sistema convencional apresentou um melhor desempenho térmico que o sistema *Wall System*.

Rheingantz et al. (2017) utilizam dois tipos de abordagens, qualitativa e quantitativa, para a avaliação de um projeto padrão Tipo C implantado na cidade de Pelotas/RS. A abordagem qualitativa contempla a lacuna no diálogo entre a arquitetura dos projetos padrão e as recomendações da Coordenação Geral de Educação Infantil (COEDI). A parte qualitativa foi realizada com simulações térmicas do projeto padrão através de software com o intuito de discutir sobre os problemas gerados pela dissociação das soluções construtivas das exigências bioclimáticas de diferentes contextos de inserção do projeto arquitetônico na zona bioclimática 2. O estudo evidenciou a necessidade de revisão da configuração do projeto arquitetônico e

importância da adaptação do projeto padrão ao contexto climático local, visto que a avaliação térmica apontou baixos níveis de conforto térmico. Além disso, o projeto padrão deixa de lado o diálogo com a comunidade e usuários sobre a infraestrutura necessária à educação das crianças.

Ritter et al. (2018) também utilizaram duas ferramentas para a avaliação de um projeto padrão Tipo B localizado na zona bioclimática 2. Além de simulação computacional, também foi feita uma análise *walkthrough*. A simulação foi realizada com o projeto padrão original e modificado com o intuito de melhorar o projeto arquitetônico garantindo um melhor resultado de conforto térmico. No projeto modificado, as circulações laterais do pátio são fechadas com vidro temperado, configurando uma zona fechada, e as circulações entre os blocos são cobertas. A avaliação térmica foi baseada no modelo adaptativo da ASHRAE 55/2010. O maior percentual de conforto térmico foi encontrado no projeto padrão original e o maior desconforto no projeto modificado e em relação ao calor. A análise *walkthrough* confirmou através de entrevistas com funcionárias algumas situações de desconforto por frio e calor verificadas na simulação.

Quintana et al. (2017) avaliaram o conforto térmico dos projetos padrão desenvolvidos mais atualmente, Tipo 1 e 2, na zona bioclimática 2. Para a avaliação, foi utilizado o modelo adaptativo da ASHRAE 55/2010. Os resultados indicam um baixo nível de conforto térmico e que o maior desconforto decorre do calor nos ambientes de permanência prolongada. Os projetos são semelhantes, porém o Tipo 2 obteve um melhor desempenho térmico. Com base na avaliação térmica, os autores puderam propor medidas de otimização do desempenho térmico, mais uma vez indicando a importância do projeto padrão estar adaptado ao contexto climático local.

Spagnuolo et al. (2018) avaliaram o Tipo B em 3 diferentes zonas bioclimáticas, Belém-PA (ZB 8), Canela-RS (ZB 1) e Sorocaba-SP (ZB 3), e em duas orientações solares diferentes: norte-sul e leste-oeste. O conforto térmico foi calculado baseado no modelo adaptativo da ASHRAE 55/2013. Os resultados demonstraram que em uma média de horas de uso, Canela apresenta 27% das horas em desconforto principalmente em relação ao frio. Belém apresenta 43% das horas em desconforto pelo calor e Sorocaba apresentou um melhor resultado de conforto térmico com 84% das horas em conforto. Em relação a orientação, Belém apresentou alguma variação nos resultados, enquanto Canela e Sorocaba apresentaram uma variação mínima.

Nascimento e Batista (2017) avaliaram o projeto padrão Tipo B na cidade de Maceió (ZB 8) através de dois instrumentos, a Mesa d'água (objeto utilizado para simulações que permitem visualizar a ventilação natural do ambiente construído) e simulação computacional. Para a avaliação foram considerados parâmetros como a distribuição dos fluxos de ar, a velocidade do ar e o percentual de horas de desconforto nos ambientes. Os autores utilizaram o modelo adaptativo da ASHRAE 55/2010 para relacionar o nível de conforto térmico com a ventilação natural da edificação. Na Mesa d'água, foram simuladas três incidências de ventos (Leste, Nordeste e Sudeste), considerando-se duas implantações do edifício com os blocos das salas de aula com suas maiores fachadas voltadas para norte-sul. Os ambientes de permanência prolongada definidos para a avaliação por simulação computacional foram os que obtiveram o melhor e o pior resultado na Mesa d'água. Na maioria dos meses do ano, os resultados mostram que o percentual de horas de desconforto ultrapassou 60% nos ambientes analisados, considerando-se como limite superior de conforto a temperatura operativa de 28°C. Nos meses de inverno, o percentual de conforto passou a ser maior que o de desconforto. Pode-se perceber que há uma relação da ventilação cruzada com o nível de conforto térmico.

Babick e Torres (2017) avaliaram a adequação do projeto padrão Tipo C nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras em relação a iluminação, ventilação e conforto térmico. Analisou-se o projeto observando exigências de normativas. Foram utilizadas as NBRs 15.575 e 15.220 que tratam de edificações habitacionais, o RTQ-C e o Manual do FNDE. A falta de normativa nacional específica para a tipologia escolar, fez com que fossem utilizadas também normativas internacionais e outros guias. Verificou-se em quais zonas bioclimáticas, a implantação da pré-escola atenderia aos requerimentos e recomendações das normativas revisadas. Os resultados encontrados mostraram que o projeto padrão poderia passar por uma revisão para melhor atendimento dos critérios analisados. Os autores afirmam sobre a importância da possibilidade de alteração de dimensões das esquadrias, para adequar a necessidade de ventilação do ambiente para diferentes zonas bioclimáticas, e da flexibilidade em relação aos materiais da envoltória da edificação ou a utilização de elementos de sombreamento.

2.3.4 Avaliação do desempenho térmico

As normas brasileiras referentes ao desempenho térmico em edificações são: a ABNT NBR 15.220:2005 e a ABNT NBR 15.575:2013, sendo que esta última trata exclusivamente sobre edificações habitacionais. No texto as normas estarão nominadas sem a sigla ABNT. O Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III) do

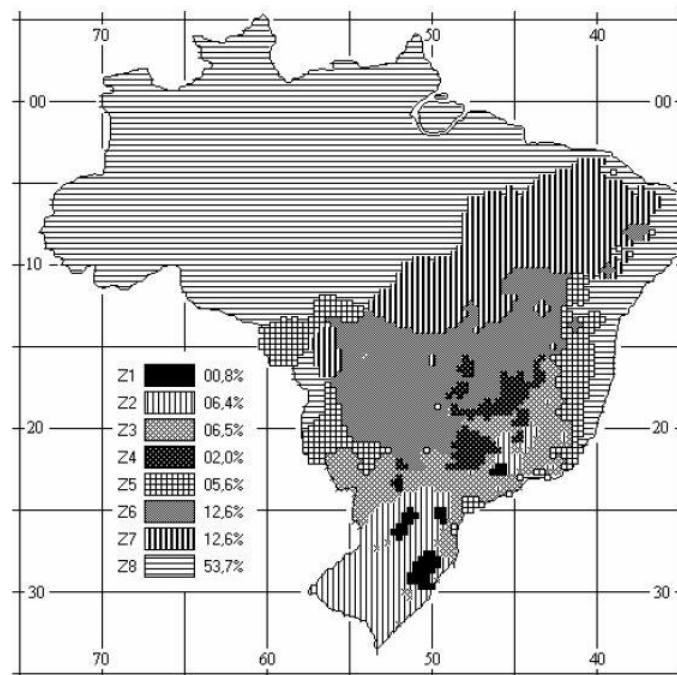
FNDE utiliza alguns níveis de atendimento a certos critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013) como referência de desempenho térmico, considerando o zoneamento bioclimático definido na NBR 15.220-3 (ABNT 2005c).

2.3.4.1 ABNT NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações

A NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações foi a primeira norma brasileira a abordar o assunto. A norma se divide em cinco partes. A parte dois da norma, NBR 15.220-2, apresenta métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações que serão relevantes para a metodologia deste presente estudo.

A parte três, NBR 15.220-3, apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro dividindo o Brasil em oito grandes zonas bioclimáticas (Figura 7). Esta parte da Norma também traz recomendações construtivas em relação ao tamanho de janelas, sombreamento, tipo de vedações da envoltória (paredes e cobertura), e estratégias de condicionamento térmico passivo para cada uma das oito zonas para habitações de interesse social. Para a classificação bioclimática, foi utilizada uma carta bioclimática adaptada da carta sugerida por Givoni (esta carta pode ser visualizada na figura 2 do tópico 2.2).

Figura 7. Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15.220-3 (2005c)

2.3.4.2 ABNT NBR 15.575:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho

Em 2013, após anos de estudos, consultas públicas e revisões, foi lançada a NBR 15.575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho. A norma aborda vários aspectos de desempenho e estabelece requisitos mínimos, de vida útil e de garantia para os diversos sistemas que compõem as edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares (SILVA et al., 2014). Para a avaliação do desempenho térmico, a NBR 15.575 leva em consideração o zoneamento bioclimático definido na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). Como parte do método normativo, a norma propõe o cumprimento de requisitos e critérios para o desempenho térmico dos sistemas de paredes externas e sistemas de coberturas, ou seja, a envoltória da edificação, estabelecidos na parte 4 e 5 da norma (NBR 15.575-4 e NBR 15.575-5). Os valores indicados para transmitância e capacidade térmica que a norma estabelece para sistemas de paredes externas e sistemas de coberturas são apresentados nas Tabelas 4 e 5:

Tabela 4. Transmitância Térmica U (W/m².K)

	Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		7 e 8	
		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha \geq 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha \geq 0,6$
Sistema de paredes externas	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha \geq 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha \geq 0,4$
Sistema de cobertura	$U \leq 2,3$	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FT	$U \leq 1,5$ FT

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15.575-4 e 15.575-5 (2013d e 2013e)

Sendo que α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede ou da cobertura, e FT é o fator de correção da transmitância (FT) que está estabelecido na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Tabela 5. Capacidade térmica CT (kJ/m².K)

Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zonas 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15.575-4 (2013d)

Caso os requisitos de transmitância e capacidade térmica para a envoltória não sejam atendidos, é necessário comprovar o desempenho térmico através de simulação computacional. Desse modo, a NBR 15.575 propõe valores máximos de temperatura para o verão e mínimos para o inverno. A classificação dos níveis de desempenho térmico proposta pela norma se divide entre Mínimo, Intermediário e Superior e as temperaturas estabelecidas para cada nível podem ser visualizados nas Tabelas 6 e 7 abaixo:

Tabela 6. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$	$T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$
I	$T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
S	$T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15.575-1 (2013a)

Sendo que $T_i \text{ máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius e $T_e \text{ máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.

Tabela 7. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
M	$T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ }^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ }^\circ\text{C})$	
S	$T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ }^\circ\text{C})$	

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15.575-1 (2013a)

Sendo que $T_i \text{ mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius e $T_e \text{ mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.

Além do procedimento normativo, a norma também apresenta um procedimento informativo para a avaliação do desempenho térmico da edificação onde a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos é feita através de medições em edificações ou protótipos, conforme o anexo A.1 da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

O procedimento de simulação vigente na NBR 15.575-1 não considera alguns parâmetros importantes que influenciam no desempenho térmico das edificações residenciais, como cargas térmicas internas, condições de contato com o solo e ventilação natural. (SORGATO et al., 2014) não correspondendo com a realidade de ocupação e de uso da edificação real.

A pesquisa de Silva et al. (2014) investiga a incerteza do uso de valores subjetivos adotados para variáveis desconsideradas pelo método de simulação da NBR 15.575-1 como: a data do dia típico de verão e inverno, a velocidade e a direção do vento, o algoritmo de cálculo da irradiação solar e o tipo de céu. Os autores constataram que houve uma amplitude nos resultados dos níveis de classificação de desempenho térmico de uma habitação de interesse social adotada para o estudo e avaliada através do método de simulação decorrente dos diferentes valores adotados para as variáveis desconsideradas pela NBR 15.575-1. Outra constatação do estudo foi que os modelos que apresentaram os piores níveis de desempenho térmico, tanto no verão quanto no inverno, foram aqueles cujo piso não tem contato com o solo. O tipo de céu foi a variável que apresentou maior influência para a análise no verão e inverno para todos os modelos simulados. Outras variáveis que apresentaram influência significativa para a classificação do nível de desempenho foram as características do modelo e a influência conjunta entre o algoritmo de irradiação solar e o tipo de céu. Os autores afirmam que a definição aleatória de um valor para estas variáveis influencia no nível de classificação obtido através da NBR 15.575-1, podendo ser possível obter todos os níveis de classificação, inclusive o de não atendimento da norma, principalmente no caso de uso de piso adiabático.

Na pesquisa desenvolvida por Sorgato et al. (2014), os resultados do procedimento de simulação da NBR 15.575-1 mostraram que as condições do piso da edificação em contato com o solo impactam significativamente no desempenho térmico. Constatou-se que as simulações da edificação com o piso adiabático não atenderam ao critério de desempenho térmico mínimo da NBR 15.575-1.

Soares e Silva (2016) investigaram incoerências entre o método de simulação e o método simplificado da NBR 15.575. Concluíram, na análise feita através de simulações utilizando os

dias típicos, que não há compatibilidade entre os métodos simplificado e por simulação, pois um grande número de casos analisados por simulação conseguiu alcançar o desempenho térmico mínimo exigido, utilizando valores de propriedades de envoltória muito além do que os especificados no método simplificado. Os mesmos autores propuseram uma revisão dos valores limites das propriedades térmicas do método simplificado, assim como uma metodologia para estabelecer a coerência entre os dois métodos de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575. Além da simulação com os dias típicos estabelecidos na NBR 15.575, os pesquisadores utilizaram o método de simulação anual por graus-hora que se mostrou mais coerente com os requisitos do método simplificado.

A NBR 15.575 foi um avanço para a construção civil para garantir o desempenho e a qualidade das edificações, mas seu aprimoramento deve ser incentivado. A investigação sobre a amplitude da classificação dos níveis de desempenho térmico causada pela variação dos valores adotados das variáveis desconsideradas pela NBR 15.575-1 demonstra que o método atual permite que os avaliadores têm liberdade de escolher quaisquer valores para essas variáveis para obter melhor classificação do nível de desempenho térmico (SILVA et al. 2014). Quando uma variável não é considerada para avaliação, esta não pode influenciar no resultado do nível de desempenho. Além disso, para todos os casos serem avaliados com o mesmo critério, a norma deveria estipular a condição do piso da edificação a ser adotada na simulação, pois dependendo da condição do piso adotada, a edificação pode ser aprovada ou reprovada (SORGATO et al. 2014).

2.3.4.3 Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III)

Em 2017, o FNDE disponibilizou uma nova versão do Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III), onde foram incluídas diretrizes para a avaliação do desempenho térmico dos projetos padrão do Programa Proinfância. O manual exige desempenho térmico Intermediário (I) para as condições de verão e Mínimo (M) para as condições de inverno, de acordo com os critérios de avaliação pelo método de simulação de desempenho térmico da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A busca pelo conforto ambiental associado à necessidade de economizar energia, impõe a adoção de estratégias projetuais eficientes (MATOS 2012). Para isso é importante o conhecimento da realidade climática na qual a edificação será inserida, pois cada região e clima necessitam de estratégias construtivas específicas que, se pensadas desde a concepção projetual, podem ser mais eficientes. De acordo com Lamberts et al. (2014), adequar o projeto arquitetônico ao clima utilizando estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes, tem um grande potencial em reduzir a demanda de energia esperada para os próximos anos.

Roaf (2014) afirma que os sistemas mecânicos de climatização representam, entre todas as tecnologias, a principal fonte de gases das mudanças climáticas. Para ser desfeita a relação nociva entre o condicionamento do ar e o aquecimento global, é necessária uma redução da carga de refrigeração e aquecimento, edificações mais bem projetadas e o uso de sistemas de climatização que usem energias renováveis (ROAF, 2014).

Em virtude da crise de energia em 2001 no Brasil, conhecida como “apagão”, surgiu a primeira lei para racionamento de energia. A Lei da Eficiência Energética estabeleceu “níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas” (BRASIL, 2001). Com a Lei da Eficiência Energética, foram desenvolvidas diversas iniciativas. Dentro do contexto edificações, houve a criação do Procel Edifica em 2003, e em 2006 o PBE Edifica, que junto ao Inmetro, possibilita a avaliação do nível de eficiência energética de edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, conferindo a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e o Selo Procel Edificações. Os requisitos e indicadores de desempenho energético para a avaliação das edificações foram estabelecidos em normas e regulamentos. O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foi lançado em 2009, e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) foi lançado em 2010. Além destes regulamentos também foram desenvolvidos manuais de apoio. Em 2014, foi publicada no Diário Oficial da União a Instrução Normativa (IN) Nº02, que determina a Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética obrigatória para os novos edifícios ou os que sejam reformados com recursos federais. O artigo 5 do capítulo III

do Diário Oficial descreve: “Os projetos de edificações públicas federais novas devem ser desenvolvidos ou contratados visando, obrigatoriamente, à obtenção da ENCE Geral de Projeto classe A” (BRASIL, 2014).

2.4.1 Avaliação da Eficiência Energética

2.4.1.1 RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

O regulamento vigente no Brasil para avaliação da eficiência energética de uma edificação é o RTQ-C, que representa uma das ações da Eletrobrás (programa Procel EDIFICA) tendo como objetivo a redução do consumo de energia elétrica nas edificações. O regulamento apresenta requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética (INMETRO, 2010), e oferece os procedimentos necessários para a obtenção da Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE) da edificação. Como as edificações pré-escolares do Proinfância são edifícios públicos, o regulamento também contempla a edificação escolar.

O regulamento é aplicável para edificações novas ou existentes. A metodologia descrita no RTQ-C para verificação da eficiência energética de uma edificação, é baseada na avaliação de três sistemas: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. A cada um destes, será atribuído um nível que varia de A a E, sendo A o mais eficiente, e E o menos. Há dois tipos de etiqueta, a total e a parcial. A total é quando todos os sistemas são avaliados, e a parcial é quando apenas um ou dois sistemas são avaliados. Também pode ser analisada toda a edificação ou apenas uma parte dela.

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realizada através dos métodos prescritivo ou de simulação. O método prescritivo é um método mais simplificado, baseado em valores limites para os pré-requisitos e equações. Foi desenvolvido baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão (INMETRO, 2010). Já o método de simulação utiliza softwares e calcula o consumo energético através da modelagem do edifício real e da configuração dos sistemas de iluminação e de ar-condicionado, e através de uma comparação de consumo energético, obtém-se o nível de eficiência. O método da simulação compara o desempenho do edifício real com um edifício similar de referência, cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido (INMETRO, 2010).

O regulamento pode ser aplicado tanto a edifícios condicionados, quanto a parcialmente condicionados e não condicionados. Para ambientes naturalmente ventilados ou que possuam áreas não condicionadas de longa permanência é necessário que o conforto térmico seja comprovado através do método de simulação. Para isso, calcula-se o Percentual de horas Ocupadas em Conforto (POC), ou seja, deve-se apresentar as temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas.

2.4.2 Simulações termoenergéticas

Os programas de simulação termoenergética ainda são ferramentas pouco utilizadas na concepção projetual. Apesar de já existirem há mais de uma década, em alguns casos, ainda estão longe dos escritórios de arquitetura e muitas vezes são utilizadas apenas por consultores ou engenheiros (PEDRINI; SZOKOLAY, 2005). Quando feitas de maneira correta, as simulações são capazes de prever o consumo e dados energéticos finais com mínima margem de erro, conseguindo analisar e comparar diferentes cenários e buscar a melhor solução construtiva para a edificação com intuito de reduzir o consumo energético. Assim, a utilização de ferramentas de simulação se torna importante ainda na fase de desenvolvimento de projeto e não apenas quando as decisões projetuais já estão tomadas e o projeto detalhado. Pedrini e Szokolay (2005) apontam vários motivos para a pouca utilização de programas de simulação termoenergética: o custo de aquisição e operação de ferramentas de simulação, o nível de compromisso do arquiteto com a questão energética, a inexistência de códigos e normas de eficiência energética, a falta de conhecimento do cliente e principalmente o hiato existente entre o processo de projeto e a operação das ferramentas.

Um edifício possui grande número de variáveis existentes que devem ser avaliadas para prever o consumo energético e o desempenho térmico de uma edificação: nível de ocupação, taxa de ventilação, grau de isolamento, localização da capacidade térmica, tipo de envidraçamento, tipo de climatização artificial (CLARKE, 2001). A simulação computacional oferece vantagens em relação a cálculos ou simulações manuais, pois os métodos tradicionais não abordam tamanha complexidade. Segundo Clarke (2001), devido à crescente aceitação de que a simulação apresenta dados mais precisos, tentativas substanciais estão sendo feitas para transferir a tecnologia para a prática.

Programas de simulação termoenergética são bastante utilizados por normativas internacionais e nacionais como métodos de avaliação do conforto térmico e da eficiência energética. Nas normativas nacionais, tanto o RTQ-C quanto a NBR 15.575 apresentam métodos de avaliação

através de simulação computacional. O *EnergyPlus* é um programa amplamente utilizado. É usado para a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima e simulação de carga térmica e análise energética de edificações. O programa possui interface com outros softwares que facilitam a modelagem e visualização da edificação a ser analisada, como o *OpenStudio*, o *SketchUp* e o *DesignBuilder*

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO

O capítulo buscou englobar os assuntos relevantes para o desenvolvimento do método desta pesquisa. Foi visto que as pré-escolas do Programa Proinfância foram e ainda são construídas em grande número pelo Brasil como projetos padrão. Nesse sentido, é importante analisar o impacto destas construções não somente como impactos ambientais, mas também a relação do conforto térmico do ambiente escolar com a aprendizagem e saúde das crianças.

Em um país de tamanho continental como o Brasil se faz necessário uma avaliação do conforto térmico promovido por projetos padrão replicados sem a devida cautela, visto que o conforto térmico influencia no processo de aprendizagem e na saúde de crianças, que são mais sensíveis a mudanças térmicas do que adultos. Em muitos casos estes ambientes serão condicionados naturalmente devido à falta de recursos financeiros de órgãos públicos. Por outro lado, no caso de serem ambientes condicionados, altos índices de consumo energético podem ser necessários para a manutenção do conforto térmico, caso os projetos padrão não sejam adequados a região de implantação da pré-escola.

Além disso, há uma carência no que tange os métodos de avaliação do conforto térmico de edificações educacionais no Brasil. A inexistência de uma normativa nacional especialmente elaborada para a avaliação térmica em edifícios educativos, faz com que sejam necessárias adaptações de requisitos que nem sempre são adequados à avaliação desta tipologia. Além disso, a norma utilizada atualmente – NBR 15.575 – apresenta certas incoerências entre os métodos de avaliação conforme visto no item 2.3.4.2, e variáveis desconsideradas que podem causar imprecisões nos resultados.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa. O presente estudo foi desenvolvido baseado 3 etapas: inicial, experimental e final, sendo que a experimental apresenta 2 fases. As etapas estão descritas a seguir.

3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO

O método utilizado neste estudo está descrito abaixo:

- a) Etapa inicial: em um primeiro momento, através de revisão bibliográfica, foram revisadas normativas de avaliação de conforto térmico, desempenho térmico e eficiência energética. Foi feita uma abordagem sobre a relevância do Programa Proinfância e a frequência de utilização de seus projetos padrão de pré-escolas. No tópico a seguir foi feita a caracterização do objeto de estudo (projeto padrão Tipo 2), necessária para a modelagem e simulação computacional. Foram caracterizadas as zonas bioclimáticas brasileiras e as estratégias construtivas adequadas a cada uma delas.
- b) Etapa experimental: esta etapa está dividida em duas fases: Fase 1 e Fase 2. Fase 1 - nesta fase foi feita a avaliação do conforto térmico do usuário e do desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 em todas as zonas bioclimáticas brasileiras para desenvolver uma reflexão sobre o modo de avaliação térmica das pré-escolas do Programa Proinfância. A análise utiliza simulação computacional para a avaliação e usa métodos de normativas brasileira e americana como modo de comparação dos níveis de conforto e desempenho exigidos. Enquanto a *Standard 55* foi utilizada para a avaliação do conforto térmico dos usuários através das temperaturas operativas do modelo adaptativo, a NBR 15.575 foi utilizada para a avaliação do desempenho térmico da edificação. Fase 2 - nesta etapa foi feita a avaliação do impacto da orientação solar no conforto e no desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 em todas as zonas bioclimáticas brasileiras. Através de simulações computacionais foram avaliados o conforto e o desempenho térmico resultantes da implantação da pré-escola para 4 orientações solares: norte, sul, leste e oeste. Novamente foi utilizado o modelo adaptativo da *Standard 55* para a avaliação do conforto térmico e o método da NBR 15.575 para a avaliação do desempenho térmico. As definições metodológicas

específicas de cada uma das fases serão detalhadas nos capítulos referentes a cada uma delas. Os resultados das análises de cada fase também serão apresentados. O objeto de estudo é o mesmo para ambas as fases e sua caracterização é apresentada no subcapítulo 3.2.

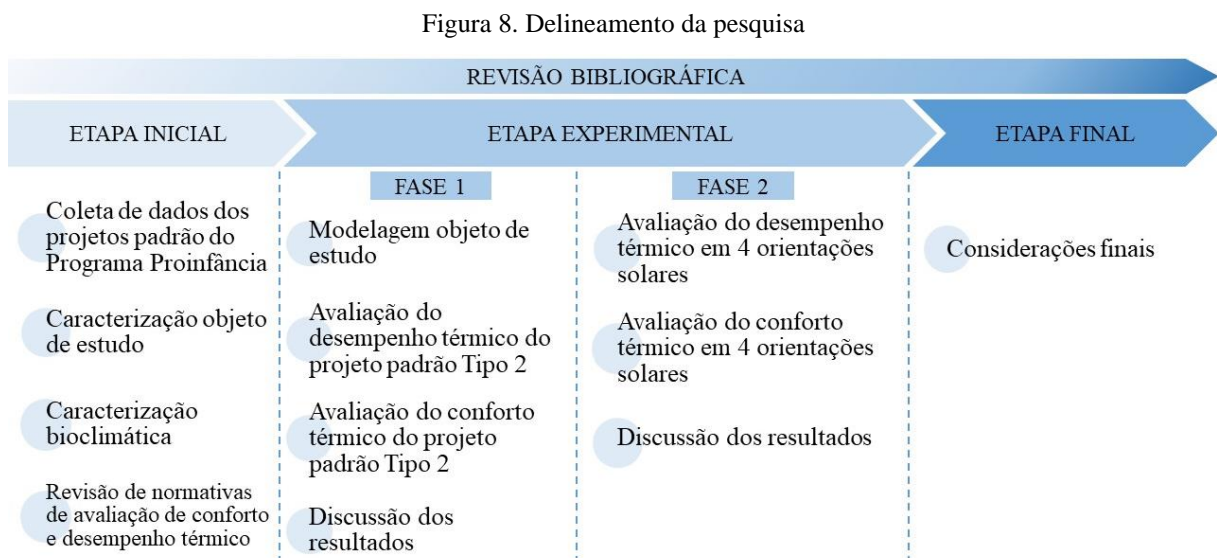
- c) Etapa final: nesta etapa foram feitas a compilação, comparação e discussão dos resultados obtidos, bem como as considerações e conclusões finais da pesquisa, identificando critérios que auxiliem na busca por conforto térmico no desenvolvimento de edificações públicas de ensino.

A metodologia pode ser resumida da seguinte maneira:

- 1) Revisão bibliográfica em artigos, dissertações, teses, livros, além de normativas sobre conforto e desempenho térmico;
- 2) Coleta de dados referentes ao Programa Proinfância, os projetos padrão e a implantação destes pelo território brasileiro;
- 3) Caracterização do objeto de estudo através do material disponibilizado no site do FNDE;
- 4) Caracterização bioclimática das zonas brasileiras conforme a NBR 15.220 (ABNT, 2005);
- 5) Modelagem do objeto de estudo (projeto padrão Tipo 2);
- 6) Avaliação do conforto térmico do projeto padrão Tipo 2 do programa Proinfância segundo o modelo adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013);
- 7) Avaliação do desempenho térmico do projeto padrão tipo 2 do programa Proinfância segundo a método de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013);
- 8) Compilação e comparação dos resultados obtidos nas avaliações de conforto e desempenho térmico para reflexão sobre o modo de avaliação térmica das pré-escolas;
- 9) Avaliação do conforto térmico do projeto padrão Tipo 2 do programa Proinfância segundo o modelo adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013) para 4 orientações solares em todas as zonas bioclimáticas;

- 10) Avaliação do desempenho térmico do projeto padrão tipo 2 do programa Proinfância segundo a método de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013) para 4 orientações solares em todas as zonas bioclimáticas;
- 11) Compilação dos resultados e avaliação do impacto da orientação solar no conforto e desempenho térmico da pré-escola Tipo 2 em cada zona bioclimática;
- 12) Considerações finais e identificação de critérios para obter conforto térmico no desenvolvimento de edificações públicas de ensino.

A Figura 8 sintetiza as etapas da metodologia descrita:



Fonte: elaborada pela autora (2018)

3.2 OBJETO DE ESTUDO

A análise do conforto térmico do usuário e do desempenho térmico da edificação desta pesquisa será feita baseada no objeto de estudo do projeto padrão de educação infantil Tipo 2, desenvolvido pelo Programa Proinfância (Figuras 9 e 10). O projeto padrão está disponível no site do FNDE desde 2015, que sempre mantém a versão mais atualizada do projeto. Para se ter uma ideia da abrangência do Programa, a pesquisa desenvolvida por Schabbach e Ramos (2017) aponta que até o ano de 2014, 72% do total de municípios gaúchos já haviam aderido ao Proinfância.

Figura 9 e 10. Fachada frontal e fachada lateral do projeto padrão Tipo 2



Fonte: FNDE (2017)

De acordo com o FNDE, o projeto Tipo 2 possui uma área construída de 775,85m² e foi elaborado para ser construído tanto em áreas urbanas como rurais. Tem capacidade para até 188 crianças em dois turnos (matutino e vespertino), ou 94 crianças em período integral, atendendo a crianças de 0 a 6 anos. O ambiente escolar está dividido nos seguintes espaços: 1. Creche, 2. Fraldário, 3. Depósito, 4. Sala dos professores, 5. Administração, 6. Solário, 7. Sanitários, 8. Cozinha, 9. Copa dos funcionários, 10. Lavanderia, 11. Vestiários, 12. Serviços, 13. Lactário, 14. Amamentação, 15. Pátio coberto, 16. PCD, 17. Multiuso, 18. Pré-escola, 19. Almojarifado, 20. Castelo d'água e 21. Playground (Figura 11).

Figura 11. Planta baixa do projeto padrão Tipo 2



Fonte: Adaptado de FNDE (2017)

Os espaços de aprendizado infantil se dividem entre Creches 1 (0 a 18 meses), 2 (18 meses a 3 anos) e 3 (3 a 4 anos) e Pré-escola 1 e 2 (4 a 6 anos). Por estes serem os principais espaços de permanência prolongada da escola, serão estes os ambientes avaliados na análise térmica, bem como a sala de administração (espaços azuis da Figura 11). A Figura 11 também apresenta os demais ambientes internos que não são de permanência prolongada, (espaços verdes) e os ambientes cobertos, porém abertos e que possuem ventilação constante (espaços cinzas).

Baseada na leitura dos memoriais do projeto, é possível constatar uma preocupação referente à adequação da edificação aos parâmetros ambientais e ao clima regional, apontando quesitos como adequação térmica, insolação, ventilação cruzada nos ambientes de salas de aula e iluminação natural (FNDE, 201-?). Para a adequação ao clima regional, o memorial indica uma opção construtiva para regiões de clima frio: o fechamento do pátio coberto com esquadrias de

vidro de correr. No entanto, baseado em depoimentos de usuários, a opção projetual indicada pode não ser suficiente para garantir um desempenho térmico adequado ao ambiente escolar. Além desta, o projeto não propõe nenhuma modificação geométrica ou de materiais construtivos de envoltória. A opção construtiva para regiões de climas frios por não ser utilizada em todas as pré-escolas construídas nestas regiões não foi levada em consideração na avaliação desenvolvida neste trabalho. Portanto, o projeto padrão Tipo 2 foi avaliado de acordo com o projeto original e sem a adaptação construtiva.

Ainda sobre a análise do material do Programa disponível e que apresenta o desempenho exigido em vários aspectos para a edificação escolar, podemos afirmar que o nível de desempenho térmico exigido para um ambiente que será habitado por crianças menores de 6 anos pode não significar conforto térmico. Como mencionando anteriormente na revisão bibliográfica, de acordo com Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III), verifica-se que o nível exigido para os ambientes de longa permanência como creches e pré-escolas é de desempenho intermediário (I), para as condições de verão, e mínimo (M), para as condições de inverno.

Os materiais que compõem a envoltória da edificação são organizados e descritos em 5 sistemas: paredes de vedação, cobertura, pisos, estrutura e esquadrias.

O sistema construtivo adotado para vedação do projeto padrão foi o de alvenaria de blocos cerâmicos com dimensões nominais de 14x19x39cm para as paredes externas e 9x19x39cm para as paredes internas. As paredes possuem revestimento em argamassa e pintura acrílica na cor branca, interna e externamente, e vermelho e azul nos pórticos de entrada. A espessura total das paredes externas é de 20cm e das paredes internas é de 15cm. O projeto possui também elementos de vedação que são chapas de aço perfuradas no solário e na área de serviços permitindo ventilação natural e sombreamento. Estas chapas possuem pintura esmalte nas cores amarelo e cinza.

A cobertura é constituída por telhas metálicas termoacústicas, apoiadas em treliças e caibros de aço tipo light steel frame. A estrutura metálica do telhado está apoiada em estrutura de concreto armado ou engastada em alvenaria de cerâmica da platibanda. O projeto não possui laje de cobertura entre os ambientes internos e o telhado, apenas um forro de gesso.

O piso do projeto varia de acordo com o ambiente. O material do piso nos ambientes internos pode ser cimentado desempenado, vinílico ou cerâmico. Os ambientes externos possuem piso de concreto desempenado e bloco intertravado de concreto, além dos ambientes com grama e areia, porém as características destes não são consideradas na análise do trabalho.

A estrutura do projeto possui vigas em concreto armado moldado in loco com altura média aproximada de 40 cm e pilares também em concreto armado moldado in loco de dimensões 12x30cm, 12x40cm ou 12x50cm.

As esquadrias (portas e janelas) com molduras em alumínio na cor natural possuem vidros temperados e com espessura mínima de 6mm para janelas e 8mm para portas. As portas em madeira são semi-ocas e com espessura de 35mm.

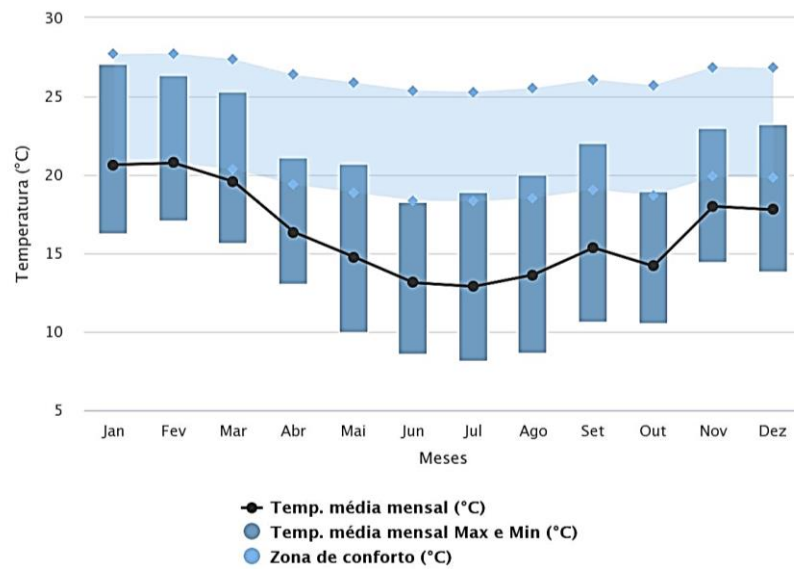
3.3 CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA

Para a avaliação do projeto padrão Tipo 2 foi feita a caracterização das oito zonas bioclimáticas brasileiras definidas de acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005c). Foi escolhida uma cidade representativa de cada zona que tivesse os dados climáticos para a simulação computacional. Sua caracterização foi feita através de dados meteorológicos levantados ao longo de um ano, totalizando 8.760 horas, contendo registros de variáveis como: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade e direção dos ventos. Estes dados geram um arquivo climático utilizado em softwares como o *EnergyPlus*. A caracterização bioclimática confirma o uso do modelo adaptativo como método de avaliação do conforto térmico, pois as médias de temperaturas máximas e mínimas dos locais estão dentro do estabelecido para avaliação através do modelo adaptativo. A seguir uma breve descrição de cada zona e a cidade escolhida como representativa.

3.3.1 Zona bioclimática 1

A zona bioclimática (ZB) 1 se caracteriza por possuir invernos mais rigorosos que as outras zonas e, portanto, necessitar de aberturas que possibilitem a entrada do sol permitindo o aquecimento solar da edificação (ABNT, 2005c). A cidade escolhida como representativa desta zona para o estudo é Curitiba (Figura 12), que calculado pelo método adaptativo da ASHRAE *Standard 55-2013* apresenta 24,2% das horas do ano em conforto e 75,8% em desconforto.

Figura 12. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Curitiba

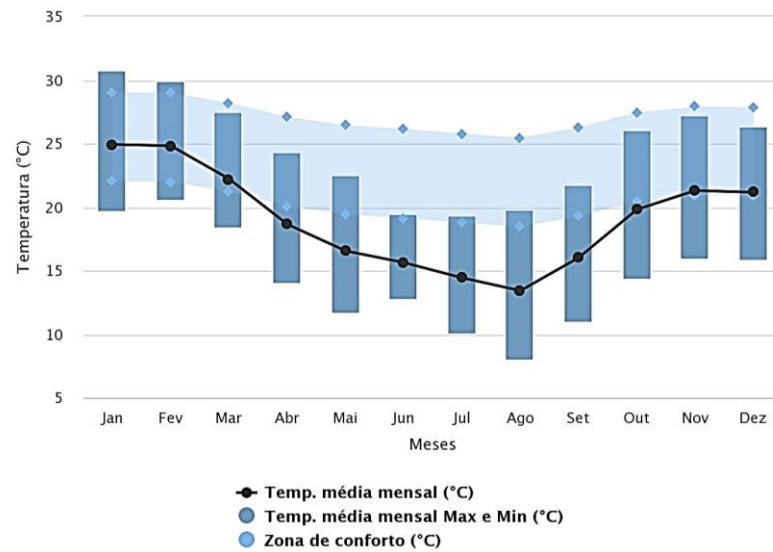


Fonte: PROJETEEE (2016)

3.3.2 Zona bioclimática 2

Esta zona possui características semelhantes a primeira, porém com necessidade de ventilação natural nas edificações durante o verão (ABNT, 2005c) por apresentar temperaturas mais altas do que a anterior. Esta zona abrange regiões de estados do sul do Brasil e cidades como Ponta Grossa, Santa Maria (Figura 13), Laguna, Piracicaba e Pelotas. A cidade escolhida como representativa é Pelotas por possuir um número maior de habitantes do que as outras cidades e disponibilidade de arquivo climático para a simulação. Pelo método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013, Pelotas apresenta 30,8% das horas do ano em conforto e 69,2% em desconforto.

Figura 13. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Santa Maria

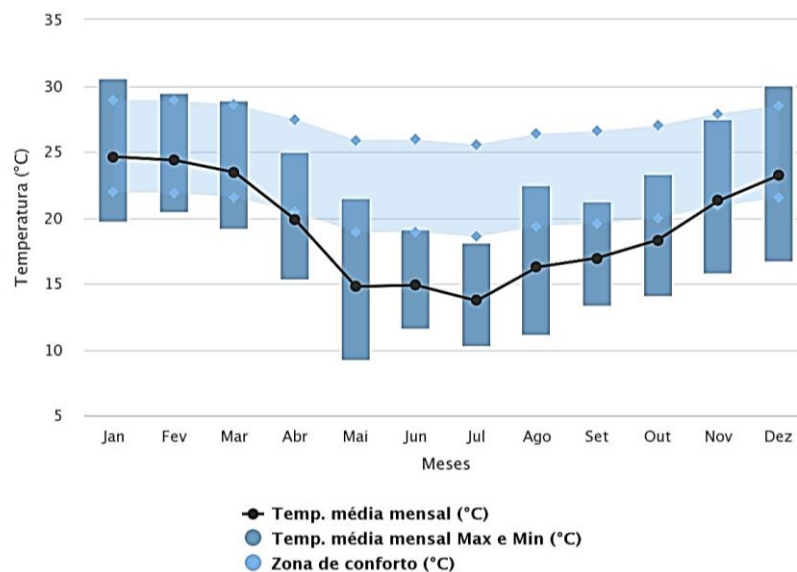


Fonte: PROJETEEE (2016)

3.3.3 Zona bioclimática 3

A ZB 3 possui certa complexidade na busca de soluções construtivas para edificações que se localizam nela, devido a sua necessidade de proteção quanto ao calor no verão e frio no inverno. A zona inclui grandes áreas urbanas como a grande Porto Alegre, Florianópolis, São Paulo, e Belo Horizonte. A cidade escolhida como representativa desta zona para o estudo é Porto Alegre (Figura 14), que apresenta 38,5% das horas do ano em conforto e 61,5% em desconforto, calculado através do método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013.

Figura 14. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Porto Alegre

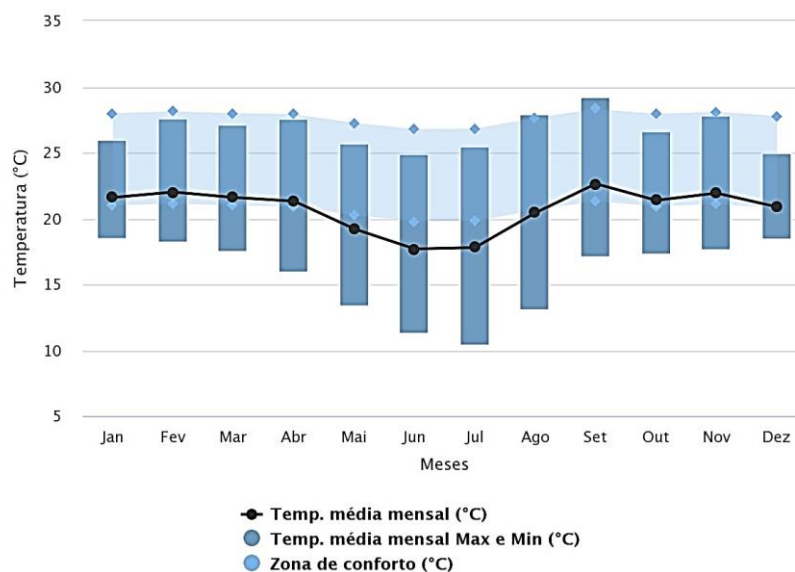


Fonte: PROJETEEEE (2016)

3.3.4 Zona bioclimática 4

Esta zona se caracteriza por necessitar de aberturas com sombreamento o ano todo, ventilação natural no verão e aquecimento solar no inverno (ABNT, 2005c). Apresenta regiões no sudeste e centro-oeste do país. A cidade escolhida como representativa é Brasília (Figura 15) que possui 44,1% das horas do ano em conforto e 55,9% em desconforto, calculado com o método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013.

Figura 15. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Brasília

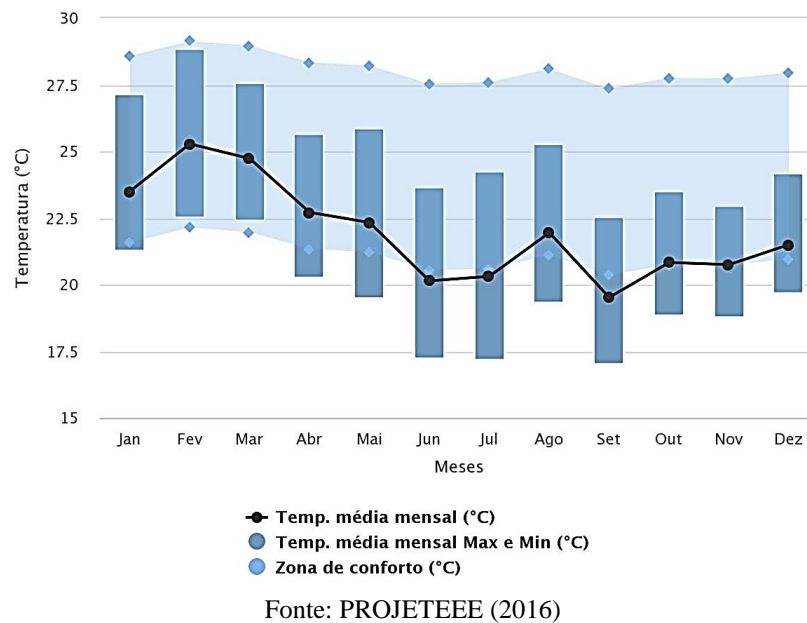


Fonte: PROJETEEEE (2016)

3.3.5 Zona bioclimática 5

Esta zona possui temperaturas mais amenas tanto no inverno como no verão, como pode ser visto na Figura 16. Sua abrangência é bastante espalhada pelo território brasileiro, possuindo regiões no sudeste, nordeste e centro-oeste. Inclui cidades como Santos, Niterói (Figura 16) e São Francisco do Sul. A cidade de estudo escolhida para esta zona é Santos. Pelo método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013, Santos apresenta 51,3% das horas do ano em conforto e 48,7% em desconforto.

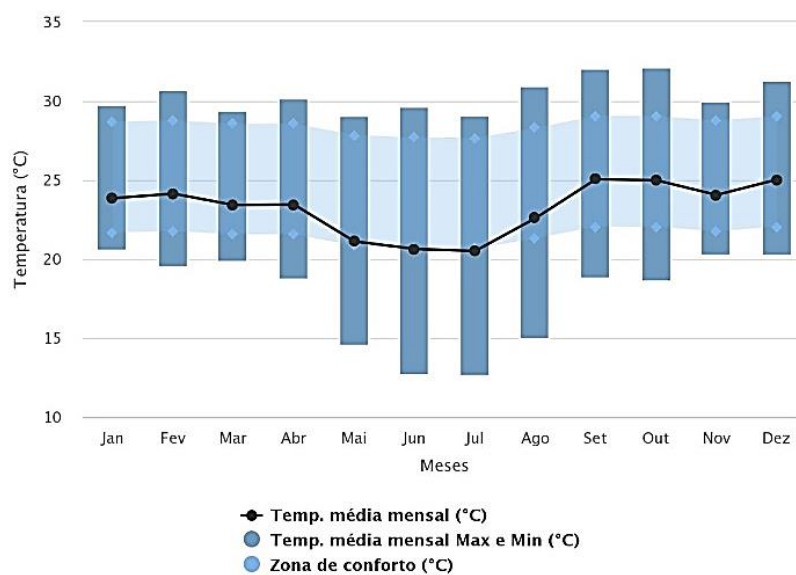
Figura 16. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Niterói



3.3.6 Zona bioclimática 6

Esta zona se caracteriza por temperaturas altas o ano todo. Necessita de sombreamento e ventilação cruzada para manutenção do conforto nas edificações (ABNT, 2005c). A zona possui uma abrangência que vai desde o centro-oeste até o nordeste, incluindo cidades como Goiânia e Campo Grande. A cidade escolhida como representativa desta zona é Goiânia (Figura 17). Pelo método adaptativo da ASHRAE *Standard* 55-2013, Goiânia apresenta 51,3% das horas do ano em conforto e 48,7% em desconforto.

Figura 17. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Goiânia

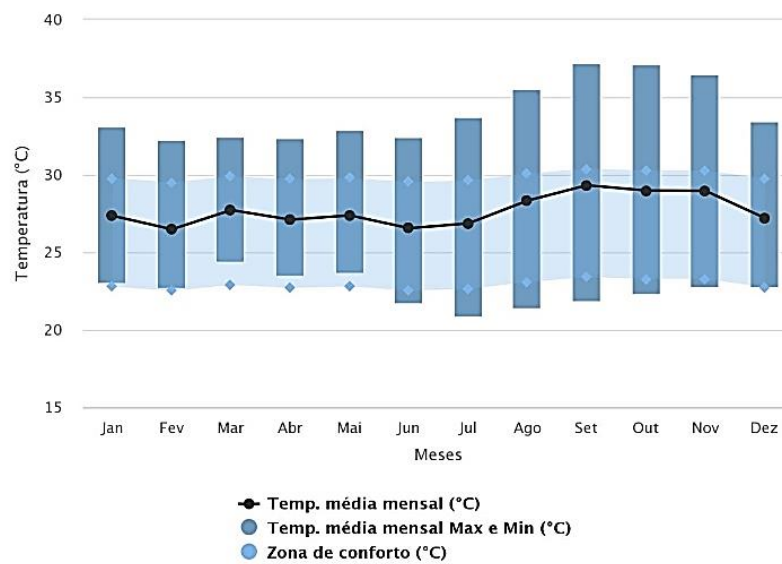


Fonte: PROJETEEEE (2016)

3.3.7 Zona bioclimática 7

A ZB 7 apresenta temperaturas elevadas no verão e inverno. As edificações necessitam de sombreamento e ventilação cruzada (ABNT, 2005c). A zona engloba algumas capitais de estados brasileiros como: Cuiabá, Teresina e Palmas. A cidade escolhida como representativa desta zona para o estudo é Teresina (Figura 18). Pelo método adaptativo da *ASHRAE Standard 55-2013*, Teresina apresenta 62,1% das horas do ano em conforto e 37,9% em desconforto.

Figura 18. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Teresina

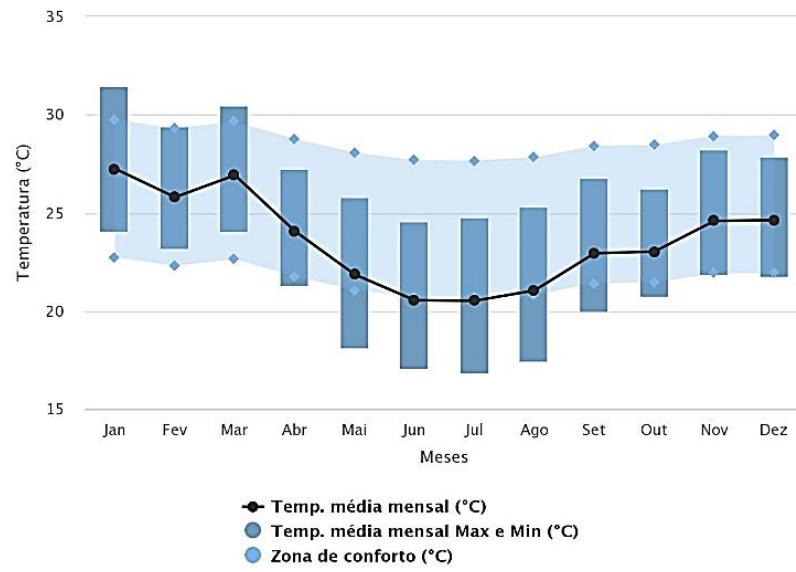


Fonte: PROJETEEEE (2016)

3.3.8 Zona bioclimática 8

Esta zona se caracteriza por apresentar as temperaturas mais altas. As edificações exigem sombreamento e ventilação cruzada durante todo o ano (ABNT, 2005c). A zona abrange várias capitais de estados brasileiros como: Aracaju, Belém, Fortaleza, Salvador, Manaus, Natal, Recife entre outras. A cidade escolhida como representativa é Rio de Janeiro que possui 59,3% das horas do ano em conforto e 40,7% em desconforto (Figura 19), calculado com o método adaptativo da *ASHRAE Standard 55-2013*.

Figura 19. Temperaturas médias e zona de conforto da cidade de Rio de Janeiro



Fonte: PROJETEEE (2016)

4 FASE 1 – ANÁLISE DO CONFORTO E DO DESEMPENHO TÉRMICO

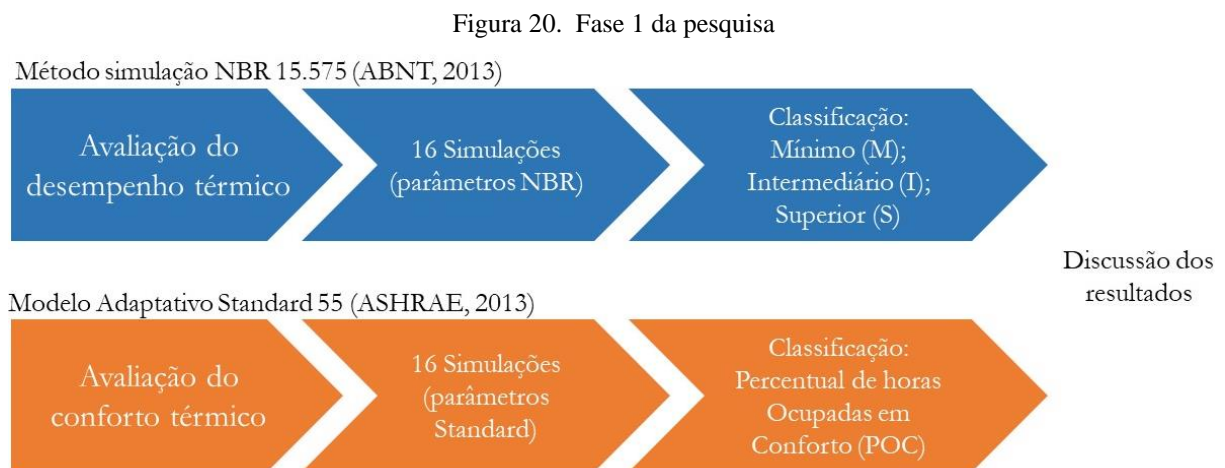
Para uma maior abrangência do estudo foi definido que todas as zonas bioclimáticas brasileiras estabelecidas de acordo com a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) seriam avaliadas. Ambas as avaliações (conforto e desempenho térmico) foram realizadas com o auxílio de simulações computacionais. Para a modelagem do projeto foi utilizado o software *SketchUp* com as ferramentas do plugin *OpenStudio*. As simulações de conforto e desempenho térmico foram executadas no software *EnergyPlus*.

4.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

Para a avaliação do conforto térmico dos usuários foi escolhido o Modelo Adaptativo da *Standard 55*. Tal escolha se deve à adequação do Modelo Adaptativo a ambientes naturalmente ventilados onde são considerados os ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos dos usuários. Além disso, os parâmetros delimitadores para a aplicação da ferramenta e explicados no tópico 2.3.3.2 são cumpridos. Como no ambiente escolar os usuários possuem liberdade para adaptação térmica, através da mudança de vestimentas e controle de aberturas e cortinas, o Modelo Adaptativo se mostra indicado para este tipo de ambiente. Através da aplicação das equações do método adaptativo é possível estabelecer uma faixa de temperaturas operativas de conforto para cada mês do ano. Considerou-se uma faixa de temperaturas de conforto para 80% dos usuários satisfeitos. Os limites mínimos e máximos das temperaturas operativas de conforto foram calculados de acordo com as equações do método, apresentadas no tópico 2.3.2.2. As temperaturas mínimas e máximas dos ambientes analisados encontradas na simulação ao longo do ano letivo foram comparadas com a faixa de temperaturas operativas de conforto calculadas, obtendo-se o Percentual de horas Ocupadas em Conforto (POC).

A análise do desempenho térmico do objeto de estudo utilizou o método de simulação computacional, definido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Como já mencionado anteriormente, a norma propõe a classificação dos níveis de desempenho térmico em Mínimo, Intermediário e Superior, e as temperaturas estabelecidas para cada nível podem ser visualizadas na Tabela 6. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e Tabela 7. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno do tópico 2.3.4.2, assim como na parte 1 da NBR

15.575 (ABNT, 2013a). Os resultados obtidos foram comparados aos níveis de desempenho térmico exigidos para inverno e verão pelo Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares (volume III), para as tipologias do Programa Proinfância. O delineamento da Fase 1 da pesquisa pode ser visto na Figura 20.



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.2 MODELAGEM DO OBJETO DE ESTUDO

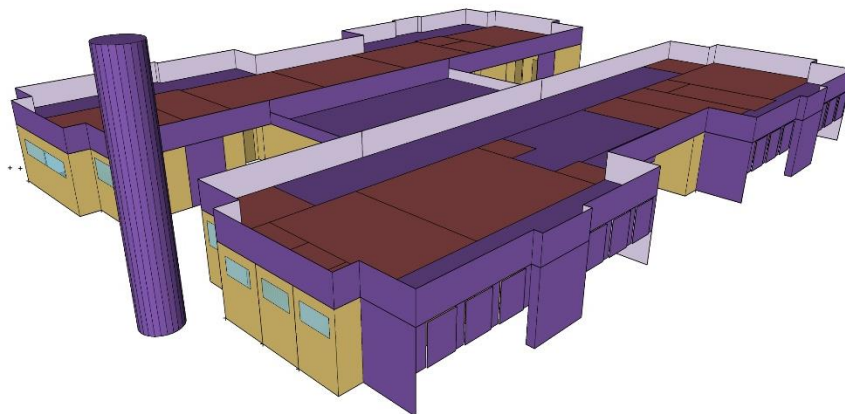
A modelagem da edificação foi feita com base nas informações do projeto disponíveis no site do FNDE. Os projetos arquitetônicos e complementares são de acesso irrestrito e estão disponíveis para download (FNDE, 2017). Para construir a geometria do modelo, utilizou-se a versão 2017 do software *SketchUp* com as ferramentas do plugin *OpenStudio* versão 2.5.0 de maneira que fosse compatível com a versão 8.8.0 do *EnergyPlus*, usado nas simulações. Apesar de que apenas os ambientes de permanência prolongada (creches, pré-escolas e administração) são avaliados termicamente, todo o edifício foi modelado e simulado para que os resultados encontrados fossem os mais próximos da realidade.

O edifício foi modelado de acordo com as dimensões e demais especificações contidas no material do projeto padrão. Todos os elementos constantes nos sistemas de vedação vertical externo e interno foram modelados. Os espaços foram divididos em zonas térmicas, totalizando 24 zonas (Figura 21). As dimensões das paredes são representadas por superfícies modeladas no eixo da parede.

Foram adotadas algumas simplificações para a modelagem. As paredes da edificação são constituídas majoritariamente por blocos cerâmicos, sendo também compostas por pilares e vigas de concreto armado, que representam aproximadamente 10% das superfícies das fachadas. Estes elementos de concreto armado não foram modelados, e dessa forma, não são considerados nas simulações. O projeto padrão conta com placas metálicas perfuradas como elementos de sombreamento, que permitem ventilação e iluminação natural através das perfurações. Para configurar o funcionamento destes elementos no software de simulação, uma *schedule* foi elaborada, de modo a permitir a transmissão de 50% da radiação solar, sendo inserida no objeto *Shading:Building:Detailed* para os elementos de sombreamento representativos das placas metálicas perfuradas.

Essas simplificações foram utilizadas consistentemente em todas as simulações e para todas as zonas bioclimáticas.

Figura 21. Modelo do projeto padrão Tipo 2



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.3 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

4.3.1 Arquivo climático

A simulação térmica utiliza arquivos climáticos com a caracterização do clima da região ou cidade onde o projeto será construído. Quanto mais detalhado for o arquivo climático e quanto maior for o estudo e análise dos seus documentos, maior será a precisão nos resultados da simulação computacional (LABEEE, 2015).

A NBR 15.575-1 indica que o arquivo climático a ser utilizado na avaliação do desempenho térmico deve ter sido gerado por instituições de reconhecida capacitação técnica (universidades ou institutos de pesquisa). O RTQ-C afirma também que o arquivo climático deve oferecer valores horários para parâmetros como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar, além de ser representativo da zona bioclimática onde o projeto proposto será inserido.

No site do *EnergyPlus* é possível encontrar arquivos climáticos disponíveis para o Brasil. Os arquivos climáticos utilizados na simulação possuem extensão “epw.”: *Energyplus Weather Data* e o tipo de arquivo climático utilizado foi o *Typical Meteorological Year (TMY)*. Os arquivos foram desenvolvidos com dados obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e disponibilizados pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).

Para a análise de desempenho térmico foram utilizados dias típicos de projeto para verão e inverno definidos pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) e que podem ser visualizados nas tabelas A2 e A3 do anexo A da parte 1 da norma. Os dados extraídos destas tabelas foram as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de inverno e verão, a amplitude diária de temperatura e a temperatura de bulbo úmido. Estes dados foram inseridos no *EnergyPlus* através da ferramenta *SizingPeriod:DesignDay*, que usa estes parâmetros para emular um dia típico baseado nas informações fornecidas.

4.3.2 Materiais

Os valores de transmitância e capacidade térmica de paredes internas, externas e cobertura foram calculados de acordo com a metodologia proposta pela NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) e podem ser visualizados na Tabela 8. Os cálculos podem ser visualizados no apêndice A.

Tabela 8. Transmitância Térmica e Capacidade Térmica calculadas

Sistema de parede	Componentes	Espessura (m)	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)
Parede externa	Argamassa externa	0,03	U = 1,81	CT = 205,32
	Bloco cerâmico	0,14		
	Argamassa interna	0,03		
	Argamassa de assentamento	0,01		

Tabela 8. Transmitância Térmica e Capacidade Térmica calculadas

Sistema de parede	Componentes	Espessura (m)	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)
Parede interna	Argamassa	0,03	U = 2,32	CT = 186,26
	Bloco cerâmico	0,09		
	Argamassa	0,03		
	Argamassa de assentamento	0,01		
Cobertura	Gesso	0,016	U verão = 0,46	CT = 47,01
	Câmara de ar	0,5	U inverno = 2,24	
	Aço	0,005		
	Espuma rígida de Poliisocianurato (PIR)	0,03		
	Aço	0,005		

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o cálculo foram adotados os valores das tabelas B.2 e B.3 da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) para os materiais que compõem paredes e cobertura. Propriedades térmicas como condutividade, densidade de massa aparente e calor específico e demais características dos materiais de paredes, cobertura, pisos e portas estão apresentados na Tabela 9. Os valores de materiais que não foram encontrados nas tabelas da norma, como nos casos da Espuma rígida de Poliisocianurato (PIR) e do piso vinílico, foram retirados de catálogos comerciais de fabricantes nacionais, levando em conta as especificações dos materiais no memorial descritivo do projeto padrão. A partir dos valores de transmitância e capacidade térmica encontrados para as paredes calculou-se as espessuras das paredes equivalentes, para a inserção no programa de simulação. O cálculo da espessura da parede equivalente foi baseado na metodologia apresentada pelo LABEEE (ORDENES et al., 2003) e pode ser visualizado no apêndice A.

Tabela 9. Propriedades térmicas e características dos materiais utilizados

	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m-K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg-K)
Cerâmica (bloco 9x19x39)	0,019	0,9	1.600	920
Cerâmica (bloco 14x19x39)	0,0249	0,9	1.600	920
Argamassa interna	0,03	1,15	2.000	1.000

Tabela 9. Propriedades térmicas e características dos materiais utilizados

	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m-K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg-K)
Argamassa externa	0,03	1,15	2.000	1.000
Gesso	0,016	0,35	900	870
Aço	0,005	55	7.800	460
Espuma rígida de Poliisocianurato (PIR)	0,03	0,02	40	1.400
Piso cerâmico	0,0075	1,05	2.000	920
Piso vinílico	0,002	0,2	1.300	460
Concreto (contrapiso)	0,1	1,75	2.200	1.000
Terra argilosa seca	0,5	0,52	1.700	840
Madeira	0,035	0,15	500	230

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O coeficiente de absorvância de radiação solar da superfície da cobertura foi considerado 0,2 devido à especificação de acabamento branco para a telha metálica de aço galvanizado. As paredes externas das zonas térmicas também possuem pintura na cor branca, sendo considerada também absorvância da ordem de 0,2 de acordo com a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b).

4.3.3 Temperatura do solo

A NBR 15.575 não especifica a relação da edificação com o solo que deve ser utilizada na simulação, não havendo a exigência explícita de modelagem do solo quando a edificação esteja em contato direto com este. Entretanto, através de revisão bibliográfica (SILVA et al., 2014; SORGATO et al. 2014), constatou-se que o negligenciamento das trocas térmicas pelo piso em contato com o solo através do estabelecimento de um piso adiabático, pode exercer grande influência no resultado do nível de desempenho térmico. Dessa maneira, neste trabalho as simulações foram realizadas considerando o contato da edificação com o solo. As temperaturas do solo ao longo do ano foram calculadas com auxílio do pré-processador *Slab*, disponível no *EnergyPlus*, conforme manual de cálculo disponibilizado pelo LABCEE (UFPEL). Estes resultados foram inseridos no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* no software *EnergyPlus*, para a modelagem das temperaturas dinâmicas do solo ao longo do ano.

4.3.4 Cargas térmicas e horários de funcionamento

O método de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2013) exige que as simulações para avaliação do desempenho térmico sejam feitas sem levar em conta as cargas térmicas internas, como as decorrentes da ocupação, da iluminação e de equipamentos.

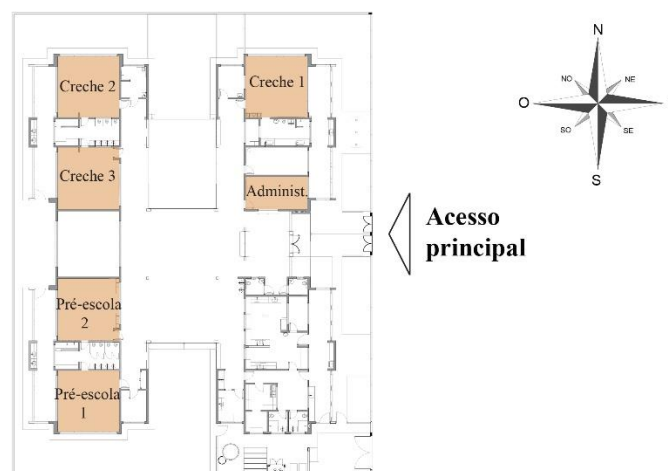
4.3.5 Infiltração de ar

A NBR 15.575-1 estipula o valor constante de 1ren/h (1 renovação de ar por hora) para quantificar as renovações de ar na edificação, sendo este o valor adotado para as simulações. A norma ainda permite utilizar uma ventilação de 5ren/h (5 renovações de ar por hora) no caso de não atendimento aos valores mínimos de desempenho térmico para verão.

4.3.6 Orientação Solar

As simulações da Fase 1 foram realizadas com a mesma orientação solar em todas as ZBs. Para facilitar a compreensão, foi definido que o acesso principal da edificação está orientado para leste conforme Figura 22. A NBR 15.575 estabelece que sejam simuladas as unidades de piores situações (sul/leste para inverno e oeste/norte para verão). Porém, para ser feita a avaliação de todos os ambientes de permanência prolongada da pré-escola que possuem diferentes orientações, a unidade escolar foi avaliada como um todo. Portanto, na Fase 1 foram simulados todos os ambientes de permanência prolongada da edificação escolar, na mesma orientação solar, em cada zona bioclimática.

Figura 22. Acesso principal orientado para leste



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.4 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

Para a avaliação do conforto térmico, as configurações relacionadas a materiais, temperatura do solo e sombreamento possuem os mesmos parâmetros já mencionados para a simulação do desempenho térmico. Entretanto, é adotado um arquivo de referência com dados climáticos anuais. As cargas térmicas provenientes de pessoas, iluminação e equipamentos são modeladas

para esta análise. Além disso, o Modelo Adaptativo deve contar com os efeitos da ventilação natural, que foi adotada e modelada para a simulação do conforto térmico. A Tabela 10 faz a comparação entre os parâmetros adotados nas análises de desempenho e conforto térmico.

Tabela 10. Parâmetros de simulação adotados para cada uma das análises

	Desempenho térmico	Conforto térmico
Arquivo climático (ano inteiro)		●
Arquivo climático (dias típicos)	●	
Materiais	●	●
Temperatura do solo	●	●
Sombreamento	●	●
Cargas térmicas e horários de ocupação/iluminação/equipamentos		●
Ventilação natural		●
Infiltração de ar	●	●

Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.4.1 Cargas térmicas e horários de funcionamento

Foram configurados os horários de uso dos espaços pelas pessoas, e de funcionamento do sistema de iluminação e equipamentos elétricos. A configuração dos horários é baseada no período de funcionamento da pré-escola, que acontece das 7h às 18h, de 1 fevereiro a 21 dezembro e de segunda a sexta, com exceção dos feriados. O período noturno, assim como todo o mês de janeiro e também o período de recesso de Natal não foram considerados no período de ocupação. O edifício escolar pode atender até 188 crianças (94 por turno) com idades entre 0 e 6 anos. Outro público frequentador da escola são professores e funcionários.

Para cada ambiente analisado neste estudo foi considerada uma taxa de ocupação baseada nas informações do projeto padrão disponibilizadas pelo FNDE (2013) e conforme entrevistas com funcionários das escolas e da prefeitura. O número de ocupantes para cada um dos ambientes de permanência prolongada é apresentado na tabela 11 abaixo.

Os usuários dos ambientes desenvolvem atividades nas quais as crianças estão sentadas e os professores em pé na maior parte do tempo. Portanto, a taxa metabólica considerada para as crianças foi de 1,0 met ou 60W/m² e para os professores e funcionários de 1,2 met ou 70W/m². Estes valores foram retirados da tabela 5.2.1.2 - *Metabolic Rates for Typical Tasks* da *Standard 55* (ASHRAE, 2013).

As cargas térmicas de iluminação e de equipamentos elétricos são as mesmas para os ambientes creche II e III e pré-escola I e II. A iluminação e os equipamentos da creche I são utilizados quando as crianças não estão em repouso, sendo estipulado, portanto, um uso menor do que as demais salas de aula. A sala de administração possui uso contínuo durante o período de funcionamento da escola.

As cargas térmicas de iluminação e de equipamentos elétricos para as salas de permanência prolongada foram estabelecidas de acordo com o projeto elétrico disponibilizado pelo FNDE (2013) e estão organizados na Tabela 11.

Tabela 11. Número de ocupantes e carga térmica por ambiente

Ambiente	Nº de alunos	Nº de professores/ funcionários	Iluminação (W)	Equipamentos (W)
Administração	-	2	128	-
Creche 1	10	1	256	150
Creche 2	16	1	256	150
Creche 3	20	1	256	150
Pré-escola 1	24	1	384	150
Pré-escola 2	24	1	384	150

Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.4.2 Ventilação natural

Como a edificação foi avaliada com os ambientes naturalmente ventilados, foi feita a configuração da ventilação natural através da ferramenta *AirflowNetwork* do programa *EnergyPlus*. Como mencionado anteriormente, o modelo adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013) foi adotado para a avaliação do conforto térmico. Portanto, a ferramenta de controle das aberturas adotada no programa foi a *ASHRAE55Adaptive*. Esta ferramenta de controle utiliza as temperaturas resultantes nos ambientes e verifica quando o nível de conforto térmico dentro de um ambiente é atingido. De acordo com o *Input Output Reference* do *EnergyPlus* (U.S. Department of Energy, 2017) todas as janelas e portas operáveis de uma zona são abertas se a temperatura operativa for maior que a temperatura de conforto calculada a partir do modelo adaptativo da *Standard 55-2010*. Foi criada uma *schedule*, levando em conta a ocupação da pré-

escola, para abrir ou fechar as janelas toda a vez que a temperatura interna ultrapassar o limite de conforto térmico, sempre que a temperatura externa não for maior que este limite e não esteja chovendo. Foi feita a configuração do modo de funcionamento e controle de portas e janelas, bem como do fator de aberturas destas e também do coeficiente do fluxo de massa de ar quando as aberturas estão fechadas.

4.5 RESULTADOS

Os resultados das avaliações de desempenho e conforto térmico são apresentados separadamente e para cada zona bioclimática. A classificação do desempenho térmico geral da edificação considerou a classificação do ambiente de pior desempenho. Somente serão apresentados os dados relativos aos ambientes de permanência prolongada (Administração, Creches 1, 2 e 3 e Pré-escolas 1 e 2) e durante o horário de funcionamento da pré-escola (7h às 18h). Os resultados referentes às zonas térmicas correspondentes à Sala de Administração e à Pré-escola 2 foram escolhidos para serem apresentados junto ao texto, por apresentarem orientações solares opostas e permitirem a compreensão do comportamento da edificação como um todo. Os resultados dos demais ambientes de permanência prolongada podem ser vistos no apêndice deste trabalho.

4.5.1 Zona bioclimática 1

Cidade representativa: Curitiba

4.5.1.1 Análise do desempenho térmico

Para o dia típico de inverno, a menor temperatura externa constatada foi de 1,41 °C às 7h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de inverno foi de Desempenho Mínimo, sendo este verificado em todas as salas (Tabela 12).

Tabela 12. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 1 - Inverno

Temperatura externa mínima: 1,41 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura mínima (°C)	5,73	5,51	5,32	5,63	5,39	5,62
Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ °C})$; Intermediário (I) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 31,40 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Intermediário (Tabela 13).

Tabela 13. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 1 - Verão

Temperatura externa máxima: 31,40 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	27,41	27,12	27,13	27,15	27,27	27,06
Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Verifica-se que os critérios de desempenho térmico exigidos para ambientes de permanência prolongada são alcançados em situações de inverno e verão na zona bioclimática 1.

4.5.1.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 1

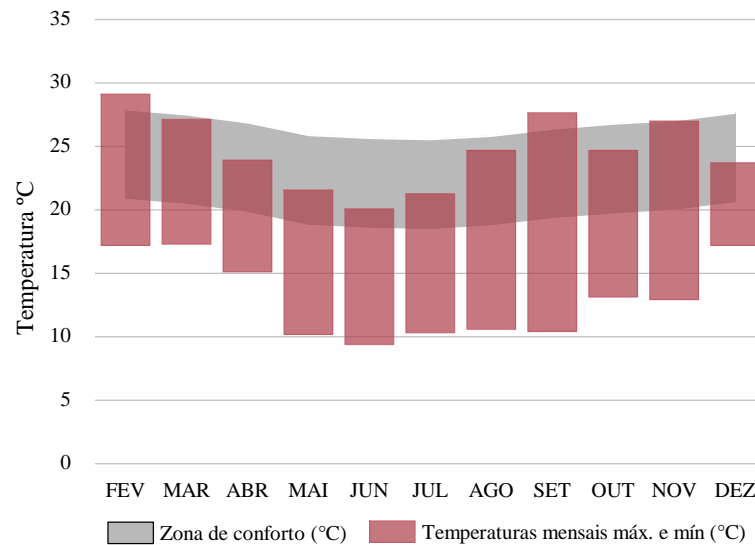
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	21,37	20,92	27,92
Março	20,07	20,52	27,52
Abril	18,06	19,90	26,90
Mai	14,80	18,89	25,89
Junho	14,06	18,66	25,66
Julho	13,74	18,56	25,56
Agosto	14,62	18,83	25,83
Setembro	16,41	19,39	26,39
Outubro	17,66	19,78	26,78
Novembro	18,61	20,07	27,07
Dezembro	20,51	20,66	27,66

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

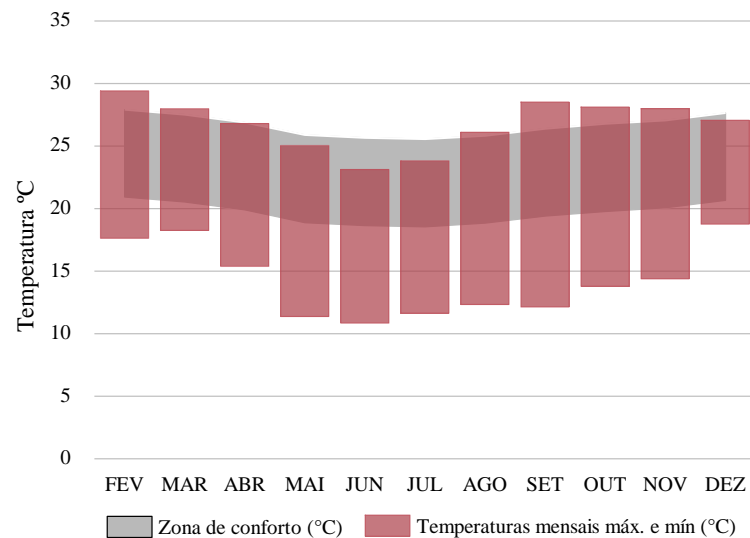
Com base nos Gráficos 1 e 2 abaixo, podemos verificar que a maior parte das temperaturas encontradas nos ambientes internos nos meses de inverno (junho, julho e agosto) se encontram fora da faixa de conforto. Também pode ser observado que temperaturas mais baixas que as da zona de conforto também ocorrem nos outros meses. A predominância de temperaturas operativas fora da faixa de conforto calculada é observada, majoritariamente, em situações de frio.

Gráfico 1. Administração: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 2. Pré-escola 2: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto

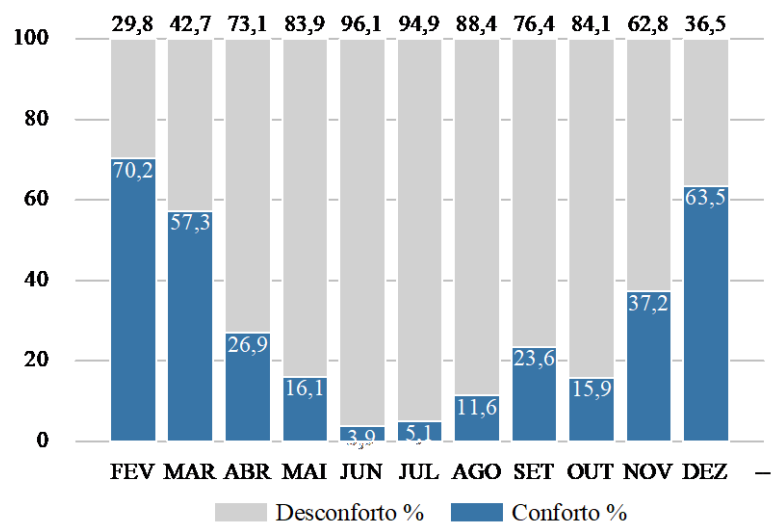


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Nos Gráficos 3 e 4, é possível visualizar o Percentual de horas Ocupadas em Conforto (POC) das salas analisadas e como este percentual varia ao longo do ano letivo. Podemos notar que o menor POC é verificado nos meses de inverno, pois apresentam mais horas com temperaturas fora da zona de conforto. A sala de Administração apresenta menos de 20% das horas ocupadas em situação de conforto nos meses de inverno, enquanto os demais ambientes não chegam a 50% no mesmo período. Os períodos de outono e primavera também possuem um POC baixo

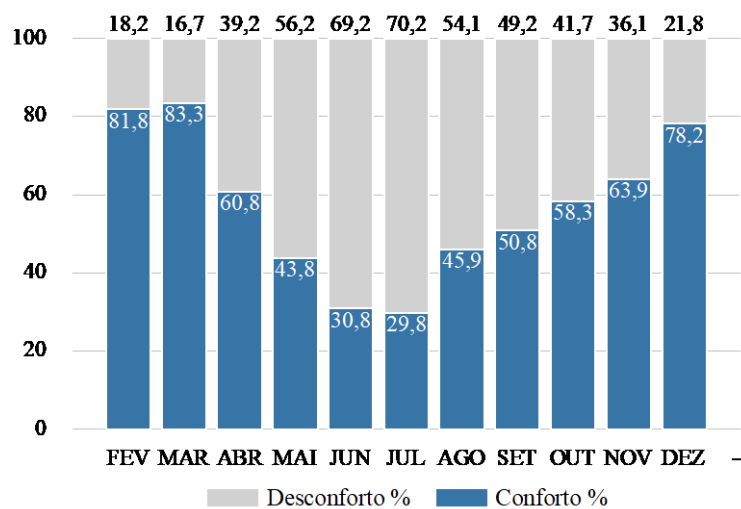
devido às temperaturas baixas. Os meses que obtiveram os maiores POC foram dezembro, fevereiro e março, ou seja, meses de início, auge ou fim do verão. Embora estes meses apresentaram maiores índices de POC para a maioria das zonas, a Administração ainda apresentou valores de POC abaixo de 71%. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice B.

Gráfico 3. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 4. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.2 Zona bioclimática 2

Cidade representativa: Pelotas

4.5.2.1 Análise do desempenho térmico

Para o dia típico de inverno, a menor temperatura externa constatada foi de 3,28 °C às 7h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de inverno foi de Desempenho Mínimo. (Tabela 15).

Tabela 15. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 2 - Inverno

Temperatura externa mínima: 3,28 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura mínima (°C)	8,87	8,42	8,23	8,55	8,27	8,55
Classificação NBR 15.575	I	I	M	I	M	I

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ °C})$; Intermediário (I) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 34,80 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Superior, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 16).

Tabela 16. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 2 - Verão

Temperatura externa máxima: 34,80 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	28,94	28,91	28,90	28,80	28,84	28,69
Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido na zona bioclimática 2 no inverno e no verão.

4.5.2.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 2

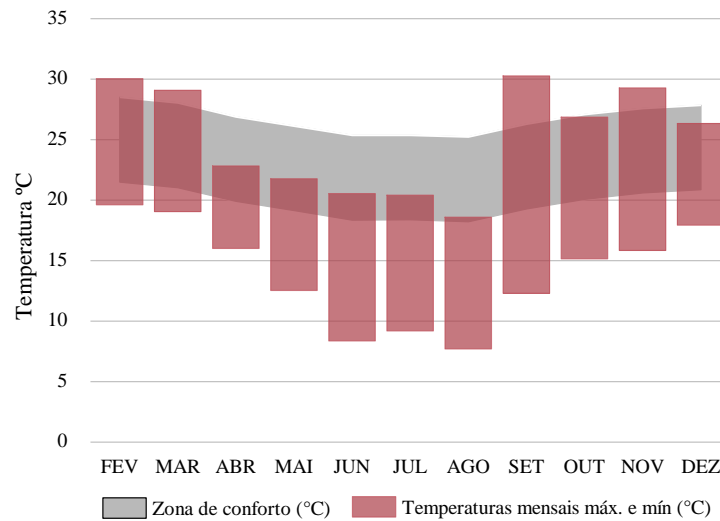
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	23,23	21,50	28,50
Março	21,74	21,04	28,04
Abril	18,04	19,89	26,89
Maiο	15,57	19,13	26,13
Junho	13,07	18,35	25,35
Julho	13,11	18,36	25,36
Agosto	12,64	18,22	25,22
Setembro	16,08	19,28	26,28
Outubro	18,64	20,08	27,08
Novembro	20,26	20,58	27,58
Dezembro	21,14	20,85	27,85

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

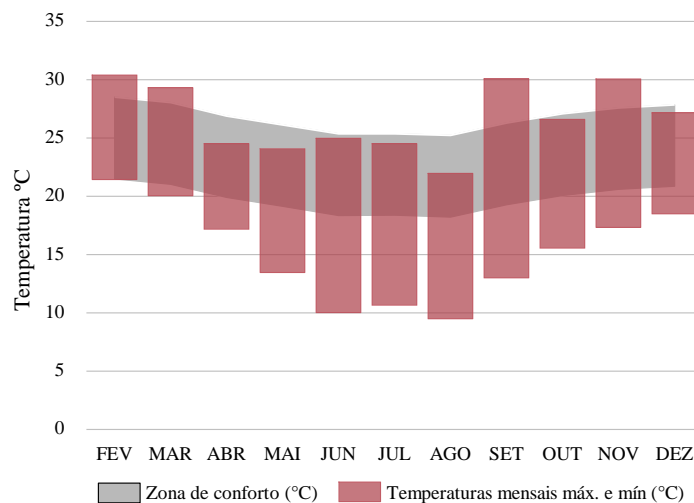
Com base nos Gráficos 5 e 6 abaixo, podemos afirmar que a maior parte das temperaturas encontradas nos ambientes nos meses de inverno se encontram fora da faixa de conforto. Os períodos de outono e primavera ainda apresentam várias temperaturas abaixo da zona de conforto. Os meses mais quentes apresentam mais horas acumuladas com temperaturas dentro da zona de conforto e apesar de haver temperaturas fora dela, estas não possuem um desvio para fora tão grande quanto no inverno.

Gráfico 5. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 6. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto

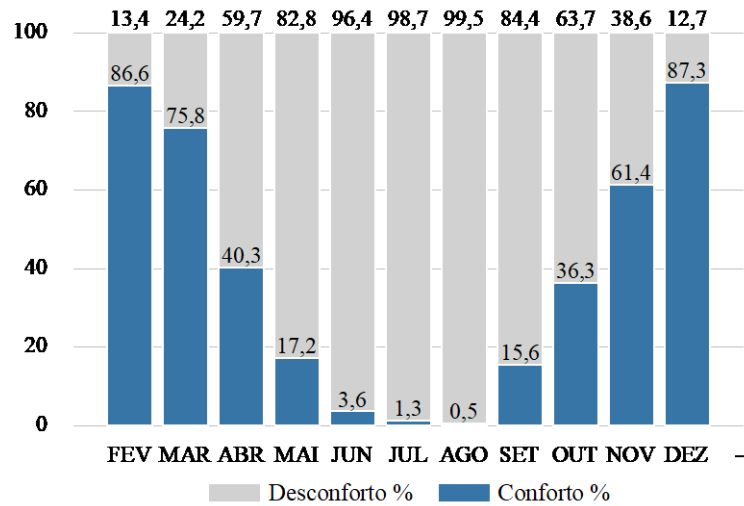


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Assim como na ZB 1, os gráficos de percentual de horas em conforto (Gráficos 7 e 8) mostram que o menor POC está nos meses de inverno, que possuem temperaturas, em grande parte do tempo, abaixo da temperatura mínima da faixa de conforto. Nos meses de inverno, a sala de Administração, por exemplo, possui menos de 5% das horas em conforto. As Creches e as Pré-escolas não obtiveram 40% das horas em conforto para o mesmo período. Nos meses de outono e primavera o POC cresce para todas as salas analisadas. Porém, a Administração que

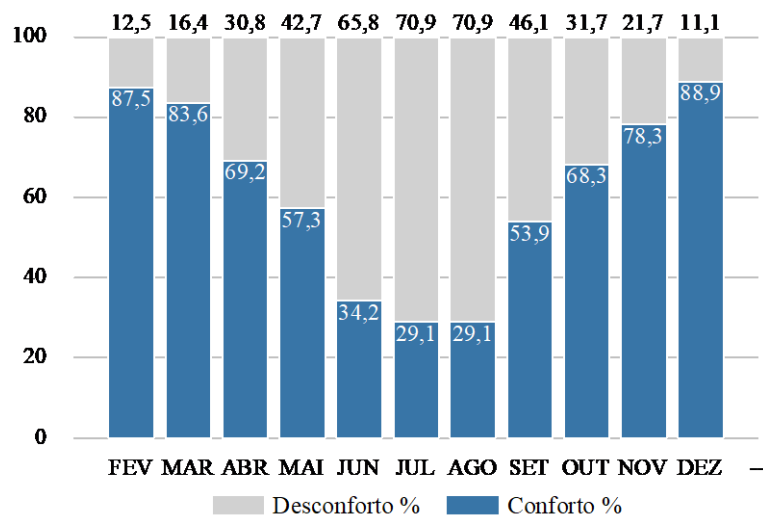
apresentou temperaturas mais frias, ainda possui POCs baixos para este período. Assim como na ZB 1, o período que obteve os maiores POCs foram os meses de verão que obtiveram valores acima de 80%. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice C.

Gráfico 7. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 8. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.3 Zona bioclimática 3

Cidade representativa: Porto Alegre

4.5.3.1 Análise do desempenho térmico

Para o dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 4,82 °C às 7h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de inverno não atingiu o Desempenho Mínimo (Tabela 18).

Tabela 18. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 3 - Inverno

Temperatura externa mínima: 4,82 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura mínima (°C)	7,83	7,62	7,42	7,70	7,50	7,68
Classificação NBR 15.575	M	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende

Critérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ °C})$; Intermediário (I) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,90 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Intermediário (Tabela 19).

Tabela 19. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 3 - Verão

Temperatura externa máxima: 35,90 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	31,98	31,76	31,75	31,66	31,73	31,57
Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S

Critérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Na zona bioclimática 3, o nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido no verão, mas não no inverno.

4.5.3.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 20 abaixo.

Tabela 20. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 3

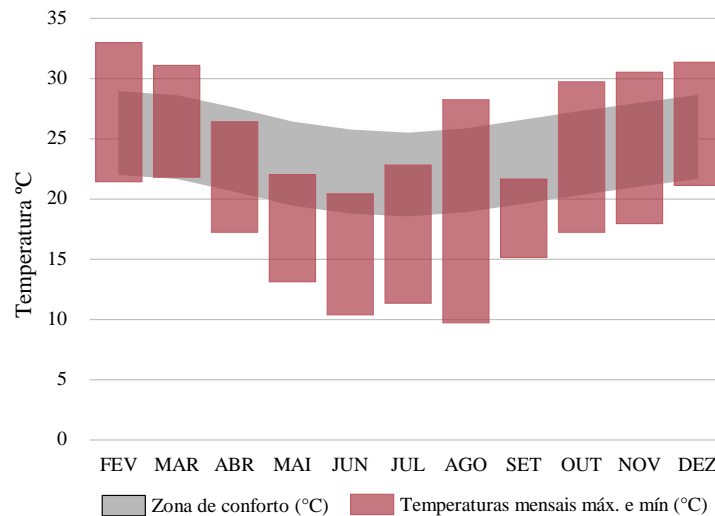
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	24,98	22,04	29,04
Março	23,95	21,72	28,72
Abril	20,57	20,68	27,68
Maiο	16,81	19,51	26,51
Junho	14,67	18,85	25,85
Julho	13,87	18,60	25,60
Agosto	15,06	18,97	25,97
Setembro	17,35	19,68	26,68
Outubro	19,72	20,41	27,41
Novembro	21,89	21,09	28,09
Dezembro	23,96	21,73	28,73

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

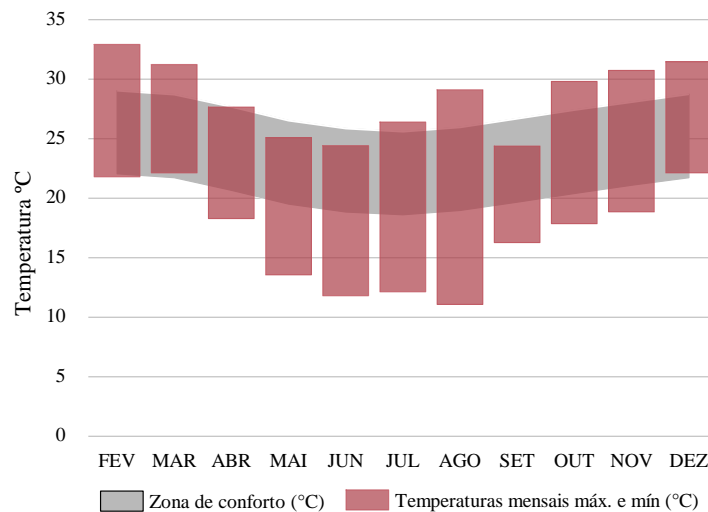
Similarmente às ZBs 1 e 2, a maior parte das temperaturas encontradas nos ambientes nos meses de inverno se encontram fora da faixa de conforto de acordo com os resultados mostrados nos Gráficos 9 e 10. Os meses de outono e primavera apresentam temperaturas fora da faixa de conforto para cima e para baixo. No período de verão, há um desvio para cima da zona de conforto. A significativa parte das temperaturas abaixo da zona de conforto no inverno e acima no verão demonstram o desafio que a ZB3 apresenta para adequação das edificações para ambos períodos.

Gráfico 9. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 10. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto

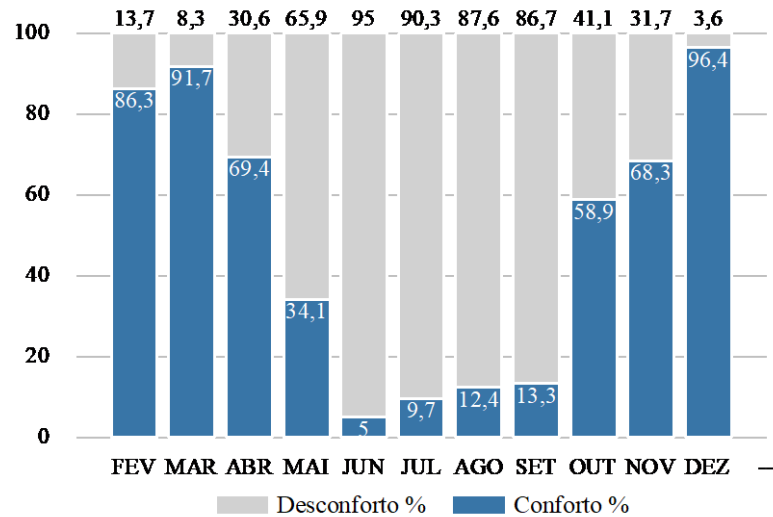


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Nos Gráficos 11 e 12 abaixo, é possível visualizar a porcentagem de horas em conforto das salas e podemos notar que a menor POC está nos meses de inverno, assim como acontece na ZB 1 e ZB 2. Nestes meses, a sala de Administração possui menos de 15% das horas em conforto. Enquanto que as demais salas não chegam a 45% de horas ocupadas em conforto nos mesmos meses de inverno. Os meses que obtiveram maiores POCs variam de sala para sala, porém se destacam os meses mais quentes: fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. Nestes meses, quase todos os ambientes apresentaram valores acima de 80% das

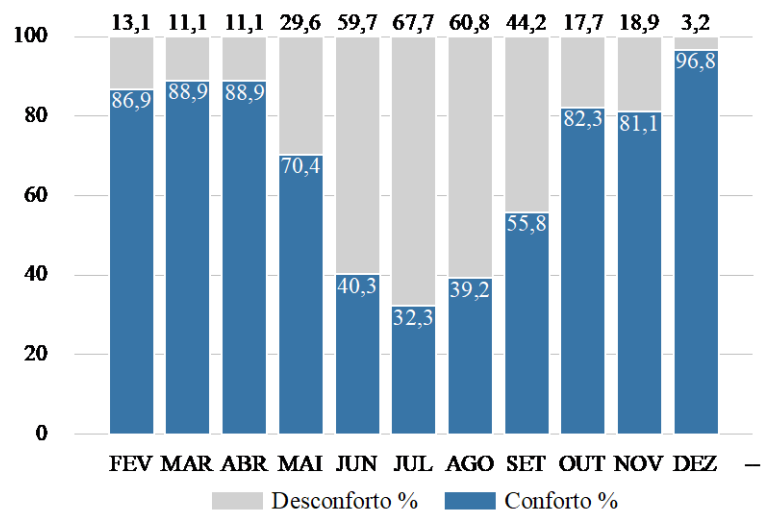
horas ocupadas em conforto, com exceção da sala de Administração que só não atingiu esta porcentagem para o mês de abril e novembro. Nesta ZB, novamente o projeto padrão Tipo 2 foi mais adequado para períodos quentes do que para períodos frios. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice D.

Gráfico 11. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 12. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.4 Zona bioclimática 4

Cidade representativa: Brasília

4.5.4.1 Análise do desempenho térmico

Para o dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 10,74 °C às 7h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de inverno foi de Desempenho Mínimo, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 21).

Tabela 21. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 4 - Inverno

Temperatura externa mínima: 10,74 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura mínima (°C)	14,62	14,45	14,34	14,58	14,36	14,58
Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ °C})$; Intermediário (I) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 31,20 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Superior, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 22).

Tabela 22. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 4 - Verão

Temperatura externa máxima: 31,20 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	26,96	26,43	26,46	26,54	26,84	26,46
Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido no inverno e no verão na zona bioclimática 4.

4.5.4.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 4

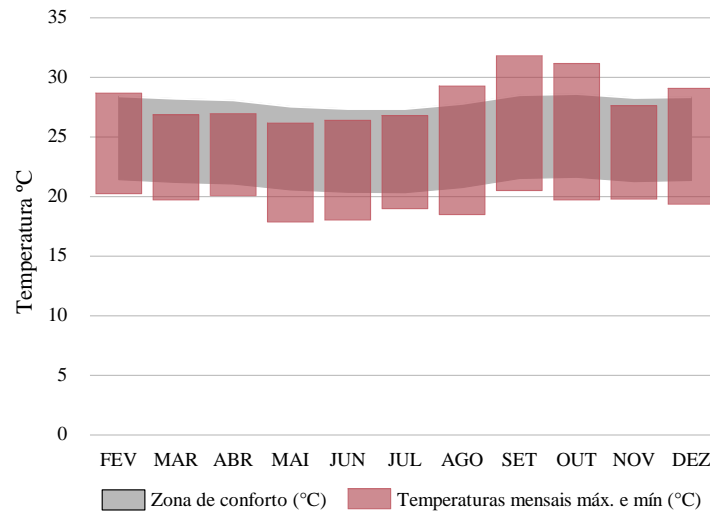
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	22,96	21,42	28,42
Março	22,28	21,21	28,21
Abril	21,86	21,08	28,08
Maiο	20,19	20,56	27,56
Junho	19,53	20,36	27,36
Julho	19,47	20,34	27,34
Agosto	20,86	20,77	27,77
Setembro	23,25	21,51	28,51
Outubro	23,58	21,61	28,61
Novembro	22,47	21,27	28,27
Dezembro	22,77	21,36	28,36

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

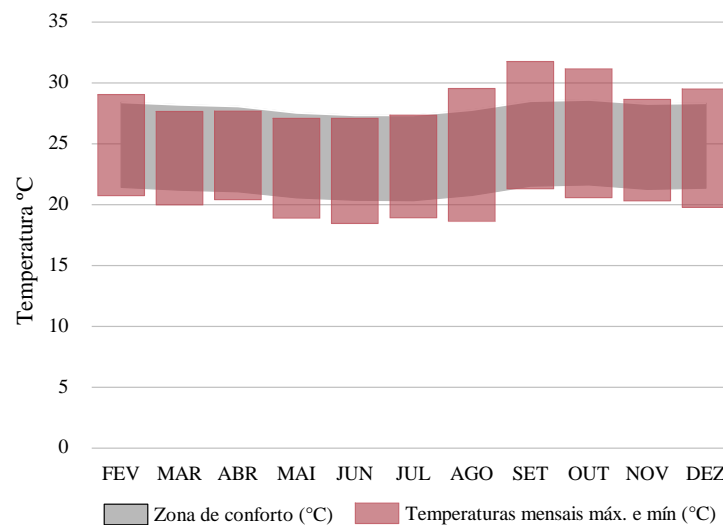
Comparando as temperaturas encontradas para a zona de conforto com as temperaturas encontradas nos ambientes escolares analisados podemos afirmar que a ZB 4 apresenta maior frequência de temperaturas dentro da zona de conforto estabelecida do que as três primeiras ZBs analisadas. Podemos observar nos Gráficos 13 e 14 abaixo que todos os meses apresentam um grande número de temperaturas dentro da zona de conforto. Os meses que apresentam mais temperaturas fora da zona de conforto são os meses de setembro e outubro. Embora estes meses também apresentem desconforto em relação ao frio, a maior parte das temperaturas em desconforto são em relação ao calor.

Gráfico 13. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 14. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto

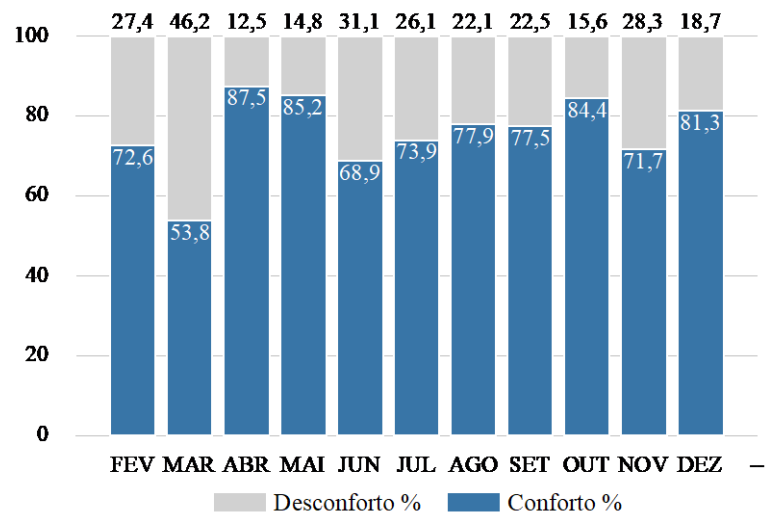


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Os gráficos de percentual de horas em conforto mostram grandes índices de POC para todos os meses do ano e para todas as salas analisadas. Os resultados variam de uma sala para outra, porém, meses como abril, maio e outubro se destacam pelos altos valores de POCs, correspondendo a mais de 90% em quase todas as salas, com exceção da Administração, onde os valores ficam acima de 80%. Como pode ser visto nos Gráficos 15 e 16, os resultados da ZB 4 se destacam por apresentar porcentagens altas de horas ocupadas em conforto em vários meses

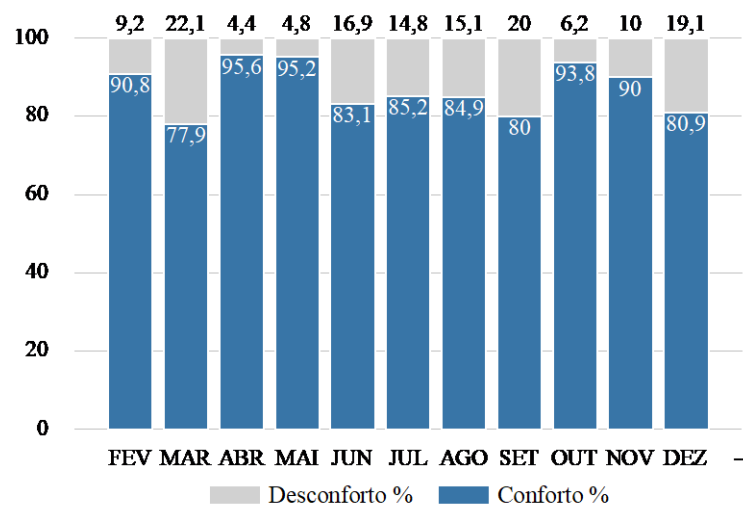
para todas as salas e não apresentar nenhum POC abaixo de 50% das horas. Para a maioria dos ambientes não houve muita variação nas porcentagens apresentadas indicando que a ZB 4 apresenta poucos períodos de desconforto térmico. A Administração apresentou maior variação de valores de POC durante o ano. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice E.

Gráfico 15. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 16. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.5 Zona bioclimática 5

Cidade representativa: Santos

4.5.5.1 Análise do desempenho térmico

Para o dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 7,85 °C às 7h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de inverno foi de Desempenho Mínimo, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 24).

Tabela 24. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 5 - Inverno

Temperatura externa mínima: 7,85 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura mínima (°C)	11,29	11,15	11,03	11,29	11,06	11,29
Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 3 \text{ °C})$; Intermediário (I) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 5 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ mín.} \geq (T_e \text{ mín.} + 7 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,10 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Intermediário, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 25).

Tabela 25. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 5 - Verão

Temperatura externa máxima: 35,10 °C;						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	32,41	32,41	32,41	31,99	31,98	31,90
Classificação NBR 15.575	I	I	I	I	I	I

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido na zona bioclimática 5 no inverno e no verão em todos os ambientes.

4.5.5.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 5

Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	25,43	22,18	29,18
Março	24,32	21,84	28,84
Abril	22,75	21,35	28,35
Maiο	20,37	20,61	27,61
Junho	19,24	20,26	27,26
Julho	18,43	20,01	27,01
Agosto	18,86	20,15	27,15
Setembro	19,93	20,48	27,48
Outubro	21,51	20,97	27,97
Novembro	22,48	21,27	28,27
Dezembro	24,23	21,81	28,81

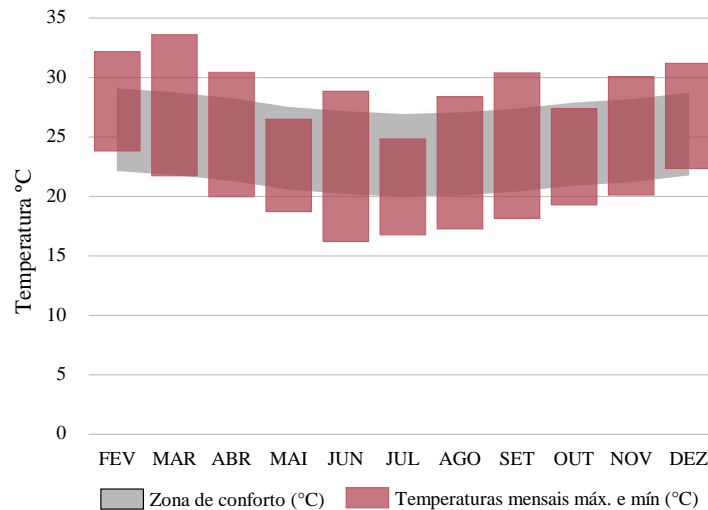
Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Após comparar as temperaturas encontradas para a zona de conforto com as temperaturas encontradas nos ambientes escolares analisados podemos verificar que a ZB 5 apresenta desconforto por calor e por frio. Com exceção da Administração, nas demais salas, o desvio das temperaturas altas para fora da zona de conforto parecem apresentar um desvio maior do que as temperaturas baixas fora da zona. Podemos observar nos Gráficos 17 e 18 abaixo que até mesmo os meses do período de inverno apresentam desconforto em relação ao calor. Junho e agosto, por exemplo, não apresentam desconforto apenas para o frio, mas também para o calor.

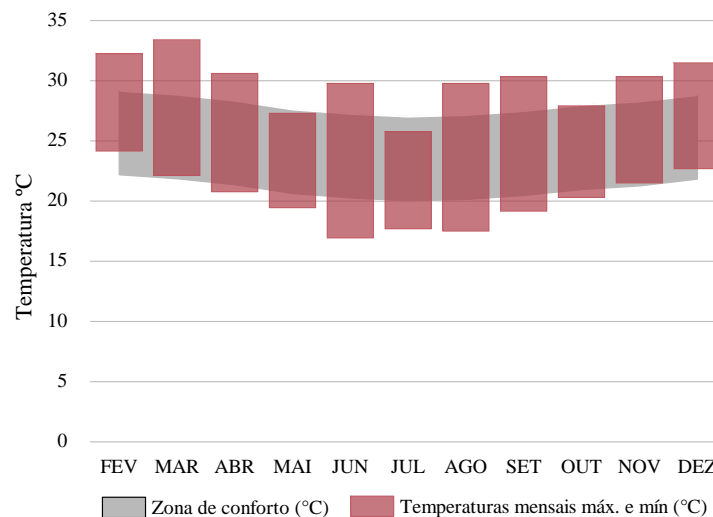
Apenas o mês de julho não apresenta desconforto por calor, sendo que em fevereiro e março este desconforto se acentua.

Gráfico 17. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 18. Pré-escola: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto

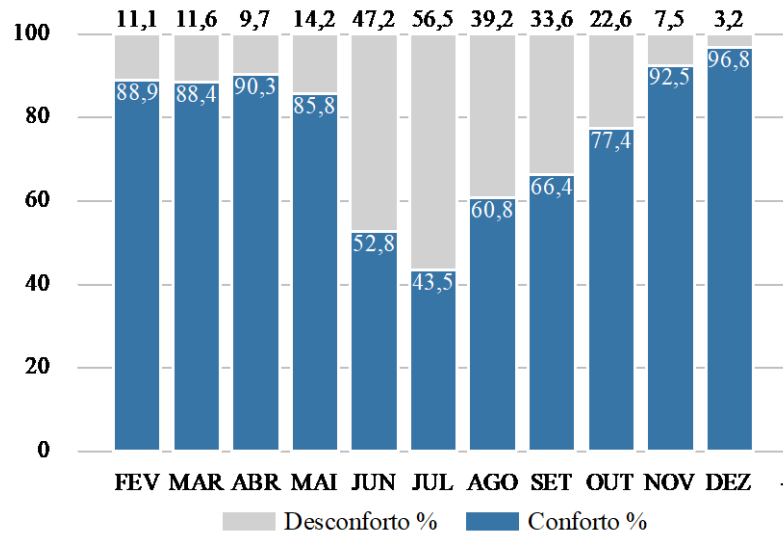


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Os Gráficos 19 e 20 abaixo mostram que os POCs mais baixos já não são mais nos meses de inverno para todas as salas, como era notado nas ZBs 1, 2 e 3. A Administração continua apresentando valores baixos de POCs para o período de inverno, porém nas demais salas, os

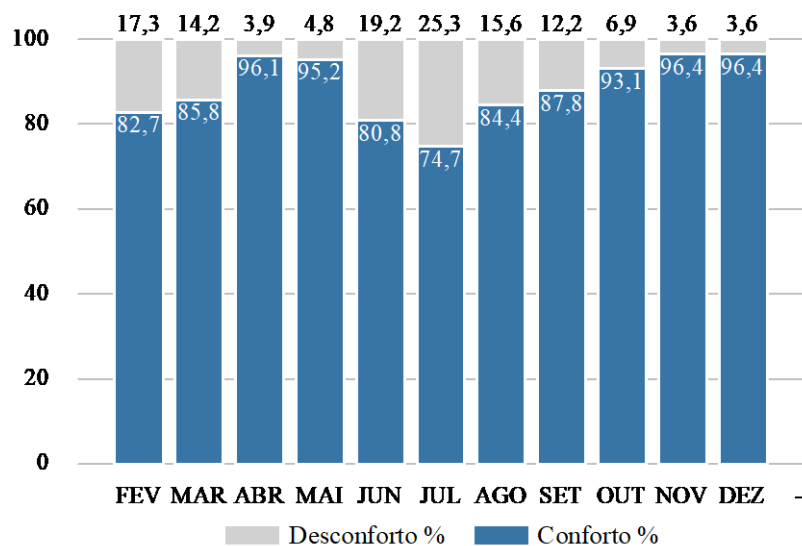
POCs dos meses de inverno estão muito próximos dos POCs no período de verão. Com exceção da Administração, as demais salas apresentaram valores de POCs acima de 69% para todos os meses do ano. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice F.

Gráfico 19. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 20. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.6 Zona bioclimática 6

Cidade representativa: Goiânia

4.5.6.1 Análise do desempenho térmico

A norma não possui critério de avaliação do desempenho térmico para inverno para esta zona bioclimática. Sendo assim, a avaliação para o período de inverno não foi feita. Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 34,60 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Superior, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 27).

Tabela 27. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 6 - Verão

Temperatura externa máxima: 34,60 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	29,63	29,11	29,13	29,18	29,50	29,11
Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Critérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido no verão na zona bioclimática 6, já que para inverno não há exigência para esta zona.

4.5.6.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 6

Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	24,51	21,90	28,90
Março	25,35	22,16	29,16
Abril	24,75	21,97	28,97
Mai	23,36	21,54	28,54

Tabela 28. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 6

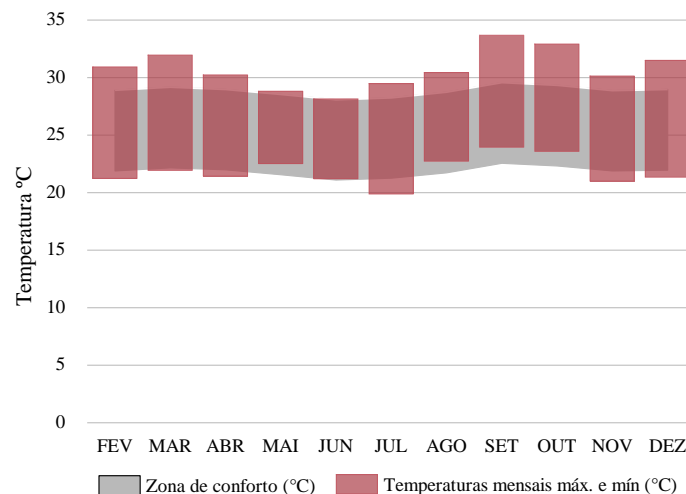
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Junho	21,87	21,08	28,08
Julho	22,41	21,25	28,25
Agosto	23,98	21,73	28,73
Setembro	26,66	22,56	29,56
Outubro	25,90	22,33	29,33
Novembro	24,46	21,88	28,88
Dezembro	24,74	21,97	28,97

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

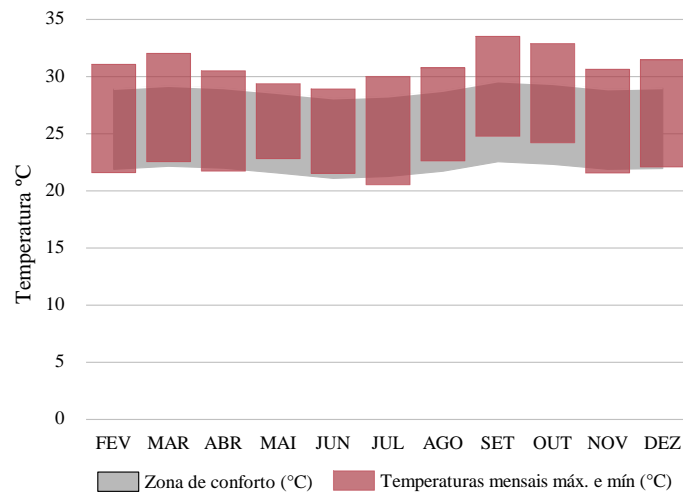
As temperaturas encontradas nos ambientes analisados foram comparadas com as temperaturas calculadas para a zona de conforto. Com base nos Gráficos 21 e 22 abaixo, podemos afirmar que a ZB 6 apresenta maior desconforto por calor do que frio. As temperaturas acima da faixa de zona de conforto são frequentes ao longo de todo o ano. O desconforto por frio existe principalmente no mês de julho em todas as salas. Os meses setembro e outubro se destacam com as temperaturas mais altas para fora da zona de conforto.

Gráfico 21. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

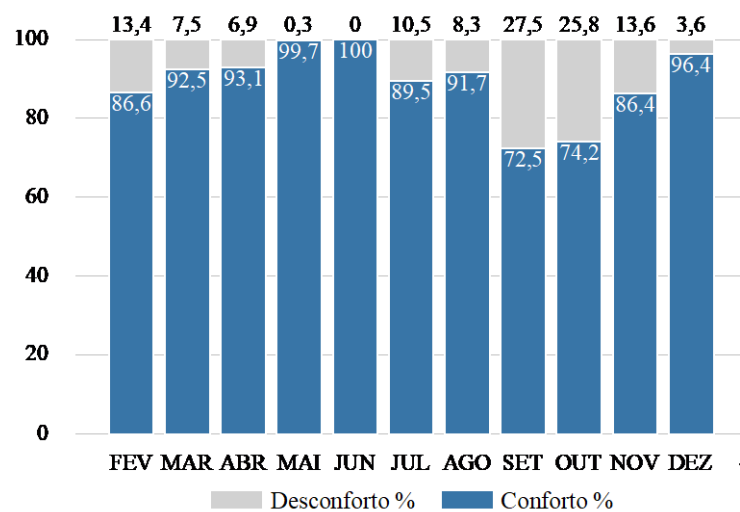
Gráfico 22. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

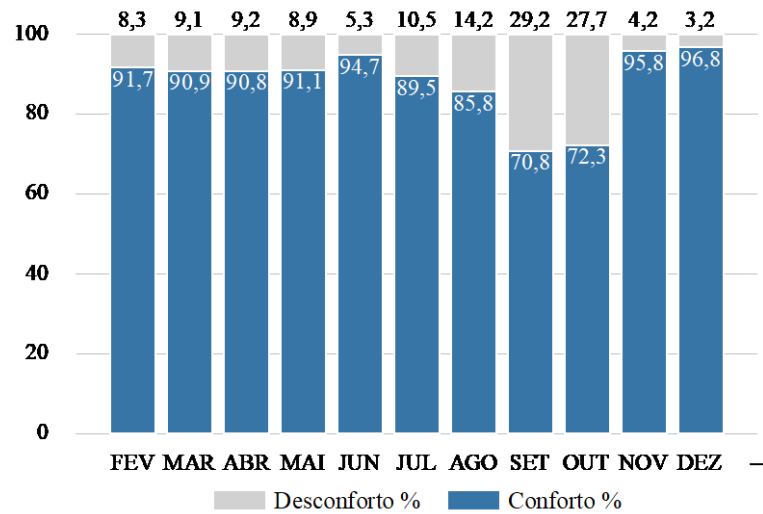
Os gráficos de percentual de horas ocupadas em conforto mostram valores altos de POCs para quase todos os meses do ano. De acordo com os Gráficos 23 e 24 é possível notar que os meses de setembro e outubro são os que apresentam os menores valores de POCs, mas que ainda assim ficam acima de 70%. Os demais meses apresentam porcentagens de horas ocupadas em conforto acima de 80% em todos os ambientes. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice G.

Gráfico 23. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 24. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.7 Zona bioclimática 7

Cidade representativa: Teresina

4.5.7.1 Análise do desempenho térmico

A avaliação para o período de inverno não foi feita nesta zona, pois a norma não exige avaliação do desempenho térmico neste período. Para o dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 37,90 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Superior, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 29).

Tabela 29. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 7 - Verão

Temperatura externa máxima: 37,90 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	33,74	32,83	32,85	32,91	33,54	32,86
Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 4 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada foi atingido na zona bioclimática 7 no verão, que é o único período de exigência para esta zona.

4.5.7.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 7

Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	27,71	22,89	29,89
Março	27,54	22,84	29,84
Abril	27,56	22,84	29,84
Maiο	27,96	22,97	29,97
Junho	28,24	23,05	30,05
Julho	28,62	23,17	30,17
Agosto	29,67	23,50	30,50
Setembro	30,61	23,79	30,79
Outubro	31,70	24,13	31,13
Novembro	30,99	23,91	30,91
Dezembro	29,96	23,59	30,59

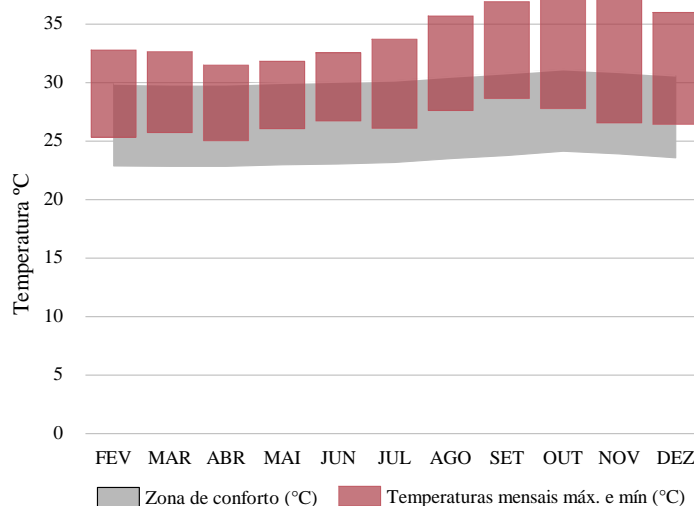
Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Ao comparar as temperaturas encontradas para a zona de conforto com as temperaturas encontradas nos ambientes escolares analisados podemos notar que a ZB 7 apresenta desconforto em relação ao calor durante todos os meses do ano. De acordo com os Gráficos 25 e 26, pode ser verificado que não há temperaturas abaixo da faixa da zona de conforto, ou seja, não há desconforto em relação ao frio nesta ZB. Os meses que se destacam pelo desconforto térmico são os de primavera e verão, que apresentam temperaturas acima de 35°C (lembrando que o mês de janeiro não está sendo analisado por não haver ocupação da pré-escola neste

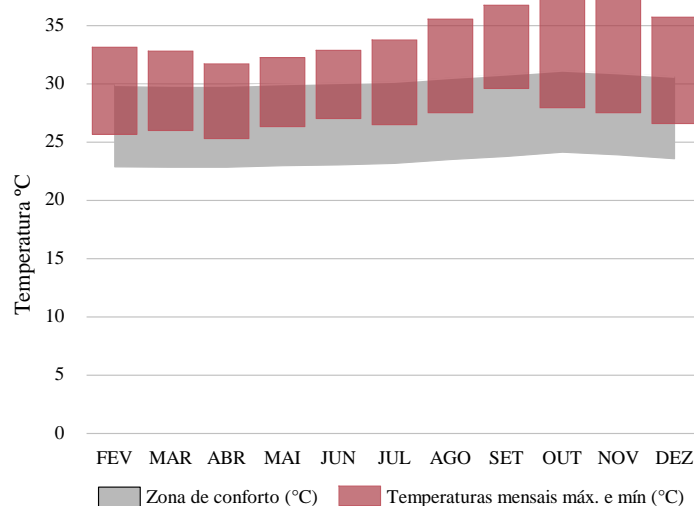
período). Até mesmo o mês de agosto (considerado inverno no hemisfério sul) possui altas temperaturas, chegando inclusive aos 35°C.

Gráfico 25. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 26. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto

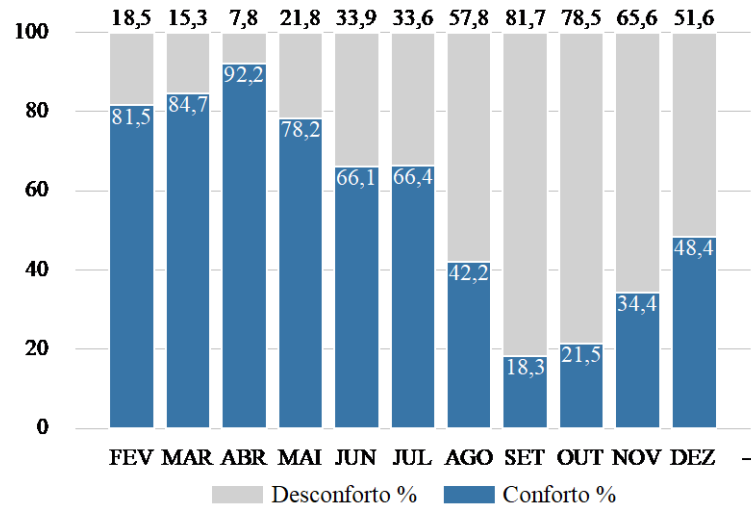


Fonte: elaborada pela autora (2019)

Os Gráficos 27 e 28 mostram o percentual de horas ocupadas em conforto e reafirmam que os meses com menores POCs são os meses de primavera e verão, além de agosto. Todos apresentaram POCs abaixo de 45% para todos os ambientes. Os demais meses, (fevereiro a julho) apresentaram POCs mais elevados. Abril foi o mês com os valores mais altos de POC,

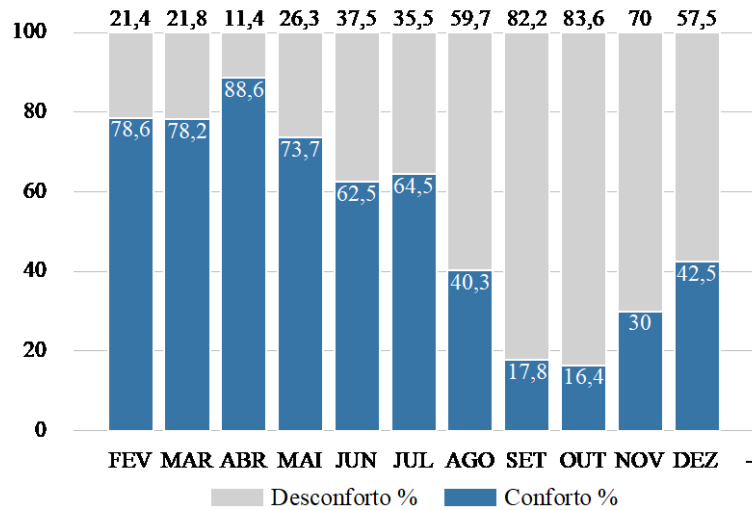
ficando acima de 88% em todos os ambientes. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice H.

Gráfico 27. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 28. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.5.8 Zona bioclimática 8

Cidade representativa: Rio de Janeiro

4.5.8.1 Análise do desempenho térmico

A norma não possui critério de avaliação do desempenho térmico para inverno para esta zona bioclimática, assim, a avaliação para o período de inverno não foi feita. Para o dia típico de

verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,10 °C às 15h. De acordo com as temperaturas internas resultantes e segundo os critérios de desempenho térmico, a classificação da pré-escola para o período de verão foi de Desempenho Superior, sendo este verificado em todos os ambientes (Tabela 31).

Tabela 31. Temperaturas resultantes e classificação de desempenho térmico para ZB 8 - Verão

Temperatura externa máxima: 35,10 °C						
	Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Temperatura máxima (°C)	32,63	32,23	32,25	32,28	32,45	32,21
Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M) = $T_i \text{ máx.} \leq T_e \text{ máx.}$; Intermediário (I) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 1 \text{ °C})$ e Superior (S) = $T_i \text{ máx.} \leq (T_e \text{ máx.} - 2 \text{ °C})$.

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Na zona bioclimática 8, que só possui exigência para o período de verão, foi atingido o nível de desempenho térmico exigido para ambientes de permanência prolongada.

4.5.8.2 Análise do conforto térmico

Os limites mínimos e máximos mensais calculados para a zona de conforto térmico são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 8

Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Fevereiro	28,03	22,99	29,99
Março	26,12	22,40	29,40
Abril	25,32	22,15	29,15
Mai	22,72	21,34	28,34
Junho	21,62	21,00	28,00
Julho	20,79	20,75	27,75
Agosto	21,82	21,06	28,06

Tabela 32. Limites inferiores e superiores de temperaturas operativas mensais para ZB 8

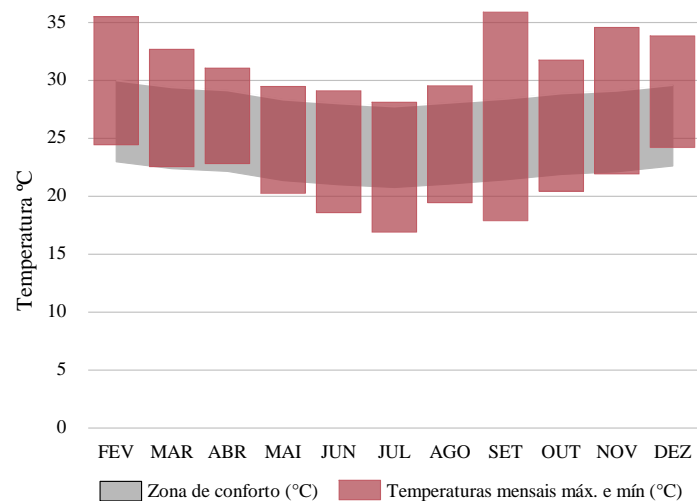
Mês	Temperatura externa média (°C)	Limite inferior da Temperatura operativa (°C)	Limite superior da Temperatura operativa (°C)
Setembro	22,96	21,42	28,42
Outubro	24,47	21,88	28,88
Novembro	25,17	22,10	29,10
Dezembro	26,83	22,62	29,62

Obs: o mês de janeiro não foi incluído na análise por não haver ocupação da pré-escola

Fonte: elaborada pela autora (2019)

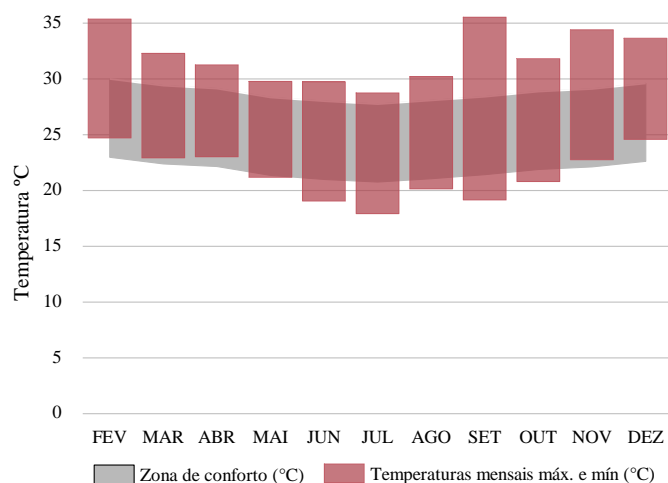
Comparando as temperaturas encontradas nos ambientes de permanência prolongada com as temperaturas estabelecidas para a zona de conforto, podemos afirmar que a maior parte das temperaturas na ZB 8 se encontram acima da zona de conforto (Gráficos 29 e 30), fazendo com que o desconforto por calor seja mais frequente do que o por frio. Apesar de que os meses de inverno apresentam temperaturas abaixo da zona de conforto, estas não são tão expressivas quanto as temperaturas mais altas encontradas nos meses de primavera e verão. Nestes períodos os meses de setembro e fevereiro se destacam como os que apresentam as temperaturas que mais fogem da zona de conforto apresentando temperaturas acima de 35°C.

Gráfico 29. Administração: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

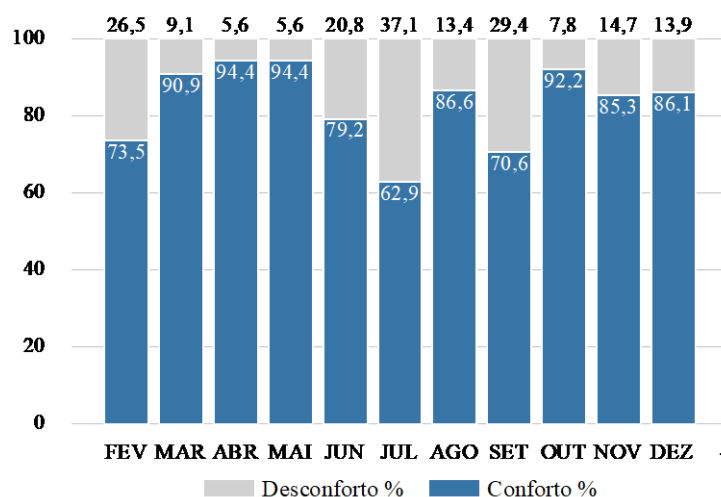
Gráfico 30. Pré-escola 2: temperaturas mínimas e máximas e zona de conforto



Fonte: elaborada pela autora (2019)

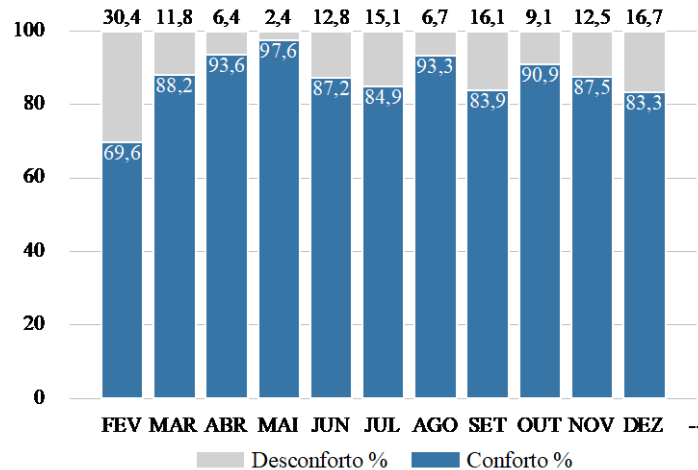
Os gráficos 31 e 32, mostram que os POCs variam bastante conforme os meses do ano e também por ambiente avaliado. Fevereiro se destaca com níveis menores de POCs devido ao calor. Na Administração os meses de julho e setembro também apresentaram níveis menores de POCs pois apresentam desconforto para frio e calor. Os demais meses apresentam valores acima de 80% em quase todas os ambientes. Os gráficos dos demais ambientes de permanência prolongada analisados encontram-se no Apêndice I.

Gráfico 31. Administração: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Gráfico 32. Pré-escola 2: Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Fonte: elaborada pela autora (2019)

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para melhor compreensão de todos os resultados apresentados anteriormente foram elaboradas tabelas-resumo, para os resultados de desempenho e conforto térmico.

Na Tabela 33 estão resumidas as classificações do desempenho térmico para inverno e verão, de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013) para cada ZB.

Tabela 33. Classificações de desempenho térmico

		ZB 1	ZB 2	ZB 3	ZB 4	ZB 5	ZB 6	ZB 7	ZB 8
Classificação NBR 15.575	Inverno	M	M	Não atende	M	M	-	-	-
	Verão	I	S	I	S	I	S	S	S

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S)

Fonte: elaborada pela autora (2019)

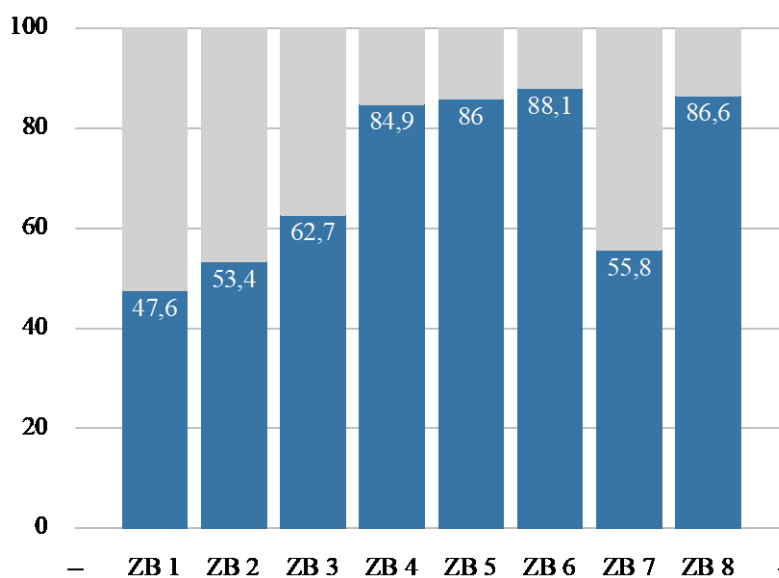
A análise do desempenho térmico do edifício através da adoção dos parâmetros da NBR 15.575 (ABNT, 2013) classificou o projeto padrão Tipo 2 com níveis Mínimo e Intermediário para o período de inverno, dependendo da Zona Bioclimática analisada. Somente a ZB 3 não conseguiu atingir o nível Mínimo de desempenho térmico, enquanto nenhuma zona alcançou o nível Superior. Por outro lado, em situação de verão, as classificações de desempenho térmico variaram de Intermediário a Superior. Dessa maneira, à exceção da ZB 3 em situação de

inverno, o projeto obteria os níveis de desempenho térmico requeridos pelo Manual de diretrizes técnicas para projetar edifícios educacionais do Programa Proinfância para as demais zonas bioclimáticas brasileiras.

ZBs que possuem temperaturas mais elevadas durante todo o ano, como as ZBs 6, 7 e 8, apresentaram ambientes internos com desempenho térmico Superior, mesmo com temperaturas internas acima de 30 °C. Em contrapartida, as ZBs com temperaturas mais baixas, como as ZBs 1 e 2, apresentaram um desempenho térmico Mínimo para a edificação, mesmo com temperaturas internas da ordem de 5,32 °C em Curitiba (ZB 1) e de 8,23 °C em Pelotas (ZB 2).

O Gráfico 33 abaixo representa a média anual do POC da pré-escola por ZB. O valor representa a média dos POCs anuais de cada ambiente de permanência prolongada, ponderada pela respectiva área.

Gráfico 33. Médias ponderadas dos POCs anuais da pré-escola em cada ZB

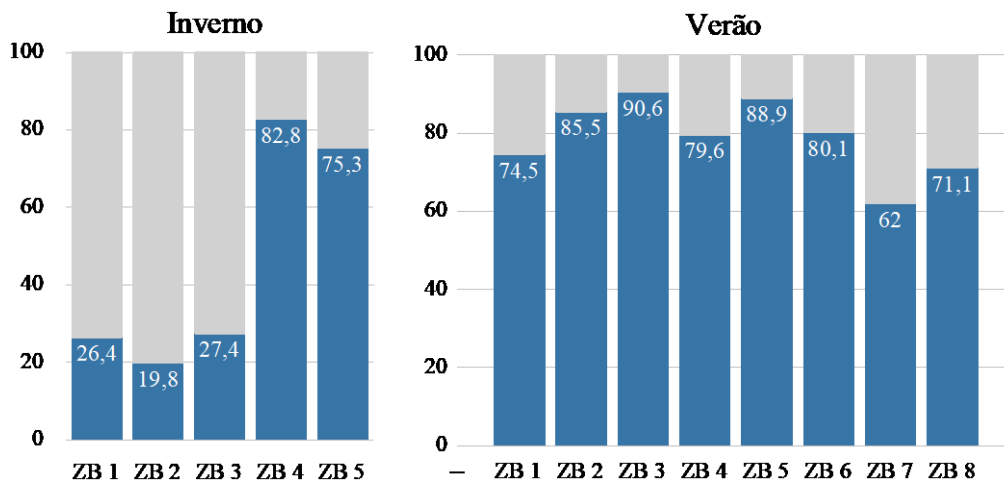


Fonte: elaborada pela autora (2019)

A análise do conforto térmico da edificação pelo Modelo Adaptativo mostrou que as ZBs 1, 2 e 3 apresentaram mais horas com temperaturas fora da zona de conforto devido ao frio e as ZBs 7 e 8 devido ao calor. Nas ZBs 1, 2 e 3, o conforto térmico foi alcançado para menos de 50% do período de ocupação da escola durante os meses de inverno. Por outro lado, os resultados mostraram que durante o período de verão nestas mesmas ZBs quase todos os ambientes de permanência prolongada atingiram temperaturas de conforto térmico em mais de 80% das horas de ocupação. Como as condições climáticas externas mais quentes são predominantes no Brasil,

os resultados indicam que o projeto do edifício pré-escolar atende melhor essa condição. Os POCs das ZBs 6, 7 e 8 no período de verão, apresentaram resultados melhores do que os POCs verificados para inverno nas ZBs 1, 2 e 3. Dessa maneira, o projeto padrão Tipo 2 da pré-escola demonstra ser mais adequado para as zonas bioclimáticas mais quentes. Os Gráficos 34 e 35 mostram a média de POC da pré-escola por ZB no inverno e no verão. O valor representa a média dos POCs de cada ambiente de permanência prolongada, ponderada pela respectiva área, nos meses de inverno (junho, julho e agosto) e nos meses de verão (novembro, dezembro e fevereiro).

Gráficos 34 e 35. Médias ponderadas dos POCs de inverno e verão da pré-escola em cada ZB



Fonte: elaborada pela autora (2019)

A compilação dos resultados obtidos conforme os métodos das duas normativas sugere um comparativo entre as mesmas e críticas quanto ao método de simulação da NBR 15.575. É evidente que os parâmetros de avaliação de desempenho térmico e de análise de conforto térmico são diferentes. O Modelo Adaptativo da *Standard 55* avalia o conforto térmico para os usuários, enquanto a NBR 15.575 avalia o desempenho térmico do edifício. No entanto, a NBR 15.575 é a única referência para avaliar as temperaturas internas resultantes para os prédios pré-escolares padronizados do Programa Proinfância, sendo indicado pelo próprio Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares do Programa Proinfância. Os parâmetros da *Standard 55* são mais realistas do que aqueles adotados pela norma brasileira de desempenho, já que aquele considera cargas internas como ocupação, iluminação artificial e equipamentos, além de permitir os efeitos de zonas naturalmente ventiladas e levando em conta as variações climáticas anuais. Por outro lado, a NBR 15.575

considera apenas influências climáticas externas, não utiliza as cargas térmicas internas, não apresenta exigências quanto às trocas térmicas da edificação com o solo, indica o uso de ventilação natural simplificada através da renovação de ar por hora, além de analisar somente os dias típicos de verão e inverno. Desta forma, espera-se que as temperaturas resultantes da análise de conforto térmico sejam mais realistas do que aquelas obtidas a partir da análise do desempenho térmico.

A NBR 15.575 não afirma que seus critérios de avaliação significam conforto térmico Mínimo, Intermediário ou Superior, pois temperaturas resultantes internas da ordem de 5,32 °C verificada em Curitiba ou 33,74 °C verificada em Teresina, não poderiam representar conforto térmico, ainda que mínimo. Os resultados de desempenho térmico não podem ser tomados como parâmetros de conforto térmico, ainda mais para um edifício pré-escolar ocupado por crianças menores de seis anos e durante atividades educacionais. Ambas análises mostraram que o projeto do edifício é mais adequado ao período de verão, quando os níveis de desempenho térmico alcançados são melhores e os períodos de desconforto são menores. Porém, nota-se que resultados aceitos como um bom desempenho térmico pela NBR 15.575 não correspondem às temperaturas dentro da zona de conforto, representando, portanto, desconforto térmico aos usuários. A classificação como desempenho Mínimo de inverno em uma temperatura externa de 2 °C exige que o ambiente de permanência prologada precise estar a apenas 5°C para que este seja aceito para abrigar crianças menores de 6 anos de idade. Da mesma forma, para atingir uma classificação de desempenho Intermediário para o verão, com uma temperatura externa de 35 °C, o ambiente interno precisa estar a 33° C para ser considerado aceito.

A adoção dos critérios de avaliação da NBR 15.575 como referência única para a análise do desempenho térmico de prédios pré-escolares do Programa Proinfância não está adequada, pois é aceita uma ampla faixa de temperaturas, muitas delas bastante fora de critérios de conforto térmico. Além da classificação não possuir critérios muito exigentes, os resultados obtidos através do método de simulação da NBR 15.575 levantam algumas dúvidas. O método de simulação não exige certos dados na modelagem que podem fazer com que os resultados variem. Porém, se os critérios não são exigidos pela norma, a utilização ou não destes não deveria variar os resultados. Além disso, como a NBR 15.575 foi desenvolvida para edificações habitacionais, algumas adaptações tiveram que ser adotadas para a avaliação térmica da pré-escola: (1) a norma pede que se avalie os ambientes de permanência prolongadas da unidade habitacional com pior situação de verão (oeste/norte) e da de pior situação de inverno (sul/leste).

Entretanto, como não existem unidades autônomas dentro da escola, a edificação escolar foi avaliada como uma única unidade, sendo considerados para análise todos os ambientes de permanência prolongada dentro desta unidade; (2) Outra adaptação adotada foi a consideração somente das horas ocupadas da pré-escola, enquanto que a norma de desempenho avalia o dia inteiro, por se tratar de edificações habitacionais que têm uso durante o dia e a noite. Como a escola possui um período específico de ocupação, avaliar as temperaturas do dia inteiro fariam com que a classificação de desempenho térmico pudesse variar, por exemplo no caso de considerar as temperaturas da madrugada para a avaliação de inverno. Assim, para encontrar a temperatura externa mínima ou máxima do dia típico foram utilizadas somente as temperaturas entre 7h e 18h, horário de ocupação da pré-escola; (3) Uma outra adaptação ainda foi o uso da temperatura do solo na simulação. A norma não exige este dado, porém, através de revisão bibliográfica, verificou-se que a não utilização deste parâmetro faz com que o resultado das temperaturas varie bastante, ainda mais se tratando de uma edificação térrea, com total contato com o solo. (4) A quarta adaptação adotada foi utilizada apenas na avaliação do conforto térmico. A NBR 15.575 exige que as simulações para avaliação do desempenho térmico sejam feitas sem levar em conta as cargas térmicas internas, como as decorrentes da ocupação, da iluminação e de equipamentos. Se as cargas internas fossem adotadas pela norma brasileira, os resultados de desempenho térmico provavelmente apontariam melhores níveis para o período de inverno e piores níveis para o período de verão, já que, provavelmente, todas as temperaturas resultantes internas aumentariam. As adaptações adotadas neste estudo e outras recomendações para a avaliação térmica dos projetos padrão do Proinfância estão resumidas na Tabela 34 e são sugestões a serem adicionadas no Manual do Programa.

Tabela 34. Adaptações adotadas e recomendadas para avaliação térmica de projetos padrão

Adaptações adotadas no presente trabalho e recomendadas para uso no Manual do Proinfância para avaliação térmica dos projetos padrão
1. Consideração dos ambientes de permanência prolongada da unidade como um todo.
2. Utilização da temperatura externa mínima ou máxima de referência somente durante o horário de ocupação da escola.
3. Consideração das trocas térmicas entre a edificação e o solo.
4. Utilização de cargas térmicas internas: ocupação, iluminação e equipamentos (utilizada apenas na avaliação do conforto térmico).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

A falta de uma normativa nacional para edificações escolares, sugere que haja uma atenção na elaboração de manuais que tragam recomendações para o desenvolvimento de projetos para escolas e pré-escolas.

O RTQ-C possui um método de avaliação do conforto térmico para edifícios não climatizados através da simulação e quantificação do percentual de horas ocupadas em conforto, similar ao que foi usado no método deste estudo. Como este regulamento contempla edificações públicas como escolas, por exemplo, poderia ser considerado como de cumprimento obrigatório para a avaliação das pré-escolas do Programa Proinfância no lugar da Norma de Desempenho. O RTQ-C indica a utilização de um método de avaliação de conforto reconhecido, como os apresentados na ASHRAE Standard 55 ou na ISO 7730. O regulamento exige que ambientes não climatizados sejam simulados por softwares de avaliação termoenergética reconhecidos e seja calculado o POC dos ambientes de permanência prolongada. Estes percentuais são classificados conforme a Tabela 6.4 do regulamento para após isso, ser possível calcular o nível de eficiência energética.

Para que os projetos padrão do Proinfância atinjam certos níveis de desempenho e conforto térmico adequados ao desenvolvimento das atividades escolares, é necessária uma adequação das exigências estabelecidas atualmente. A seguir, estão apresentadas algumas recomendações visando o melhoramento das condições térmicas para a ocupação dos usuários (Tabela 35).

Tabela 35. Recomendações para desempenho e conforto térmico adequado para projetos padrão do Proinfância

Recomendações para alcançar níveis de desempenho e conforto térmico nos projetos padrão do Programa Proinfância
1. Melhoramento do Manual de diretrizes técnicas para projetar edifícios educacionais do Programa Proinfância: adaptações aos critérios de simulação da NBR 15.575 para a edificação escolar (Tabela 34).
2. Melhoramento do Manual de diretrizes técnicas para projetar edifícios educacionais do Programa Proinfância: exigência de níveis maiores de desempenho térmico da NBR 15.575. Exemplo: desempenho Superior para inverno e verão.
3. Exigência do cumprimento obrigatório do método do RTQ-C para comprovação do conforto térmico em edificações não climatizadas.
4. Desenvolvimento de normativa nacional para avaliação térmica em edificações escolares

Fonte: elaborada pela autora (2019)

O projeto padrão desenvolvido pelo FNDE possibilita apenas uma modificação para a adequação da pré-escola à diferentes ZBs. Em regiões mais frias, o projeto padrão prevê o fechamento do pátio coberto com esquadrias de vidro. Por outro lado, as prefeituras implementam o projeto padrão sem adequações, pois no caso do fechamento do pátio, a adequação deve ser custeada pela própria prefeitura. Uma das poucas possibilidades de adequação do projeto padrão sem implicar em custos extras seria a escolha da melhor orientação solar para cada região, respeitando fatores naturais que possam influenciar no nível de conforto térmico da pré-escola. Entretanto, não há nenhuma recomendação nos manuais do Programa Proinfância referente a orientação solar a ser adotada para a implantação dos edifícios no terreno, de acordo com a zona bioclimática. A implantação da edificação é geralmente condicionada às dimensões do terreno, às vias de acesso circundantes ou a outras limitações geométricas e funcionais. Dessa maneira, quando as condições locais permitem a livre escolha da orientação solar da edificação, esta deveria ser feita de forma cuidadosa e acertada, visando melhorar os níveis de desempenho térmico e de conforto térmico.

Por fim, a adoção de sistemas de climatização artificial pode não ser uma realidade financeiramente viável para todas as escolas públicas no Brasil devido aos custos de aquisição e manutenção. Períodos prolongados com temperaturas internas fora da zona de conforto resultariam em um uso mais intenso da climatização artificial, penalizando financeiramente os municípios. Tais considerações deixam claro que diferentes projetos adequados à cada zona bioclimática seriam uma alternativa razoável para alcançar escolas mais confortáveis e melhores ambientes de aprendizagem para crianças.

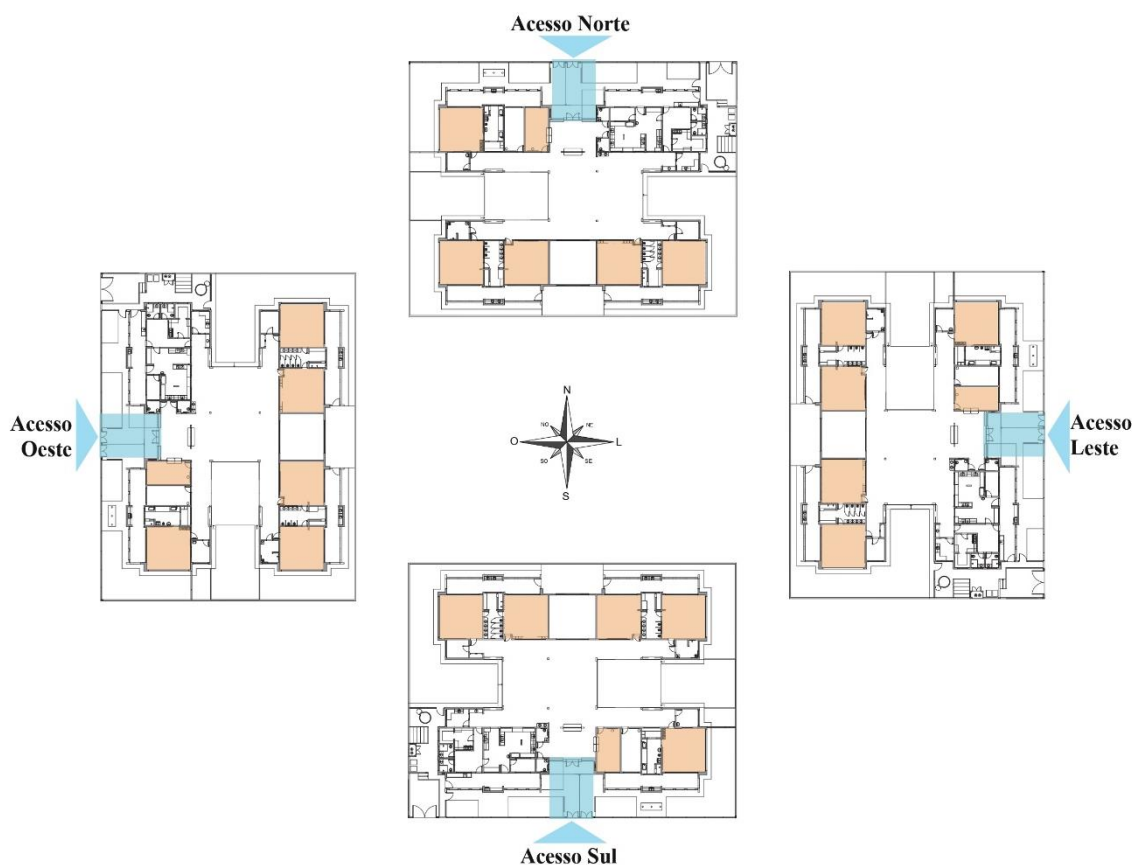
Cabe salientar que as simulações da Fase 1 deste estudo foram feitas com a mesma orientação solar para todas as ZBs. Como a orientação solar possui grande influência no conforto térmico de uma edificação, devido à intensidade da incidência de radiação solar e de ventos dominantes, os resultados poderiam variar significativamente caso outras orientações solares fossem adotadas.

5 FASE 2 – ANÁLISE DO IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR

5.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

Para a análise do impacto da orientação solar nos níveis de desempenho e conforto térmico foram realizadas novas simulações computacionais. De acordo com o método adotado, foram testadas quatro orientações solares da edificação: leste, oeste, norte e sul. Dessa maneira, foram feitas quatro simulações para a análise do desempenho térmico e mais quatro para a análise do conforto térmico para cada ZB, totalizando 64 simulações. Para facilitar a compreensão do processo de rotação da edificação, a orientação solar da fachada onde se encontra o acesso principal da pré-escola definirá a orientação solar. Dessa maneira, quando o acesso principal do edifício estiver orientado ao norte, chamaremos esta orientação solar de acesso norte. Por outro lado, se o acesso principal do edifício estiver orientado ao sul, chamaremos esta orientação solar de acesso sul. O mesmo raciocínio se aplica às orientações leste e oeste (Figura 23).

Figura 23. Orientações de acordo com a entrada da pré-escola



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Cabe salientar que as edificações escolares nem sempre possuem orientações solares exatas para leste, oeste, norte e sul. Portanto, foi adotada uma simplificação das orientações baseada na metodologia do RTQ-C mencionada no tópico 2.2.4 deste trabalho.

Os métodos de avaliação do desempenho e conforto térmico foram os mesmos utilizados e descritos na Fase 1. Para o desempenho térmico foi utilizado o método de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e para o conforto térmico foi utilizado o Modelo Adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013).

Para facilitar a comparação dos níveis de conforto térmico entre as diferentes orientações solares, o somatório das horas ocupadas em conforto térmico será comparado ao somatório das horas ocupadas da pré-escola no ano. Para gerar o total de Horas Ocupadas em Conforto (HOC) de um ano inteiro, foram somadas as horas ocupadas em conforto de todos os ambientes de permanência prolongada. O número de HOC foi comparado ao total anual de horas ocupadas da pré-escola que é de 3.888 no ano, e que foi multiplicado por 6, pois são 6 os ambientes de permanência prolongada avaliados.

5.2 MODELAGEM E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

O Modelo utilizado para as simulações da Fase 2 foi o mesmo desenvolvido para a Fase 1. Os parâmetros de simulação utilizados também foram os mesmos, tanto para as configurações das simulações de desempenho quanto para as de conforto. A única diferença das simulações feitas nesta fase é que elas foram realizadas com a rotação do edifício em 90°, 180° e 270° para variar a orientação solar da pré-escola e reproduzir as diferentes implantações possíveis da edificação no terreno. Como o acesso principal da pré-escola orientado à leste foi usado na Fase 1, a rotação de 90° da edificação em sentido horário representará a orientação solar sul do acesso principal. Da mesma maneira, com a rotação do edifício em mais 90° no sentido horário, teremos o acesso principal orientado à oeste. Mais uma rotação de 90° no sentido horário e teremos o acesso principal orientado à norte.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Zona bioclimática 1

5.3.1.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de inverno, a menor temperatura externa foi de 1,41 °C às 7h, enquanto que no dia típico de verão a maior temperatura externa encontrada foi de 31,40 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação térmica para o período de inverno foi desempenho Mínimo em todas as salas para todas as orientações (Tabela 36). Para o período de verão, a classificação encontrada na maioria dos ambientes foi desempenho Superior com exceção da sala de Administração em algumas orientações (Tabela 37). Estes resultados estão de acordo com o nível de desempenho térmico exigido para inverno e verão pelo Manual do Programa Proinfância.

Tabela 36. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 1 - Inverno

Zona 1		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura mínima (°C)	5,73	5,51	5,32	5,63	5,39	5,62
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Norte	Temperatura mínima (°C)	5,75	5,51	5,32	5,63	5,39	5,62
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Oeste	Temperatura mínima (°C)	5,72	5,51	5,32	5,63	5,39	5,62
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Sul	Temperatura mínima (°C)	5,74	5,52	5,32	5,63	5,38	5,62
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 37. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 1 - Verão

Zona 1		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	27,41	27,12	27,13	27,15	27,27	27,06
	Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	27,59	27,19	27,19	26,71	27,35	26,71
	Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	27,30	27,26	27,35	27,26	27,22	27,21
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	27,55	27,37	27,40	26,77	27,21	26,75
	Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S

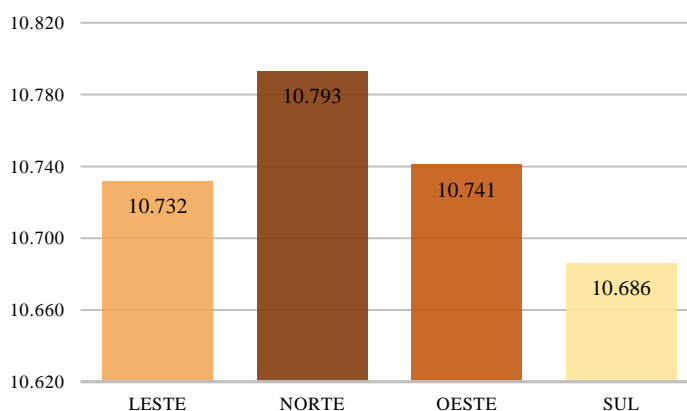
Crítérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.1.2 Análise do conforto térmico

A orientação norte apresentou o maior número de HOC contabilizando o total anual de todos os seis ambientes (Gráfico 36). Conforme mencionado anteriormente, nesta orientação solar o acesso principal da pré-escola está orientado ao norte, fazendo com que a maioria dos ambientes de permanência prolongada estejam voltados para sul (Creche 2, Creche 3, Pré-escola 1 e Pré-escola 2), enquanto que outros estão para norte (Administração e Creche 1). A orientação sul apresentou o pior índice de HOC, enquanto que leste e oeste apresentaram resultados semelhantes.

Gráfico 36. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.2 Zona bioclimática 2

5.3.2.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 3,28 °C às 7h e no dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 34,80 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada para as salas analisadas para o período de inverno foi desempenho Intermediário na maioria dos ambientes em todas as orientações. Alguns ambientes apresentaram desempenho Mínimo na orientação leste, sendo que a Creche 2 apresentou desempenho Mínimo em todas as orientações (Tabela 38). Para o verão, a classificação encontrada para os ambientes analisados foi desempenho Superior em todas as orientações (Tabela 39). Os resultados encontrados estão de acordo com os níveis de desempenho térmico exigidos para as pré-escolas do Proinfância.

Tabela 38. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 2 - Inverno

Zona 2		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura mínima (°C)	8,87	8,42	8,23	8,55	8,27	8,55
	Classificação NBR 15.575	I	I	M	I	M	I
Acesso Norte	Temperatura mínima (°C)	8,88	8,42	8,23	8,54	8,28	8,55
	Classificação NBR 15.575	I	I	M	I	I	I
Acesso Oeste	Temperatura mínima (°C)	8,85	8,41	8,23	8,55	8,28	8,55

Tabela 38. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 2 - Inverno

Zona 2		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
	Classificação NBR 15.575	I	I	M	I	I	I
Acesso Sul	Temperatura mínima (°C)	8,88	8,43	8,24	8,56	8,28	8,56
	Classificação NBR 15.575	I	I	M	I	I	I

Crítérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 39. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 2 - Verão

Zona 2		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	28,94	28,91	28,90	28,80	28,84	28,69
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	29,19	28,85	28,85	28,50	29,08	28,49
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	28,99	28,81	28,93	28,88	28,99	28,83
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	28,95	29,01	29,05	28,44	28,85	28,43
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

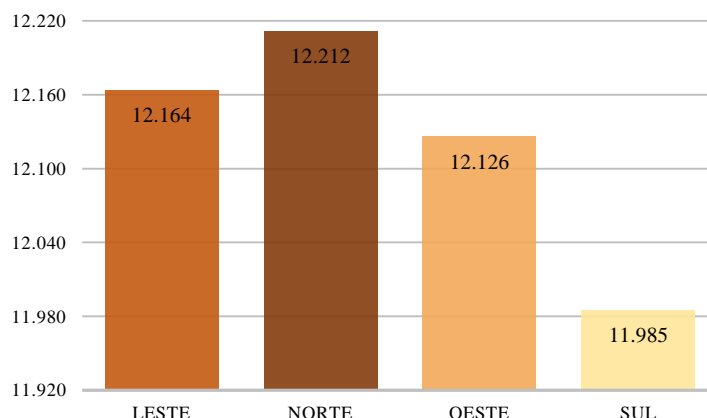
Crítérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.2.2 Análise do conforto térmico

A orientação norte apresentou o melhor índice de HOC (Gráfico 37). Na ZB 2, as condições climáticas são similares as da ZB 1 e assim, os resultados encontrados se assemelham ao que foi verificado para a ZB 1. O sul continua com o menor valor de HOC e leste e oeste continuam com uma pequena variação do número de HOC.

Gráfico 37. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.3 Zona bioclimática 3

5.3.3.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 4,82 °C às 7h e no dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,90 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada para as salas analisadas para o período de inverno foi o mesmo em todas as orientações: desempenho Mínimo na Administração, enquanto que os outros ambientes não atenderam o desempenho Mínimo (Tabela 40). Para o período de verão, em quase todas as orientações a maioria dos ambientes atingiu desempenho Superior e a Administração ficou com desempenho Intermediário. A exceção é a orientação sul que apresentou desempenho Intermediário também para a Creche 2 (Tabela 41). Os resultados de verão atingiram o nível de desempenho térmico exigido pelo Manual do Programa Proinfância, porém os resultados de inverno mostraram uma inadequação da pré-escola, pois apenas a sala de Administração atingiu o desempenho Mínimo.

Tabela 40. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 3 - Inverno

Zona 3		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura mínima (°C)	7,83	7,62	7,42	7,70	7,50	7,68
	Classificação NBR 15.575	M	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Acesso Norte	Temperatura mínima (°C)	7,85	7,63	7,42	7,70	7,50	7,69
	Classificação NBR 15.575	M	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende

Tabela 40. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 3 - Inverno

Zona 3		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Oeste	Temperatura mínima (°C)	7,83	7,63	7,43	7,70	7,50	7,69
	Classificação NBR 15.575	M	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Acesso Sul	Temperatura mínima (°C)	7,86	7,63	7,43	7,70	7,50	7,68
	Classificação NBR 15.575	M	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 41. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 3 - Verão

Zona 3		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	31,98	31,76	31,75	31,66	31,73	31,57
	Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	32,19	31,73	31,73	31,34	31,94	31,34
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	31,97	31,71	31,82	31,75	31,84	31,71
	Classificação NBR 15.575	I	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	31,99	31,89	31,91	31,31	31,73	31,30
	Classificação NBR 15.575	I	S	I	S	S	S

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

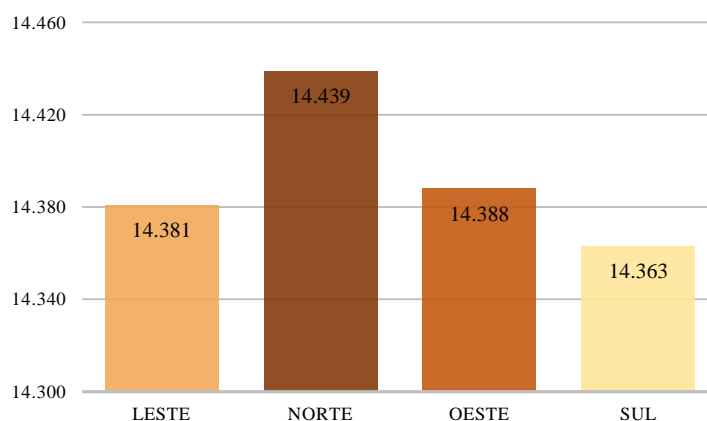
Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.3.2 Análise do conforto térmico

Na ZB 3, a orientação norte novamente apresentou o maior valor de HOC (Gráfico 38). Nesta ZB o número total de HOC da pré-escola foi maior do que o número das ZB 1 e 2. Oeste e leste apresentaram valores semelhantes de HOC e o sul, nesta ZB, apresentou uma diferença menor para as outras orientações do que visto nas ZBs 1 e 2. Isto se dá devido ao inverno ser um pouco

menos rigoroso nesta zona, resultando em maiores índices de HOC, já que o maior desconforto encontrado nas ZBs 1, 2 e 3 é em virtude do frio, constatado na Fase 1 deste trabalho.

Gráfico 38. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.4 Zona bioclimática 4

5.3.4.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 10,74 °C às 7h e no dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 31,20 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada para o período de inverno foi desempenho Mínimo (Tabela 42) e para o período de verão foi desempenho Superior em todos os ambientes para todas as orientações (Tabela 43). Estes resultados estão de acordo com o nível de desempenho térmico exigido para inverno e verão pelo Manual do Programa Proinfância.

Tabela 42. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 4 - Inverno

Zona 4		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura mínima (°C)	14,62	14,45	14,34	14,58	14,36	14,58
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Norte	Temperatura mínima (°C)	14,64	14,43	14,34	14,56	14,36	14,57
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Tabela 42. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 4 - Inverno

Zona 4		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Oeste	Temperatura mínima (°C)	14,62	14,44	14,35	14,57	14,37	14,57
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Sul	Temperatura mínima (°C)	14,61	14,44	14,34	14,56	14,36	14,56
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 43. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 4 - Verão

Zona 4		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	26,96	26,43	26,46	26,54	26,84	26,46
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	26,86	26,58	26,63	26,17	26,81	26,16
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	26,53	26,82	26,83	26,64	26,53	26,60
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	26,94	26,85	26,93	26,35	26,68	26,33
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

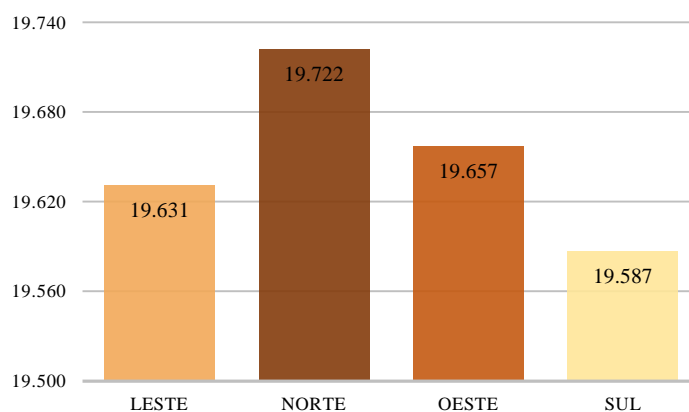
Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.4.2 Análise do conforto térmico

Na ZB 4, a orientação norte continua como a com maior valor de HOC. O sul aparece com o menor valor e leste e oeste com 26 HOC de diferença entre elas (Gráfico 39). A pré-escola nesta ZB ainda apresenta desconforto em relação ao frio, ainda que menos do que nas ZBs 1, 2 e 3

(constatado na Fase 1 deste trabalho), assim a orientação norte aparece como a soma de maior valor de HOC da pré-escola como um todo.

Gráfico 39. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.5 Zona bioclimática 5

5.3.5.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de inverno a menor temperatura externa encontrada foi de 7,85 °C às 7h e no dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,10 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação para o período de inverno foi desempenho Mínimo (Tabela 44) e para o período de verão foi desempenho Intermediário (Tabela 45) em todos os ambientes para todas as orientações. Estes resultados estão de acordo com o nível de desempenho térmico exigido para inverno e verão pelo Manual do Programa Proinfância.

Tabela 44. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 5 - Inverno

Zona 5		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura mínima (°C)	11,29	11,15	11,03	11,29	11,06	11,29
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Norte	Temperatura mínima (°C)	11,30	11,15	11,04	11,30	11,06	11,30
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Oeste	Temperatura mínima (°C)	11,27	11,15	11,04	11,29	11,06	11,29

Tabela 44. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 5 - Inverno

Zona 5		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Oeste	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M
Acesso Sul	Temperatura mínima (°C)	14,61	14,44	14,34	14,56	14,36	14,56
	Classificação NBR 15.575	M	M	M	M	M	M

Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 45. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 5 - Verão

Zona 5		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	32,41	32,41	32,41	31,99	31,98	31,90
	Classificação NBR 15.575	I	I	I	I	I	I
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	32,54	32,28	32,32	32,09	32,49	32,08
	Classificação NBR 15.575	I	I	I	I	I	I
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	32,70	31,91	31,99	32,12	32,42	32,05
	Classificação NBR 15.575	I	I	I	I	I	I
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	32,32	32,24	32,33	31,80	32,27	31,80
	Classificação NBR 15.575	I	I	I	I	I	I

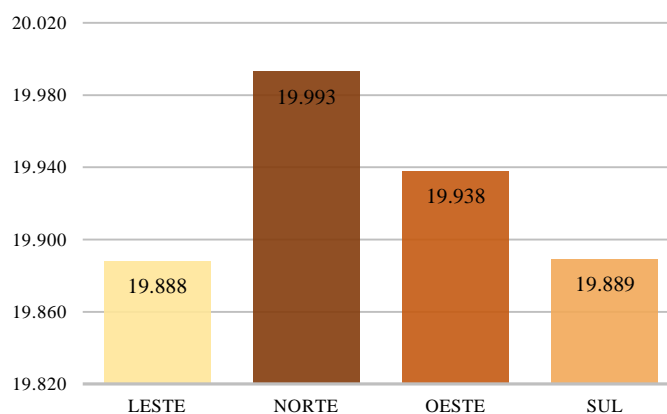
Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.5.2 Análise do conforto térmico

A orientação norte aparece como a com maior valor de HOC, e a leste o menor valor. O sul ainda apresenta um valor baixo de HOC, apresentando uma hora a mais de conforto do que a orientação leste (Gráfico 40).

Gráfico 40. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.6 Zona bioclimática 6

5.3.6.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 34,60 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada nos ambientes no período de verão foi desempenho Superior para todas as orientações (Tabela 46). Os resultados demonstram que o projeto padrão está de acordo com o nível de desempenho térmico exigido pelo Manual.

Tabela 46. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 6 - Verão

Zona 6		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	29,63	29,11	29,13	29,18	29,50	29,11
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	29,56	29,23	29,27	28,80	29,49	28,79
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	29,21	29,48	29,50	29,27	29,20	29,23
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	29,61	29,53	29,60	28,98	29,33	28,96
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

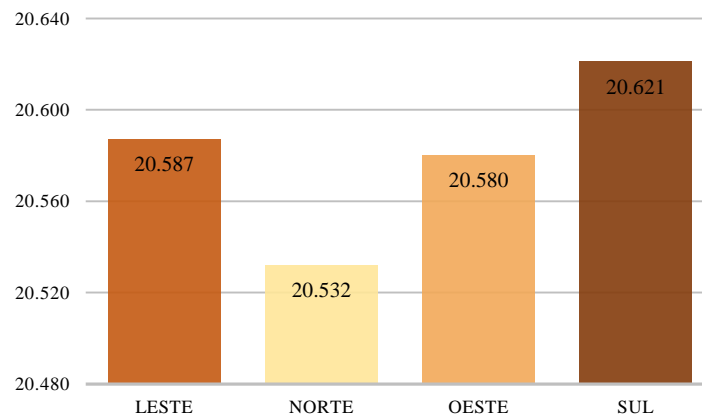
Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.6.2 Análise do conforto térmico

Diferente das ZBs anteriores, a orientação norte apresentou o pior valor de HOC, enquanto a sul obteve o melhor resultado de HOC. Leste e oeste continuam obtendo resultados similares. (Gráfico 41. Gráfico 41).

Gráfico 41. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.7 Zona bioclimática 7

5.3.7.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 37,90 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada para as salas analisadas para o período de verão foi desempenho Superior para todas as orientações (Tabela 47). Os resultados estão de acordo com o nível de desempenho térmico exigido para verão pelo Manual do Programa Proinfância.

Tabela 47. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 7 - Verão

Zona 7		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	33,74	32,83	32,85	32,91	33,54	32,86
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	33,23	33,04	33,15	32,70	33,37	32,70
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

Tabela 47. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 7 - Verão

Zona 7		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	32,87	33,53	33,53	33,01	32,90	32,91
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	33,38	33,42	33,55	33,08	33,26	33,06
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

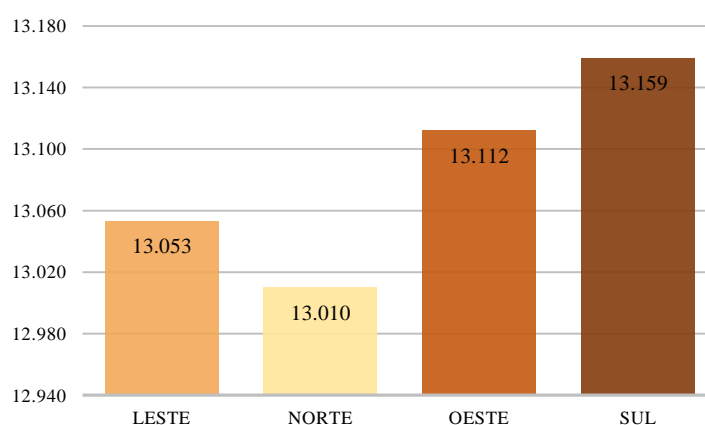
Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.7.2 Análise do conforto térmico

Esta ZB possui bastante desconforto em relação ao calor como visto na Fase 1 deste estudo. Assim, a orientação com melhor índice de HOC foi a sul no somatório de todos os ambientes analisados. A orientação norte obteve o pior resultado. Nesta ZB oeste e leste não obtiveram resultados semelhantes de HOC totais. Esta zona apresentou uma diferença de 149 HOC da orientação com melhor resultado (sul) para a de pior (norte) (Gráfico 42).

Gráfico 42. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.8 Zona bioclimática 8

5.3.8.1 Análise do desempenho térmico

No dia típico de verão, a maior temperatura externa encontrada foi de 35,10 °C às 15h. Segundo os critérios da norma brasileira, a classificação encontrada para os ambientes analisadas para o

período de verão foi desempenho Superior para todas as orientações (Tabela 48). Estes resultados estão de acordo com o nível de desempenho térmico exigido para verão pelo Manual do Programa Proinfância.

Tabela 48. Temperaturas e classificação de desempenho térmico para Zona 8 - Verão

Zona 8		Administração	Creche 1	Creche 2	Creche 3	Pré-escola 1	Pré-escola 2
Acesso Leste	Temperatura máxima (°C)	32,63	32,23	32,25	32,28	32,45	32,21
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Norte	Temperatura máxima (°C)	32,73	32,36	32,37	31,86	32,48	31,86
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Oeste	Temperatura máxima (°C)	32,47	32,42	32,46	32,39	32,31	32,32
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S
Acesso Sul	Temperatura máxima (°C)	32,80	32,50	32,53	31,94	32,40	31,93
	Classificação NBR 15.575	S	S	S	S	S	S

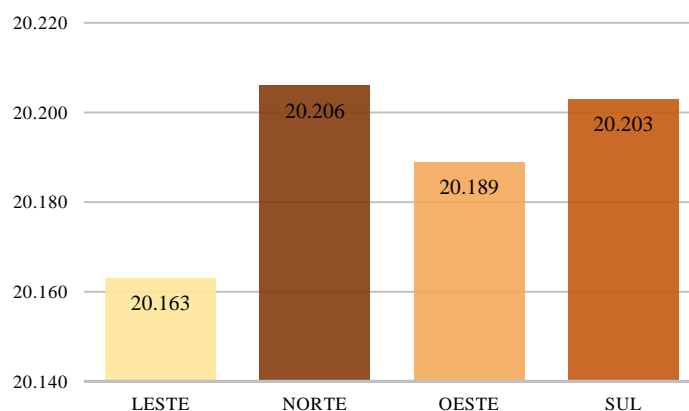
Critérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.3.8.2 Análise do conforto térmico

Nesta ZB, a orientação norte apresentou o maior número de HOC e com apenas três horas de diferença aparece a sul. Leste apresentou o pior resultado, porém a diferença foi de apenas 43 horas, a menor diferença entre o melhor e pior resultado entre todas as oito ZBs (Gráfico 43).

Gráfico 43. Horas Ocupadas em Conforto por orientação solar do acesso principal



Fonte: elaborada pela autora (2019)

5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise do desempenho térmico demonstraram que as mudanças de orientações solares geram poucas alterações nos resultados. Na ZB 4, os resultados de desempenho Mínimo (inverno) e Superior (verão) se mantiveram em todas as orientações. Este comportamento também se repete na ZB 5, onde os resultados para inverno são de desempenho Mínimo e para verão Intermediário para todas as orientações. As ZBs 6, 7 e 8, que não exigem avaliação para inverno, demonstraram resultados de desempenho Superior para todas as orientações para o dia típico de verão. Na ZB 1, todos os resultados de desempenho Mínimo para inverno se mantêm em todas as orientações, enquanto para o verão, a orientação oeste apresenta uma classificação de desempenho Superior para todos os ambientes. Na ZB 2 acontece algo similar, os resultados de desempenho Superior se mantêm em todas orientações no período de verão, e para inverno, a orientação leste apresenta desempenho Mínimo para um ambiente a mais do que as outras orientações, enquanto os demais ambientes possuem desempenho Intermediário. Na ZB 3, apenas um dos ambientes atingiu desempenho Mínimo em todas as orientações no inverno, e no verão, a orientação norte apresentou o melhor resultado com classificação de desempenho Superior em todos os ambientes. Resumindo os resultados, temos as seguintes classificações conforme orientações (Tabela 49 e Tabela 50):

Tabela 49. Classificação de desempenho térmico para inverno em todas as ZBs

Inverno		ZB 1	ZB 2	ZB 3	ZB 4	ZB 5	ZB 6	ZB 7	ZB 8
Classificação NBR 15.575	Leste	M	M	Não atende	M	M	-	-	-
	Norte	M	M	Não atende	M	M	-	-	-
	Oeste	M	M	Não atende	M	M	-	-	-
	Sul	M	M	Não atende	M	M	-	-	-

Crítérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S)

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Tabela 50. Classificação de desempenho térmico para verão em todas as ZBs

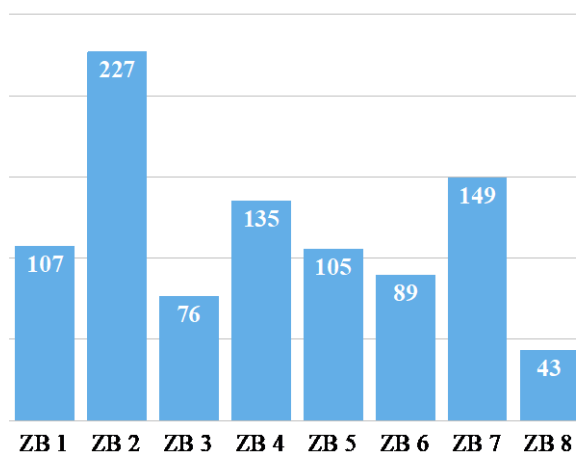
Verão		ZB 1	ZB 2	ZB 3	ZB 4	ZB 5	ZB 6	ZB 7	ZB 8
Classificação NBR 15.575	Leste	I	S	I	S	I	S	S	S
	Norte	I	S	S	S	I	S	S	S
	Oeste	S	S	I	S	I	S	S	S
	Sul	I	S	I	S	I	S	S	S

Crítérios: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S)

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Na análise do conforto térmico, os resultados mostraram que em algumas ZBs o número de HOC das diferentes orientações solares apresenta uma variação maior do que em outras ZBs (Gráfico 44).

Gráfico 44. Diferença de HOC entre o melhor e pior resultado de cada ZB

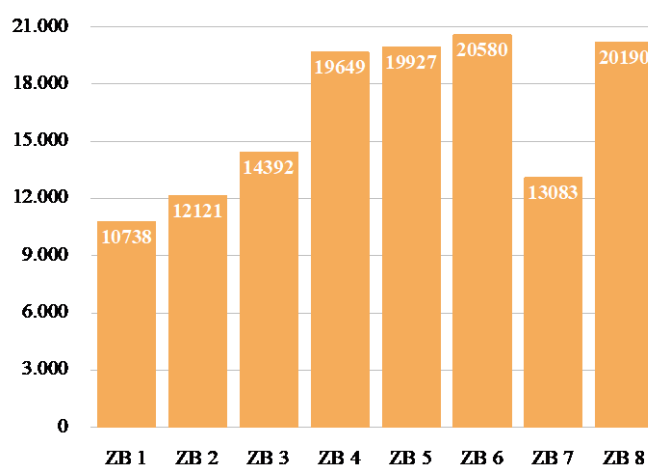


Fonte: elaborada pela autora (2019)

A ZB 2 apresentou a maior diferença de HOC entre as orientações solares - a norte com 12.212 horas e a sul com 11.985 horas, ou seja, 227 HOC de diferença. Por outro lado, a ZB 8 apresentou a menor variação com apenas 48 HOC de diferença da orientação norte (maior número) para a leste (menor número). As ZBs 4 e 7 também se destacaram por apresentar uma diferença significativa no número de HOC com a rotação do edifício.

As ZBs apresentaram uma variação no número de HOC se comparadas entre si (Gráfico 45). Com exceção da ZB 7, na qual as temperaturas encontradas apresentam um nível maior de desconforto térmico em relação ao calor, o projeto padrão Tipo 2 parece estar mais adequado para regiões quentes do que para regiões com inverno rigoroso, o que também já havia sido constatado na Fase 1 deste estudo.

Gráfico 45. Médias das HOC das orientações em cada ZB



Fonte: elaborada pela autora (2019)

Os ambientes de permanência prolongada apresentaram resultados distintos em relação a melhor orientação solar. Cabe ressaltar que a localização destes ambientes no projeto padrão difere bastante, fazendo com que alguns estejam em orientações solares opostas. A isto, soma-se o fato de que alguns ambientes possuem mais trocas térmicas com o ambiente externo do que outros, fazendo com que a orientação solar com melhor resultado de HOC varie de uma sala para outra. Foi possível, porém, observar um padrão nos resultados de melhor orientação por ambiente. As ZBs que apresentam estações do ano mais definidas apresentaram os mesmos resultados, enquanto as ZBs que possuem temperaturas elevadas durante todo o ano apresentaram resultados semelhantes.

Apesar disto, ainda é possível afirmar que em algumas ZBs, como a 3, 6 e 8, os resultados de HOC não mudam tanto de uma orientação para outra. Isto acontece, pois, analisando geometricamente o projeto, podemos observar que ele possui fachadas bastante protegidas por espaços de solários ou de área de serviços, fazendo com que estas fachadas não sofram tanto com a influência de radiação solar direta e de ventos dominantes. Na parte interna, estas fachadas também estão protegidas por corredores recuados que dão acesso ao pátio coberto. As paredes mais expostas às condições climáticas são as laterais de alguns ambientes de permanência prolongada como Creche 1, Creche 2 e Pré-escola 1, assim como salas de serviços, lavanderia, vestiários, almoxarifado, PCD, lactário e sala de amamentação. Com grande parte das fachadas protegidas por espaços intermediários ao ambiente externo, a rotação da edificação acaba não afetando tanto no número de HOC, em alguns casos. Além de que o projeto apresenta uma certa simetria nos eixos longitudinal e transversal, fazendo com que os resultados de algumas orientações sejam semelhantes.

A Fase 2 traz resultados que confirmam constatações já feitas na Fase 1. As simulações térmicas revelaram temperaturas operativas dentro da zona de conforto com mais frequência para períodos quentes do que para períodos frios. As ZBs mais quentes, em geral, apresentaram maiores números de HOC do que regiões que possuem inverno mais intenso como as ZBs 1, 2 e 3. As ZBs 4, 5, 6 e 8 se destacaram por apresentar os maiores números de HOC. Estes resultados mostram que o projeto padrão Tipo 2 do Proinfância se adequa melhor a ZBs mais quentes. Do mesmo modo que as ZBs com períodos frios, a ZB 7 também se destaca por apresentar com mais frequência temperaturas operativas que fogem da zona de conforto. Nesta zona, porém, as temperaturas são muito altas. Mesmo que o projeto padrão Tipo 2 apresente

melhores resultados para períodos quentes do que frios, em regiões onde as temperaturas altas são muito frequentes, estas também acabam apresentando baixos índices de HOC.

O Manual do Programa Proinfância contempla a possibilidade de fechamento do pátio coberto por esquadrias de vidro em regiões frias, porém o FNDE não destina verba aos municípios para esta opção de adequação. A constatação que o projeto padrão Tipo 2 funciona termicamente de maneira mais satisfatória para períodos quentes do que frios, faz com que a opção de fechamento do pátio seja algo imprescindível para as ZBs que apresentam períodos frios mais acentuados. Apesar de que este espaço não tenha sido simulado como uma zona térmica neste estudo, é importante salientar que este ambiente é utilizado como área de refeitório e recreação para as crianças, fazendo com que haja uma preocupação com as temperaturas deste espaço durante o período de inverno.

5.4.1 Discussão com outros autores

Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados em comparação com outras pesquisas desenvolvidas sobre conforto térmico nas pré-escolas padrão do Programa Proinfância. Os autores citados também foram mencionados no capítulo de revisão bibliográfica no tópico 2.3.3.4. A revisão traz apenas autores nacionais pois as pesquisas foram desenvolvidas com os projetos padrão do FNDE como objeto de estudo.

Cabe salientar que as avaliações térmicas revisadas utilizaram metodologias diferentes da utilizada neste trabalho. Alguns estudos avaliam o ano inteiro, enquanto no presente trabalho apenas os meses e horas ocupadas da edificação foram avaliadas. Além disso, estudos de outras tipologias além do Tipo 2 também foram revisados.

Diversos autores utilizaram o modelo adaptativo da *Standard 55* (ASHRAE, 2013) para a avaliação do conforto térmico por se tratar de ambientes naturalmente ventilados. Peglow et al. (2016) encontraram resultados com níveis baixos de conforto térmico nos ambientes de permanência prolongada para o projeto padrão Tipo C (projeto antigo). Os resultados apresentaram um percentual maior de desconforto térmico em relação ao calor do que ao frio para a zona bioclimática 2, diferente do que foi verificado no Tipo 2 avaliado neste trabalho. Mesmo com as otimizações (adaptações construtivas) avaliadas no projeto padrão Tipo C por Peglow et al. (2016), o maior resultado de conforto térmico encontrado não alcançou 80% das horas ocupadas do ano indicadas pelo RTQ-C para ambientes naturalmente ventilados. Estes

resultados indicam a necessidade de melhoramento dos projetos padrão com o intuito de melhorar o nível de conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada.

Outros autores (RHEINGANTZ et al., 2017); (BABICK; TORRES, 2017) também afirmam sobre a importância da revisão do projeto arquitetônico dos projetos padrão. Como visto anteriormente, o memorial descritivo do projeto padrão não disponibiliza muitas possibilidades de adequações construtivas a diferentes regiões. Babick e Torres (2017) que avaliaram o conforto térmico, a iluminação e a ventilação do Tipo C afirmam sobre a importância de uma maior flexibilidade em relação aos materiais da envoltória da edificação, esquadrias e da utilização de elementos de sombreamento, ou da adoção de um projeto padrão específico para cada região bioclimática. Rheingantz et al. (2017) utilizaram abordagens qualitativa e quantitativa para avaliar o projeto padrão e discorrem sobre a importância do aproveitamento das melhores orientações solares para a disposição das aberturas. A configuração e implantação do projeto deve ser tal de modo a poder controlar melhor a radiação solar e aproveitar a direção de ventos dominantes. Nascimento e Batista (2017) investigaram o conforto térmico do projeto padrão Tipo B (projeto antigo) em Maceió na ZB 8 com a utilização de simulação com mesa d'água e computacional. Ambos resultados mostraram que o ambiente com menor propensão para ventilação natural de acordo com o experimento da mesa d'água, apresentou maior percentual de desconforto térmico na simulação computacional. Como a ZB 8, possui temperaturas elevadas durante todo o ano, é importante o aproveitamento de ventos dominantes para a utilização de estratégias de ventilação cruzada para diminuir o desconforto térmico em relação ao calor. Assim, a investigação da melhor orientação solar também deve levar em consideração este condicionante. De acordo com o mesmo estudo, os autores afirmam que o desempenho térmico do edifício pode ser afetado pela sua implantação no terreno e a orientação escolhida, destacando a importância da flexibilidade de adequação destes fatores diante do contexto de cada local.

Os resultados encontrados de conforto térmico variam de uma zona bioclimática para a outra devido as exigências construtivas específicas de cada uma. Spagnuolo et al. (2018) avaliaram o projeto padrão Tipo B em 3 zonas bioclimáticas brasileiras e encontraram resultados bem distintos. Entre as cidades analisadas, Sorocaba (ZB 3) apresentou 84% das horas ocupadas em conforto térmico, o maior resultado em comparação a Belém (ZB 8) e Canela (ZB 1), indicando uma melhor adequação do projeto à ZB 3. Canela apresentou desconforto térmico por frio de até 72% das horas ocupadas no mês de junho, enquanto em Belém pode ser observado em todos

os meses do ano um desconforto de mais de 25% das horas em relação ao calor. Como visto neste trabalho, quando rotacionado o edifício, algumas zonas respondem com maior diferença no nível de conforto térmico. Spagnuolo et al. (2018) utilizaram duas orientações norte-sul e leste-oeste e notaram alguma variação na cidade da ZB 8, enquanto nas cidades das ZB 1 e 3 a diferença do nível de conforto térmico foi menos significativa.

A comparação dos dados obtidos através de simulações no presente estudo com medições in loco ou informações de Avaliações Pós-Ocupação poderiam auxiliar na validação dos dados. Ritter et al. (2018) também utilizaram diferentes ferramentas para a avaliação do conforto térmico do projeto padrão Tipo B (simulação computacional e análise *walkthrough*). Os resultados deste projeto padrão também indicaram um maior desconforto térmico em relação ao calor mesmo na zona bioclimática 2. Os autores destacam a importância das simulações computacionais para a construção de recomendações projetuais, mas também observam que a simulação pode não prever desconfortos térmicos localizados verificados através de outras análises onde usuários são entrevistados. Modler et al. (2018) através de Avaliação Pós-Ocupação obtiveram respostas que o contato com o piso de granitina, que segue o projeto padrão Proinfância/FNDE influencia bastante na sensação de desconforto por frio, e que grande parte das professoras (91%) consideram o piso inadequado.

Quintana et al. (2017), avaliaram o conforto térmico dos projetos padrão Tipo 1 e 2 (projetos atuais) na zona bioclimática 2. Ambos os projetos (Tipo 1 e 2) são semelhantes, entretanto, alguns aspectos geométricos e de uso e ocupação podem contribuir para o melhor desempenho do segundo. Ambos possuem um pátio coberto central, porém o Tipo 1 possui dois blocos com salas para ambos os lados e circulação central entre eles, já o Tipo 2 possui um bloco de salas para os dois lados, garantindo assim ventilação e iluminação nestes blocos, auxiliando na renovação do ar e contribuindo para o conforto térmico dos usuários.

Nota-se que o método de simulação da NBR 15.575, que é o indicado pelo Manual do Programa Proinfância, não é utilizado nos estudos para a avaliação térmica dos projetos padrão. Dos autores revisados, apenas Babick e Torres (2017) utilizaram a NBR para comparar as exigências de Transmitância e Capacidade térmica para paredes e cobertura da norma com as características do projeto padrão Tipo C. Como já mencionado, a norma brasileira foi desenvolvida para a avaliação de edificações habitacionais. Assim, para a avaliação de uma

tipologia diferente da habitacional, como um prédio público escolar, a norma possui incertezas quanto a alguns parâmetros necessários à realização da avaliação térmica.

5.4.2 Impacto da orientação solar e recomendações de implantação do projeto padrão

Com a falta de opções de soluções elaboradas pelo memorial descritivo e de recursos financeiros do FNDE para as prefeituras, as adaptações construtivas necessárias a cada ZB acabam não existindo. Cabe aos profissionais responsáveis pela implantação do projeto poucas alternativas de adaptações. É importante que haja uma flexibilidade na escolha do terreno para a implantação do projeto padrão. O modo como a edificação será implantada exerce influência no seu desempenho térmico.

A avaliação do impacto da orientação solar obteve resultados variados dependendo da ZB analisada. Enquanto em algumas regiões a rotação do projeto padrão causa uma diferença significativa no número de HOC, em outras a variação aponta uma pequena diferença neste indicador, não impactando tanto no número de horas com sensação de conforto térmico. Como mencionado anteriormente, o projeto padrão Tipo 2 possui uma configuração geométrica que permite iluminação e ventilação nos dois blocos constituintes do projeto arquitetônico, e além disso, possui proteções solares em quatro fachadas. Caso fosse avaliada outra tipologia do Programa Proinfância, o impacto da orientação solar seria possivelmente diferente.

Os resultados da avaliação do conforto térmico são mais sensíveis à orientação solar da edificação que os resultados da avaliação do desempenho térmico. Os resultados de desempenho térmico tiveram poucas variações nas classificações e apontam resultados qualitativos, enquanto os resultados de conforto térmico apresentam variações quantitativas, gerando indicações e recomendações de implantação mais claras quanto à orientação solar.

De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, foi elaborada uma lista de recomendações de orientações solares para cada zona bioclimática, que pode ser vista na Tabela 51.

Tabela 51. Recomendações de orientações solares para implantação do projeto padrão Tipo 2 em cada ZB

	Avaliação de desempenho térmico	Avaliação de conforto térmico	Recomendada
Zona Bioclimática 1	Oeste	Norte	Norte
Zona Bioclimática 2	Qualquer	Norte	Norte
Zona Bioclimática 3	Norte	Norte	Norte
Zona Bioclimática 4	Qualquer	Norte	Norte
Zona Bioclimática 5	Qualquer	Norte	Norte
Zona Bioclimática 6	Qualquer	Sul	Sul
Zona Bioclimática 7	Qualquer	Sul	Sul
Zona Bioclimática 8	Qualquer	Norte	Norte

Obs: a orientação solar se refere a fachada do acesso principal

Fonte: elaborada pela autora (2019)

Além do controle da radiação solar, a escolha adequada da orientação em virtude da direção de ventos dominantes, pode auxiliar na obtenção no conforto térmico dos usuários. Em caso de edificações públicas que, em muitas situações, não têm acesso ao uso de sistemas artificiais de condicionamento de ar para a manutenção do conforto térmico, é importante que haja renovação de ar através de ventilação cruzada, pois a velocidade do ar pode amenizar situações de desconforto térmico. Em um país de regiões com climas com temperaturas elevadas o ano inteiro, a ventilação natural e o controle da radiação solar podem influenciar bastante no desempenho térmico da edificação. Até mesmo se a pré-escola possuir sistema de ar condicionado, quanto mais alto for o percentual de horas ocupadas em conforto menor será o gasto de energia com ar condicionado, influenciando diretamente na eficiência energética do edifício. O aquecimento solar da edificação é importante em regiões frias, sendo necessária a distribuição das aberturas para orientações com grande incidência de radiação solar. Apesar do frio, a renovação do ar dentro de ambientes contendo muitas pessoas é imprescindível para a qualidade do ar, sendo necessárias medidas de apoio para períodos de inverno, principalmente nas ZBs 1, 2 e 3.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o impacto da orientação solar no conforto e desempenho térmico do projeto padrão Tipo 2 do Programa Proinfância nas zonas bioclimáticas brasileiras definidas conforme a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). A avaliação do conforto térmico foi baseada no modelo adaptativo para ambientes naturalmente ventilados da *Standard 55* (ASHRAE, 2013) com aceitação de 80% dos usuários. Para a avaliação do desempenho térmico foi utilizado o método de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013) conforme indicação do Manual do Proinfância. Estas avaliações foram realizadas através de simulações computacionais com o software *EnergyPlus*.

O programa experimental do trabalho foi dividido em duas fases. Na Fase 1, as avaliações de conforto e desempenho térmico permitiram uma análise e reflexão sobre o modo de avaliação térmica dos projetos padrão de pré-escolas do Programa. O Manual do Programa possui exigências vagas quanto ao conforto térmico dos usuários das pré-escolas. Os requisitos de desempenho térmico de Intermediário para verão e Mínimo para inverno parecem não ser suficientes para indicar um nível de conforto térmico adequado para os usuários. Foram encontrados resultados de desempenho térmico de temperaturas resultantes nos ambientes de permanência prolongada aceitos para a classificação exigida pelo Manual. Entretanto, quando comparadas a zona de conforto térmico de cada zona bioclimática, algumas temperaturas aceitas ficam abaixo ou acima das temperaturas operativas da zona de conforto. Além disso, a avaliação térmica possui algumas incertezas devido a alguns parâmetros do método de simulação da NBR 15.575 que não estão claros ou não foram definidos. Soma-se a isso o fato de que a norma foi desenvolvida para a avaliação de edificações habitacionais, e não educacionais. Torna-se evidente a importância do desenvolvimento de normativa específica para tipologias escolares, ou no caso do Programa Proinfância, que o Manual apresente níveis e exigências de conforto térmico mais definidos.

Na Fase 2 foi possível averiguar o impacto da orientação solar no conforto e no desempenho térmico da edificação em cada zona bioclimática. A edificação foi rotacionada de modo que o acesso principal ficasse para leste, norte, oeste e sul. Foi encontrada pequena variação nas classificações de desempenho térmico nas diferentes orientações. Algumas ZBs obtiveram as mesmas classificações em todas as orientações, não dando muitos indicativos, portanto, de qual

orientação solar é mais adequada para a implantação naquela ZB. Na avaliação do conforto térmico, a rotação do edifício e a influência das diferentes orientações solares apresentaram resultados com diferenças mais claras de serem observadas. A influência das orientações variou em cada zona bioclimática, com algumas apresentando maiores diferenças no número de horas ocupadas em conforto. Como o projeto arquitetônico da pré-escola Tipo 2 possui fachadas similares e, simetria nos eixos longitudinal e transversal, os resultados de mudança de orientação não diferem tanto em horas ocupadas em conforto em algumas regiões. Ainda assim, em algumas ZBs, a diferença de horas em sensação de conforto térmico faz com que a investigação realizada seja um indicativo de possível implantação do projeto padrão Tipo 2.

O presente trabalho focou na orientação solar do edifício por ser uma resolução que cabe aos gestores, arquitetos e engenheiros das prefeituras dos municípios fazê-la quando for escolhido o terreno de implantação do projeto. Ainda assim, deve ser salientado que um maior número de adaptações construtivas poderia ser elaborado para contribuir com o melhoramento do projeto, levando em conta as exigências do contexto, e tendo em vista a extensão territorial do país.

Assim como o Manual do Programa em relação ao conforto térmico, o memorial descritivo do projeto padrão Tipo 2 apresenta poucas informações em relação a adaptação ao contexto regional. O memorial propõe o fechamento do pátio coberto com vidro nas laterais em regiões frias. Mesmo a adaptação de fechamento do pátio estando prevista no memorial descritivo em regiões frias, o recurso financeiro para a adaptação não é disponibilizado pelo Fundo. Algumas pré-escolas acabam arrecadando o dinheiro no município para a realização do fechamento do pátio, porém outras deixam de fazê-lo.

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram maiores porcentagens de horas ocupadas em conforto em períodos quentes do que em períodos frios, demonstrando que o projeto padrão Tipo 2 está mais adequado às ZBs com temperaturas mais elevadas. Porém, ZBs como a 2 e a 3, que possuem temperaturas elevadas em períodos quentes e temperaturas baixas no inverno, merecem uma atenção maior às adequações necessárias do projeto à cada região.

A grande extensão do Brasil sugere que seja feita a ponderação sobre projetos padrão que são implantados em qualquer zona bioclimática brasileira. O reaproveitamento de um projeto em qualquer região sem as devidas adequações levanta dúvidas sobre o desempenho que a edificação atingirá. Estudos sobre conforto térmico e arquitetura bioclimática apresentam a importância das condicionantes do contexto na fase de projeto e a influência destes sobre as

condições térmicas internas dos ambientes e o consumo energético com a manutenção do conforto térmico. É importante que exista uma preocupação em relação aos condicionantes regionais do entorno para que se possa evitar gastos energéticos desnecessários (no caso de uso de climatização artificial), bem como propiciar ambientes confortáveis e adequados para as atividades escolares.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos obtidos neste trabalho são apenas uma pequena contribuição para o avanço do conhecimento no campo do desempenho e do conforto térmico em edificações escolares. Para ampliar os estudos neste campo ficam como sugestões os seguintes temas de trabalho:

- a) Validar e comparar os resultados obtidos através de simulação computacional com medições in loco ou outro tipo de análise como Avaliação Pós-Ocupação em projeto padrão já construído;
- b) Considerar o uso de sistema de ar condicionado nas edificações e investigar o consumo energético demandado em virtude da manutenção do conforto térmico em cada zona bioclimática;
- c) Propor adaptações construtivas de baixo custo para cada zona bioclimática que possam melhorar o conforto térmico dos usuários e diminuir o consumo energético da edificação;
- d) Investigar o impacto da orientação solar nos demais projetos padrão do Programa Proinfância.

REFERÊNCIAS

- ADALBERTH K. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. **Building and Environment** 1997; 4:321–9.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. **NBR 15.220-1**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- _____. **NBR 15.220-2**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.
- _____. **NBR 15.220-3**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de unifamiliars de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.
- _____. **NBR 15.575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho - parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.
- _____. **NBR-15.575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho – parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013d.
- _____. **NBR-15.575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013e.
- BABICK, C. S.; TORRES, M. C. A. Análise do desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão de edifício escolar do FNDE de acordo com os requisitos de normas e referenciais nacionais e internacionais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras. In: **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, vol. 4, n. 2, p. 110-128, Jul.-Dez. 2017.
- BAKAR, N. N. A; HASSAN, M. Y.; ABDULLAH, H.; RAHMAN, H. A.; ABDULLAH, M. P.; HUSSIN, F.; BANDI, M. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. In: **Renewable and Sustainable Energy**. 2015.
- BARROSO-KRAUSE, C. B. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética nas edificações**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2011.
- BLUM, L.N.; BRESOLIN, L. B.; WILLIAMS M. A. Heat-related illness during extreme weather emergencies. **Journal of the American Medical Association**. 1998; 279(19):1514.
- BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno no 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, 1994.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 26/02/2018.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 10.172**, de 9 de janeiro de 2001. Plano Nacional de Educação 2001-2010 (PNE). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110172.htm>. Acesso em: 28/06/2018.

_____. Congresso Nacional. **Instrução Normativa n.2**, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília: Diário Oficial da União, 2014.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2017**. Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

_____. Ministério da Educação. **Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação**. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br>>. Acesso em: 28/02/2018.

_____. Ministério da Educação. Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE), Ministério da Educação. **Relatório Situação Creches por Tipologia**. Planilha fornecida a autora pela CODIN/FNDE em 01 nov. 2018.

_____. Ministério da Educação. Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE), Ministério da Educação. **Projetos Arquitetônicos para construção**. Disponível em: <<https://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia>>. Acesso em: 28/02/2018

_____. Ministério da Educação. **Memorial Descritivo**. Projeto Proinfância Tipo 2. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia/areas-para-gestores/manuais>>. Acesso em: 28/02/2018.

_____. Ministério da Educação. **Audiência Pública para construção de Unidades Escolares Padronizadas. Proinfância B e C**. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/portaldecompras>>. Acesso em: 02/03/2018.

_____. Ministério da Educação. **Manual de Orientações Técnicas**. Volume 3. Elaboração de Projetos de Edificações Escolares. Ensino Fundamental. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br>>. Acesso em: 28/02/2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **PBE Edifica**. Disponível em: <www.pbeedifica.com.br>. Acesso em: 15/02/2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Procel info**. Disponível em <www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 15/02/2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>>. Acesso em: 19/06/2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **ProjetEEE**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br>>. Acesso em: 05/07/2018.

_____. Tribunal de Contas da União (TCU). GRUPO I – CLASSE V – Plenário TC 011.441/2012-7. **Relatório de Auditoria**. Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação e Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação.

BRUNDTLAND, G. H; KHALID, M.; AGNELLI, S.; AL-ALTHEL, S.;

CHIDZERO, B.; FADIKA, L.; HAU, V.; LANG, I; SHIJUN, M; BOTERO, M. M. de; SINGH, M.; OKITA, S. **Our Common Future** ('Brundtland report').

Oxford Paperback Reference. Oxford: Oxford University Press, Maio 1987.

CABEZA, L. F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 2014. p. 394-416.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008, 215 p.

CASTRO L. T. de; WESTPHAL, F. S. **Etiqueta nacional de conservação de energia: comparativo entre o método prescritivo e simulação para análise de desempenho da envoltória**. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Búzios, 2011. Disponível em < <http://www.infohab.org.br/encac>>. Acesso em: 22/08/2018

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA). **Cenário dos fabricantes de perfis galvanizados para light steel frame e drywall**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/>>. Acesso em: 20/08/2018

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – PROCEL. **Edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D>>. Acesso em: 06/07/2018.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **Guia para efficientização energética nas edificações públicas**. Versão 1.0. Out. 2014.

CLARKE, J. A. **Energy simulation in building design**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2001.

CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 308 p.

DE DEAR, Richard; BRAGER, Gail. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. Vol. 104. Part. 1. Berkeley: ASHRAE Transactions, 1998.

DUDEK, M. **Schools and kindergartens: a design manual**. Basel (Boston): Birkhäuser, 2007.

FLORES, M. L. R.; ALBUQUERQUE, S. S. de. **Implementação do Proinfância no Rio Grande do Sul** : perspectivas políticas e pedagógicas [recurso eletrônico] / org. Maria Luiza Rodrigues Flores, Simone Santos de Albuquerque. – Dados Eletrônicos. – Porto Alegre : EDIPUCRS, 2015.

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

GALAFASSI, M. **Impacto do método prescritivo do RTQ-C no processo de projeto arquitetônico de edificações: a visão de arquitetos em Florianópolis-SC**. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2012.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Building**, n. 18. Lausanne, 1992.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GONZALEZ, A. B. R.; DIAZ, J. J. V.; CAAMANO, A. J.; WILBY, M. R. Towards a universal energy efficiency index for buildings. In: **Energy Buildings**, n. 43, 2011, p. 980/987.

GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED 2009 for Schools**. Washington, DC: 2008. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/leed-for-schools.php?doc=RaitingSystemSchoolsNC.pdf&J=>>. Acesso em: 02/03/2018.

HASHEMI, A.; KHATAMI, N. Effects of solar shading on thermal comfort in low-income tropical housing in **Energy Procedia**, 111. 2017. p. 235 – 244.

INNOVA AIRTECH INSTRUMENTS. **Thermal Confort**. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf >. Acesso em: 19/06/2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Manual para a etiquetagem de edificações públicas – gestor público**. 2014. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Etiquetagem_Edificacoes_Publicas.pdf >. Acesso em: 20/02/2018.

_____. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Versão 4, 2016. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf >. Acesso em: 20/02/2018.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C)**. Publicado através da portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em: 20/02/2018.

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. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Org.). Geneva: 2014, 151 p.

_____. **Mitigation of Climate Change**. Bangkok, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 28/02/2018.

KALZ, D. E.; PFAFFEROTT, J. **Thermal Comfort of Nonresidential Efficient Cooling and Energy- Buildings**. Berlim: Springer, 2014.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed., 366p. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

LAMBERTS, R; XAVIER, A. A.; GOULART, S; VECCHI, R. de. **Conforto e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, jun. 2016.

LEDER, S. M.; LIMA, A. V. P. **Sombreamento e transferência de calor na envoltória da edificação**. III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.anparq.org.br>>. Acesso em: 25/08/2018

LUCON, O.; URGE-VORSATZ, D.; ZAIN AHMED, A.; AKBARI, H.; BERTOLDI, P.; CABEZA, L. F.; EYRE, N.; GADGIL, A.; HARVEY, L. D. D.; JIANG, Y.; LIPHOTO, E.; MIRASGEDIS, S.; MURAKAMI, S.; PARIKH, J.; PYKE, C.; VILARINO, M. V. Buildings. In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLOMER, S.; VON STECHOW, C.; ZWICKEL, T.; MINX, J.C. (Org.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014.

MASCARÓ, L. R. de. **Energia na edificação.** 2. ed. São Paulo, 1991.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas.** 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010. 192 p.

MATOS, J. M. **Qualificação de edifícios residenciais verticais em Natal/RN à luz do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C).** Dissertação (Mestrado): Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Natal, 2012.

MODLER, N.L.; RHEINGANTZ, P. A.; AZEVEDO, G. A. N.; **O projeto do ambiente escolar infantil.** In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. 2017 - João Pessoa-PB.

MODLER N.L.; BERLEZE A.S.; TSUTSUMI E.K.; LINCZUK V.C.C.; AZEVEDO G.A.N. Avaliação de desempenho de um projeto padrão do programa Proinfância: escola de educação infantil no sul do Brasil. In: **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 95-118, 2018.

NASCIMENTO F. M. de B.; BATISTA J. O. **Avaliação do desempenho térmico da creche padrão do programa Proinfância através dos índices de conforto: estudo de caso na cidade de Maceió-AL.** XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Balneário Camboriú, 2017.

NICOLETTI, A. M. A. **Eficiência energética em um Ministério da Esplanada em Brasília: propostas para retrofit de envoltória.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo): Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.** 4. ed. Princeton: Princeton University Press, 1963.

ORDENES M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PEGLOW, J.; RITTER, V.; RONCA, A.; PEREIRA, R.; CUNHA, E.; RHEINGANTZ, P. **Avaliação do conforto térmico de escola municipal de educação infantil em Pelotas/RS – ZB2.** XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo, 2016.

QUINTANA, L. C.; MACIEL, T. S.; DUARTE, C. M.; BELTRAME, C. M.; LEITZKE, R. K.; PEGLOW, J. S.; RHEINGANTZ, P. A.; CUNHA, E. G. **Avaliação do nível de conforto**

térmico de dois projetos de EMEIs a serem construídas na cidade de Pelotas/RS – Zb2. In: XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, X Encontro Latino Americano de Conforto Ambiente Construído. Camburiú, SC, Brasil, 2017.

RHEINGANTZ, P.; CUNHA, E. G.; PEGLOW, J. S.; RITTER, V.; QUINTANA L. C.; MACIEL T. S.; BELTRAME C.; DUARTE C. M.; SILVA A. C. B. Place, architecture, design and thermal comfort: a municipal day care childhood centre in colônia C3, Pelotas/RS, Brazil. **Journal of Civil Engineering and Architecture**. 2017. p. 364-379

RITTER, V.; MODLER N.; MACIEL T.; FERITAS F.; CUNHA E.; RHEINGANTZ P. A. **Avaliação do nível de conforto térmico de escola infantil com projeto padrão.** XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Foz do Iguaçu, 2018.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS-REE, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável.** Tradução: Alexandre Salvaterra. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

RUSSI, M.; VETTORAZZI, E.; SANTOS, J. C. P.; ZÓFOLI, G. DA R.; SOARES, R. M. D. **Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras.** Passo Fundo: IMED, 2012.

SARTORI, I; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and lowenergy building: a review article. In: **Energy and Buildings**. 2007. p. 249–257.

SCHABBACH, L. M.; RAMOS, M. P. A inserção de municípios gaúchos. In: **Serviço Público**. n. 68. Brasília, abr./jun. 2017. p. 439-466.

SHARMA, A.; SAXENA, A.; SETHI, M.; SHREE, V.; VARUN. Life cycle assessment of buildings: A review. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 2011. p. 871-875.

SILVA, A. S.; SORGATO, M. J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; GHISI, E. Incerteza do método de simulação da NBR 15.575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.

SILVA, L. B. da. **Mudanças climáticas e a elevação da temperatura: Implicações no conforto, na saúde e no desempenho de alunos em ambientes de ensino inteligentes (news ict) nas regiões brasileiras.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, 2013.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15.575: zona bioclimática 2. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 305-327, jan./mar. 2017.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15.575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

SOUZA, L. N. de. **Arquitetura escolar, parâmetros de projeto e modalidades de aprendizagem.** Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP: [s.n.], 2018.

SPAGNUOLO, A. Y. N., PETRINI DA SILVEIRA, G. W., SERRANO, A. C., MAGAGNIN, R. C., FARIA, O. B. **Conforto térmico de edifício escolar padrão Proinfância tipo B em três regiões bioclimáticas brasileiras distintas.** Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 2018, Foz do Iguaçu. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SZOKOLAY, S.; PEDRINI, A. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. In: **Ambiente Construído**. V. 5, n. 1. Porto Alegre, jan./mar. 2005, p. 39-54.

TAVARES, L. R. **Eficiência energética em edificações: aplicação do RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - na cidade de Uberlândia – MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2011.

TSUZUKI, K.; TOCHIHARA, Y., OHNAKA, T. Comparison of thermal responses between young children (1- to 3-year-old) and mothers during cold exposure. **European Journal of Applied Physiology**. 2008, 103, 697–705.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Input Output Reference**. EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation. University Of Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Set. 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Energy drives economies and sustains societies: The production and use of energy is also the single biggest contributor to global warming**. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/ar/node/2037>>. Acesso em: 19/06/2018.

_____. **Goal 11: Sustainable cities and communities**. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/ar/node/2037>>. Acesso em: 19/06/2018.

XU, Z.; ETZEL, R.; CUNRUIHUANG, H.; SHILUTONG, Y. Impact of ambient temperature on children's health: a systematic review. **Environmental Research**, v. 117, n. 16, p. 120-131, Ago, 2012.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST M.; HAFEZI M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 2016. p. 895–906

APÊNDICE A – Memorial de cálculo

Transmitância e Capacidade Térmica da parede externa (bloco cerâmico 14x19x39):

Seção A: (arg. reboco + arg. assentamento + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) + (0,2 \times 0,01) = 0,005\text{m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{reb.}}{y_{reb.}} + \frac{e_{ass.}}{y_{ass.}} + \frac{e_{reb.}}{y_{reb.}} \rightarrow R_A = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_A = 0,173$$

Seção B: (arg. reboco + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,05 \times 0,39) \times 3 = 0,058\text{m}^2$$

$$R_B = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_B = 0,576$$

Seção C: (arg. reboco + cerâmica + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) \times 4 = 0,015\text{m}^2$$

$$R_C = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,14}{0,09} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_C = 0,207$$

$$R_t = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{3 \times A_B}{R_B} + \frac{4 \times A_C}{R_C}} \rightarrow R_t = 0,380 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,30 + 0,4 \rightarrow R_T = 0,550 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_t} = 1,817 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Capacidade térmica:

$$C_{tA} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{tA} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg. \text{ assentamento}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tA} = 400$$

$$C_{tB} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb.} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tB} = 178,88$$

$$C_{tC} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tC} = 326,08$$

$$C_T = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{C_{tA}} + \frac{3 \times A_B}{C_{tB}} + \frac{4 \times A_C}{C_{tC}}} \rightarrow C_T = 205,32 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Transmitância e Capacidade Térmica da parede interna (bloco cerâmico 9x19x39):

Seção A: (arg. reboco + arg. assentamento + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) + (0,2 \times 0,01) = 0,005\text{m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{reb.}}{y_{reb.}} + \frac{e_{ass.}}{y_{ass.}} + \frac{e_{reb.}}{y_{reb.}} \rightarrow R_A = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_A = 0,130$$

Seção B: (arg. reboco + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,035 \times 0,39) \times 4 = 0,054$$

$$R_B = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_B = 0,405$$

Seção C: (arg. reboco + cerâmica + arg. reboco)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) \times 5 = 0,019\text{m}^2$$

$$R_C = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,09}{0,09} + \frac{0,03}{1,15} \rightarrow R_C = 0,152$$

$$R_t = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{3 \times A_B}{R_B} + \frac{4 \times A_C}{R_C}} \rightarrow R_t = 0,259 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,30 + 0,4 \rightarrow R_T = 0,429 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = 2,327 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica:

$$C_{tA} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{tA} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg. \text{ assentamento}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tA} = 300$$

$$C_{tB} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb.} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer.} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tB} = 164,16$$

$$C_{tC} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} \rightarrow C_{tC} = 252,48$$

$$C_T = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{C_{tA}} + \frac{3 \times A_B}{C_{tB}} + \frac{4 \times A_C}{C_{tC}}} \rightarrow C_T = 186,261 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Bloco cerâmico 14x19x39 sem revestimento:

Seção A: (arg. assentamento)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) + (0,2 \times 0,01) = 0,005\text{m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{\text{ass.}}}{y_{\text{ass.}}} \rightarrow R_A = \frac{0,14}{1,15} \rightarrow R_A = 0,121$$

Seção B: (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$\text{Área} = (0,05 \times 0,39) \times 4 = 0,058$$

$$R_B = \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} \rightarrow R_B = 0,524$$

Seção C: (cerâmica)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) \times 4 = 0,015\text{m}^2$$

$$R_C = \frac{0,14}{0,09} \rightarrow R_C = 0,155$$

$$R_t = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{3 \times A_B}{R_B} + \frac{4 \times A_C}{R_C}} \rightarrow R_t = 0,307 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,30 + 0,4 \rightarrow R_T = 0,477 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Capacidade térmica:

$$C_{tA} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{tA} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{arg. assentamento}} \rightarrow C_{tA} = 280$$

$$C_{tB} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} \rightarrow C_{tB} = 58,88$$

$$C_{tC} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} \rightarrow C_{tC} = 206,08$$

$$C_{T \text{ tijolo}} = \frac{3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{3 \times A_B}{C_{tB}} + \frac{4 \times A_C}{C_{tC}}} \rightarrow C_T = 69,301 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \text{Área} = (0,058 + 0,015) = 0,074\text{m}^2$$

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{C_{tA}} + \frac{3 \times A_B}{C_{tB}} + \frac{4 \times A_C}{C_{tC}}} \rightarrow C_T = 73,373 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Espessura equivalente cerâmica:

$$\frac{Ct \text{ módulo}}{2 \times (c \times \rho)} \rightarrow \frac{73,373}{2 \times (0,92 \times 1.600)} \rightarrow = 0,024\text{m}$$

Espessura equivalente câmara de ar:

$$0,14 - (2 \times 0,024) \rightarrow = 0,09\text{m}$$

Bloco cerâmico 9x19x39 sem revestimento:

Seção A: (arg. assentamento)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) + (0,2 \times 0,01) = 0,005\text{m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{\text{ass.}}}{y_{\text{ass.}}} \rightarrow R_A = \frac{0,14}{1,15} \rightarrow R_A = 0,078$$

Seção B: (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$\text{Área} = (0,05 \times 0,39) \times 4 = 0,054$$

$$R_B = \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} + 0,16 + \frac{0,10}{0,9} \rightarrow R_B = 0,353$$

Seção C: (cerâmica)

$$\text{Área} = (0,01 \times 0,39) \times 5 = 0,019\text{m}^2$$

$$R_C = \frac{0,09}{0,09} \rightarrow R_C = 0,1$$

$$R_t = \frac{\frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{3 \times A_B}{R_B} + \frac{4 \times A_C}{R_C}}}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{3 \times A_B}{R_B} + \frac{4 \times A_C}{R_C}} \rightarrow R_t = 0,188 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,30 + 0,4 \rightarrow R_T = 0,358 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Capacidade térmica:

$$C_{tA} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{tA} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{arg. assentamento}} \rightarrow C_{tA} = 180$$

$$C_{tB} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} + \text{câm. de ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cer.}} \rightarrow C_{tB} = 44,16$$

$$C_{tC} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} \rightarrow C_{tC} = 132,48$$

$$C_{T \text{ tijolo}} = \frac{\frac{3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{3 \times A_B}{Ct_B} + \frac{4 \times A_C}{Ct_C}}}{\frac{3 \times A_B}{Ct_B} + \frac{4 \times A_C}{Ct_C}} \rightarrow C_T = 53,555 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \text{Área} = (0,054 + 0,019) = 0,074\text{m}^2$$

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{\frac{A_A + 3 \times A_B + 4 \times A_C}{\frac{A_A}{Ct_A} + \frac{3 \times A_B}{Ct_B} + \frac{4 \times A_C}{Ct_C}}}{\frac{A_A}{Ct_A} + \frac{3 \times A_B}{Ct_B} + \frac{4 \times A_C}{Ct_C}} \rightarrow C_T = 56,481 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Espessura equivalente cerâmica:

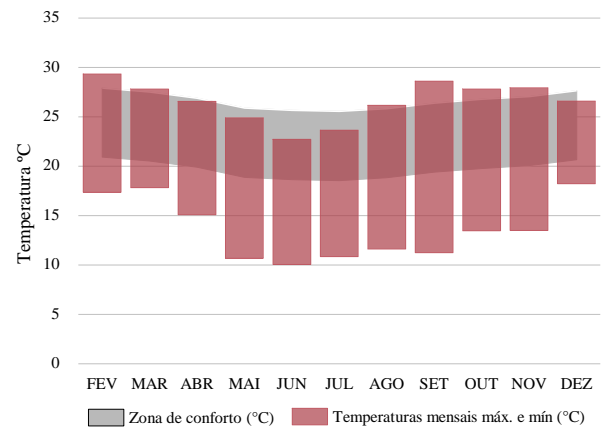
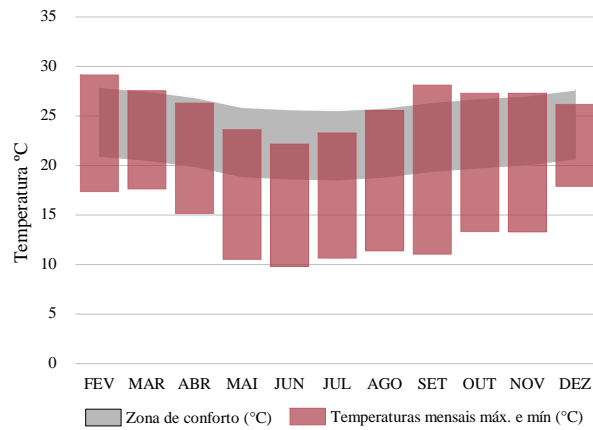
$$\frac{Ct \text{ módulo}}{2 \times (c \times \rho)} \rightarrow \frac{56,481}{2 \times (0,92 \times 1.600)} \rightarrow = 0,019\text{m}$$

Espessura equivalente câmara de ar:

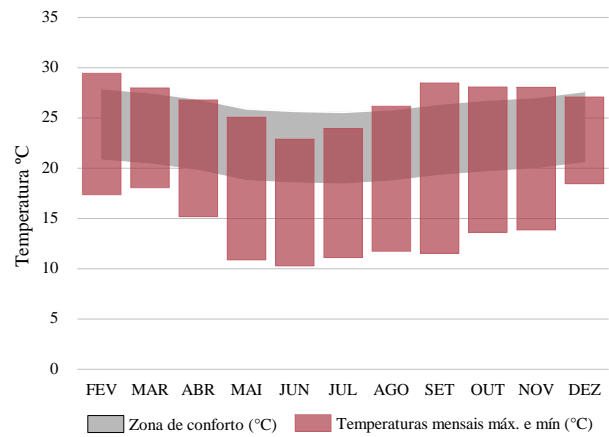
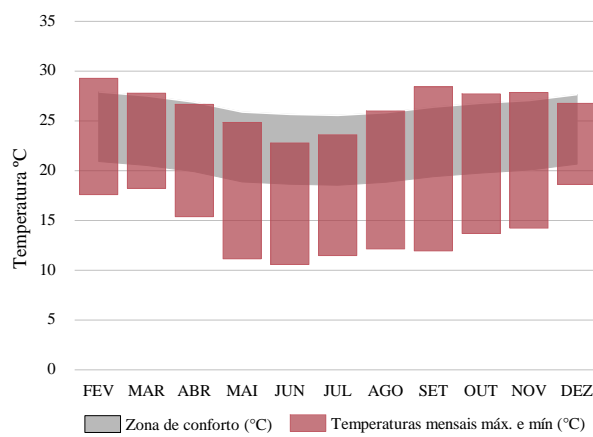
$$0,09 - (2 \times 0,019) \rightarrow = 0,05\text{m}$$

APÊNDICE B – Gráficos Zona Bioclimática 1

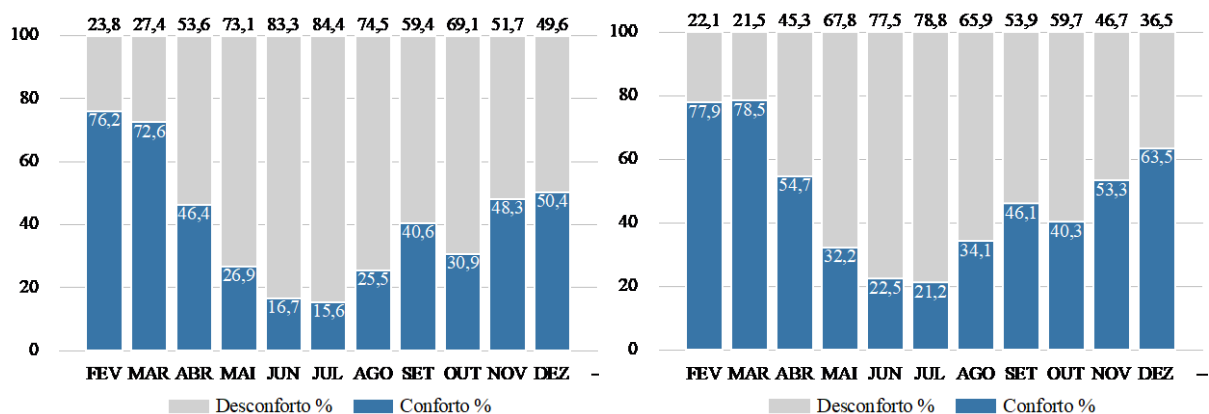
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



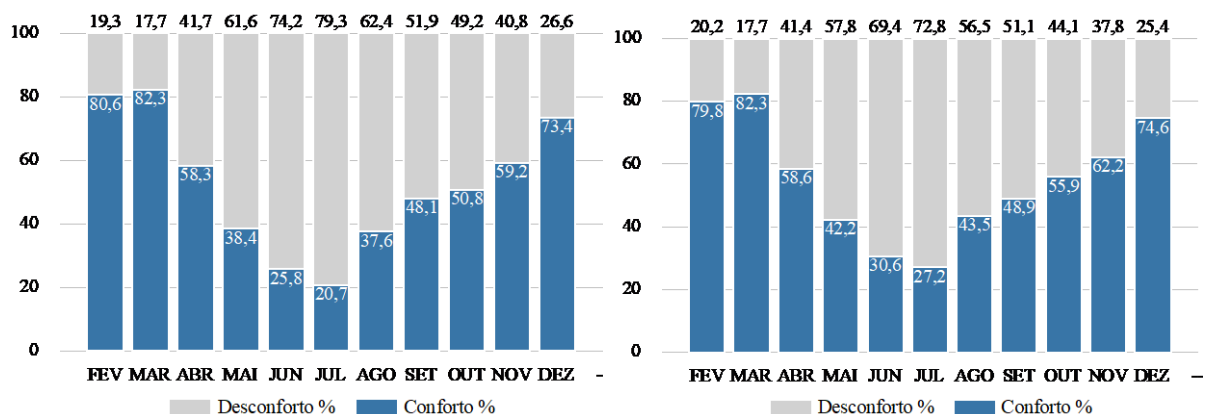
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

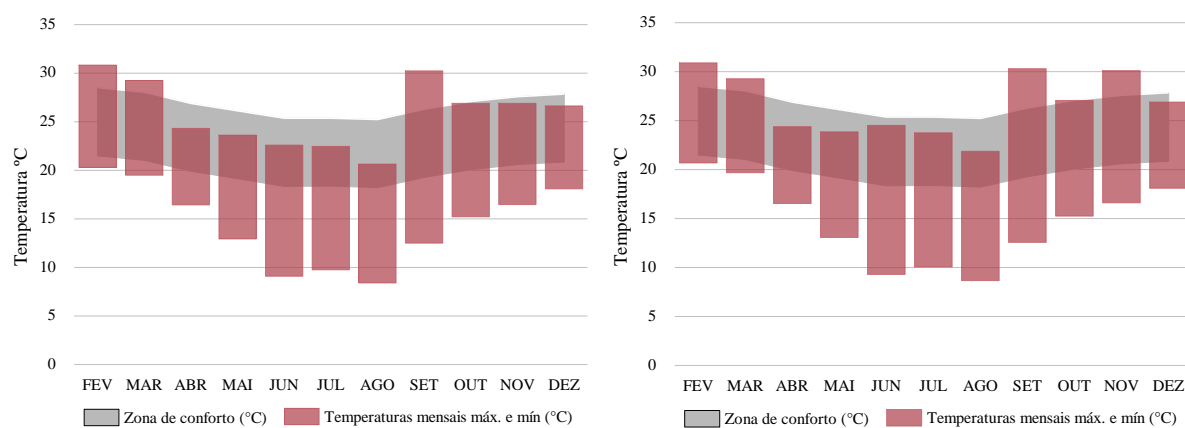


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

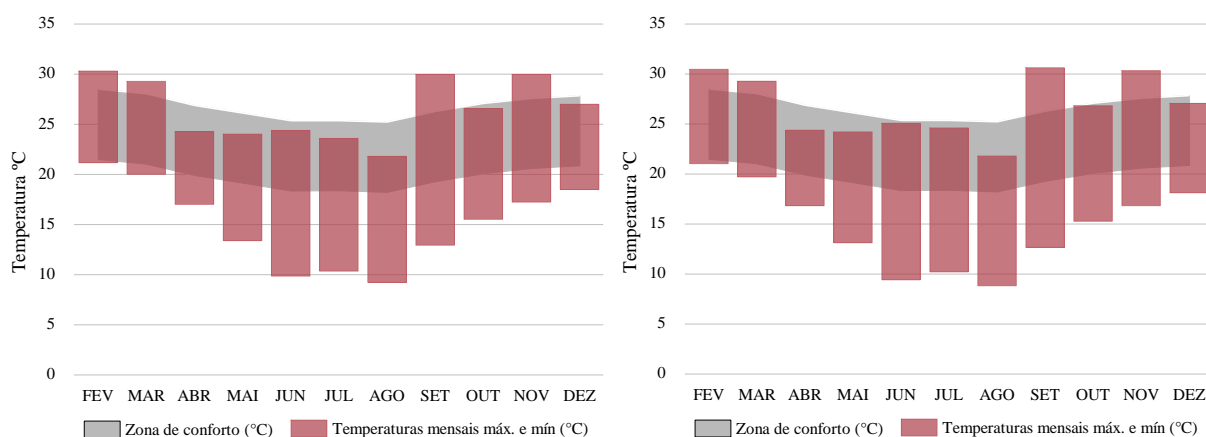


APÊNDICE C – Gráficos Zona Bioclimática 2

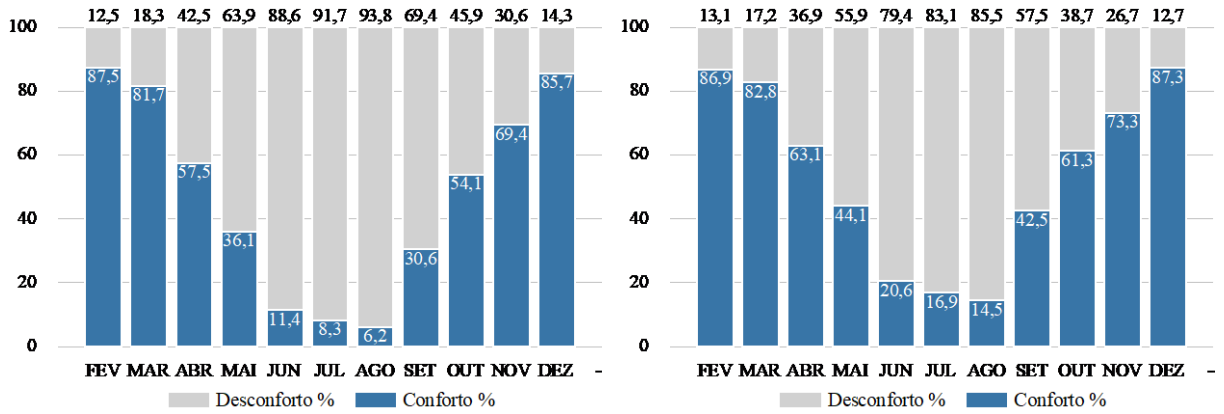
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



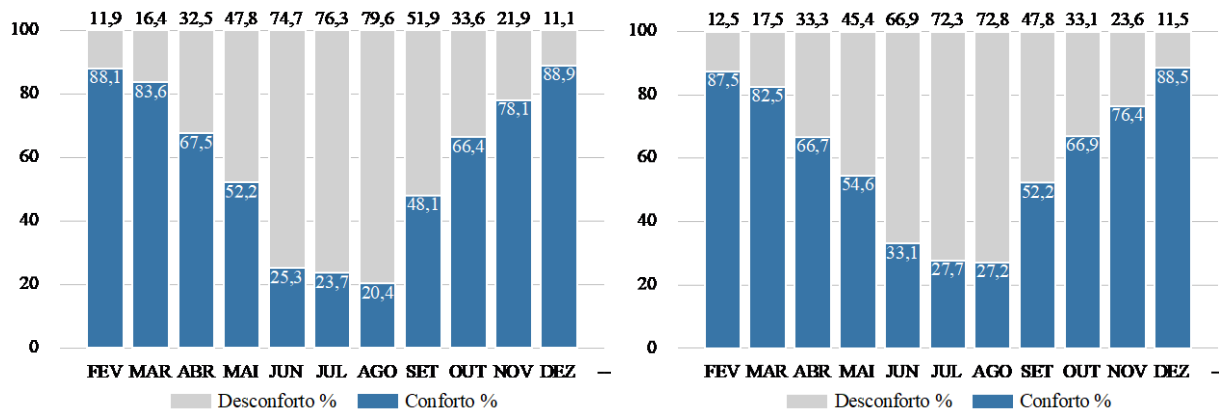
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

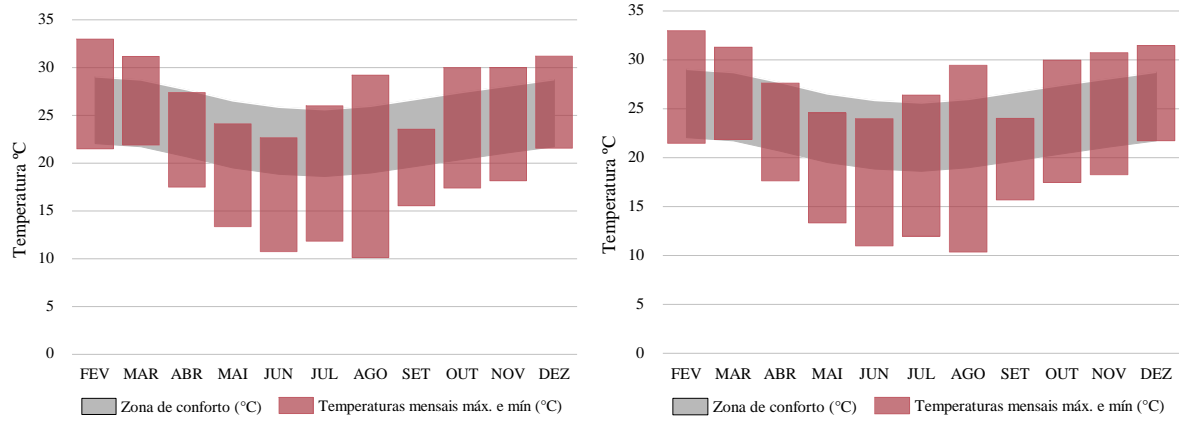


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

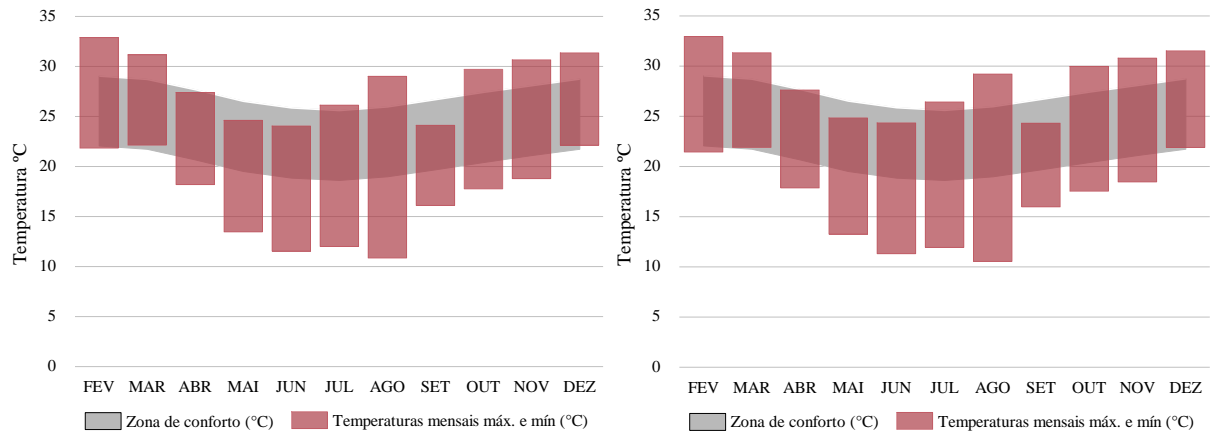


APÊNDICE D – Gráficos Zona Bioclimática 3

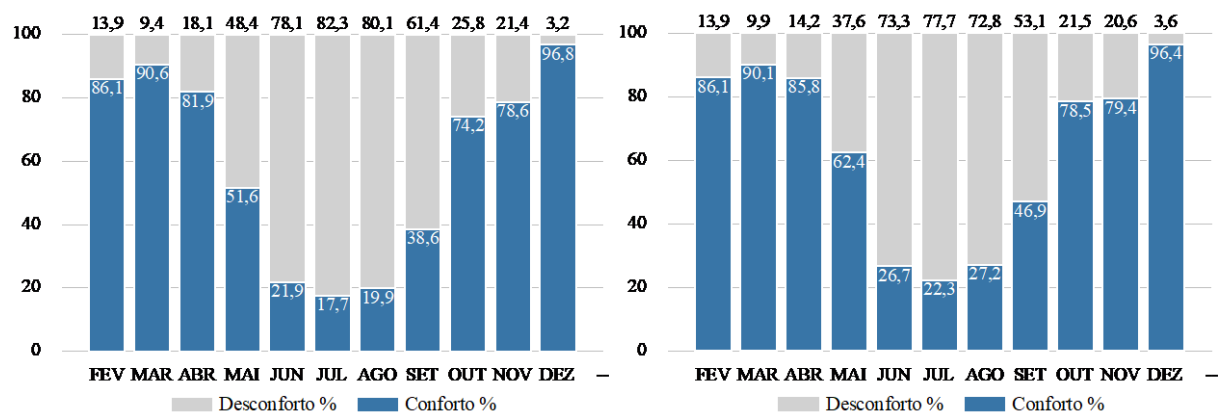
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



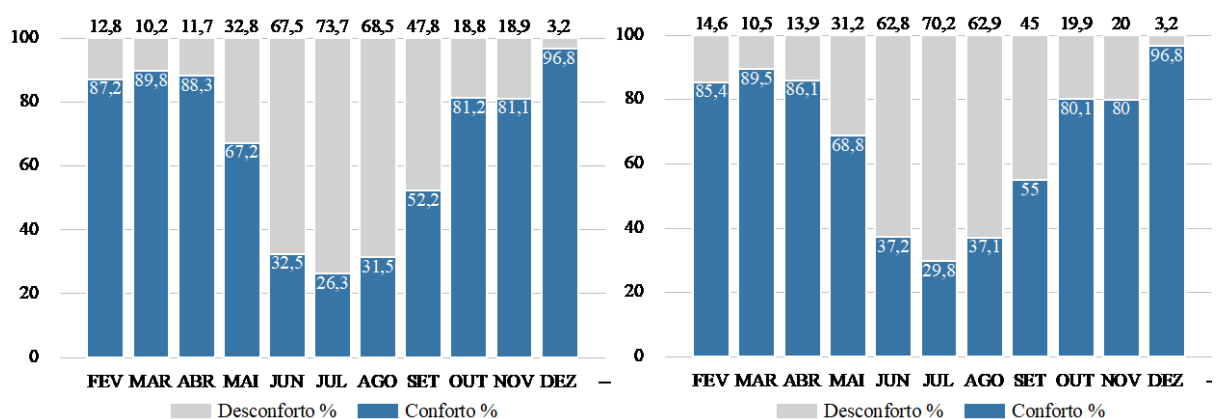
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

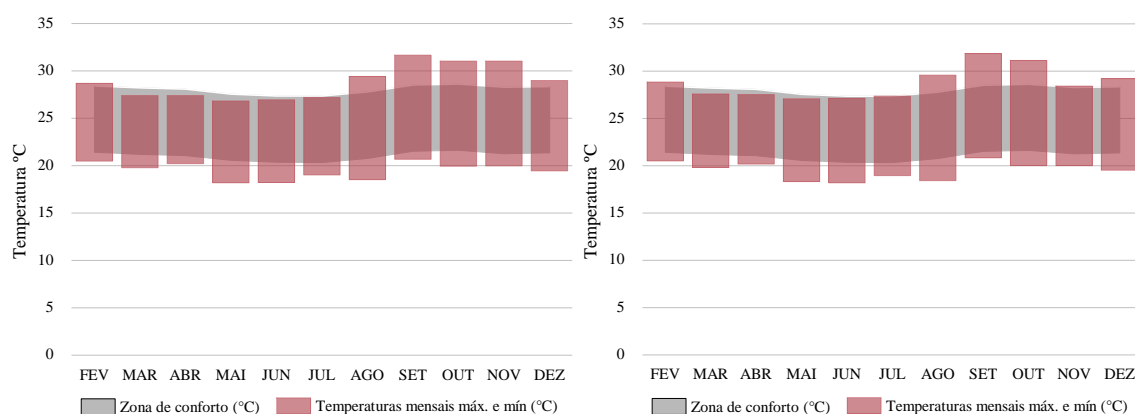


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

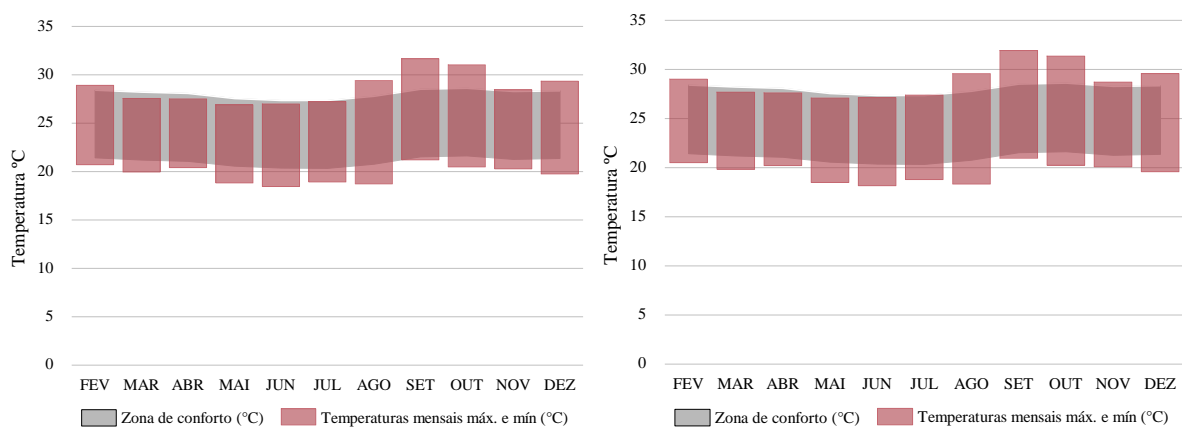


APÊNDICE E – Gráficos Zona Bioclimática 4

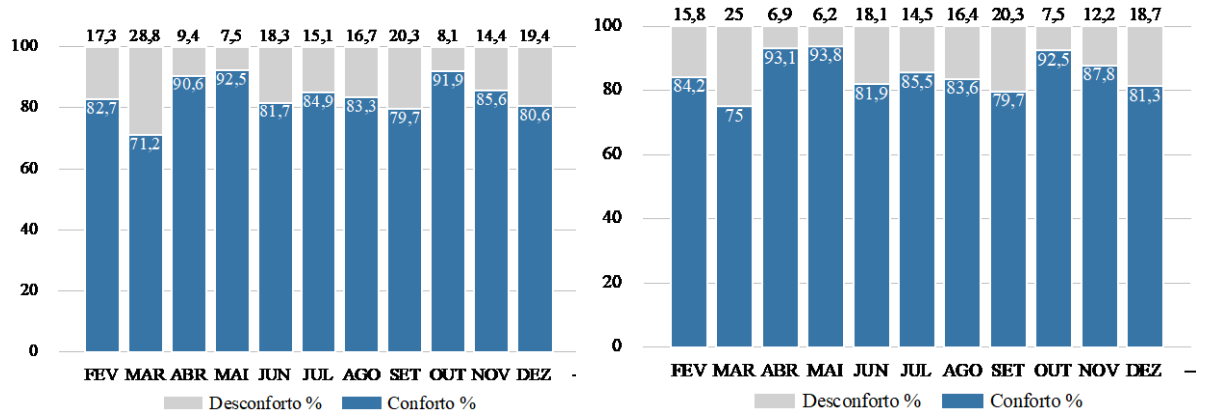
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



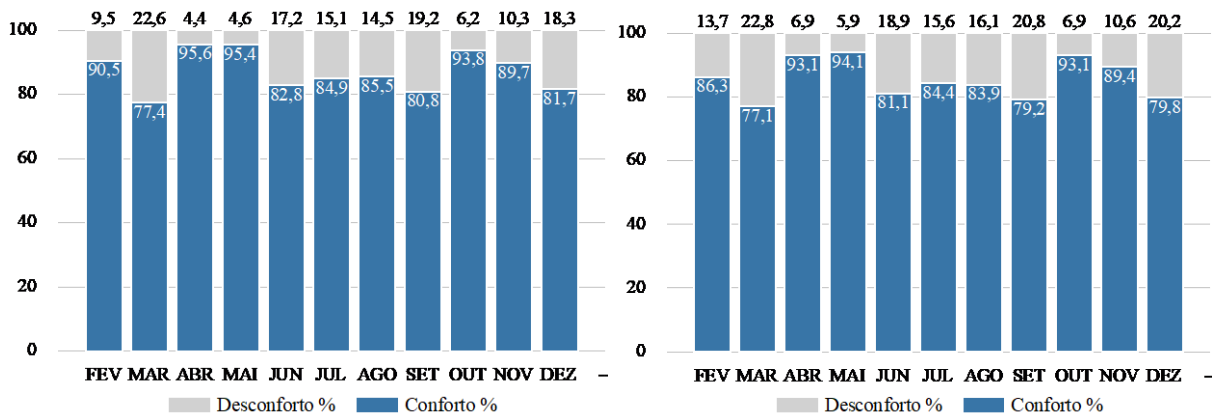
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

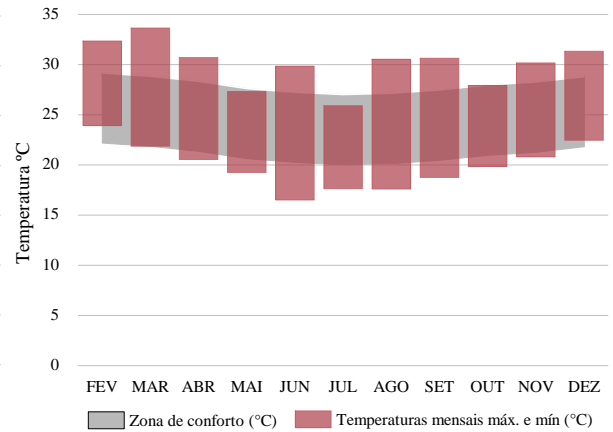
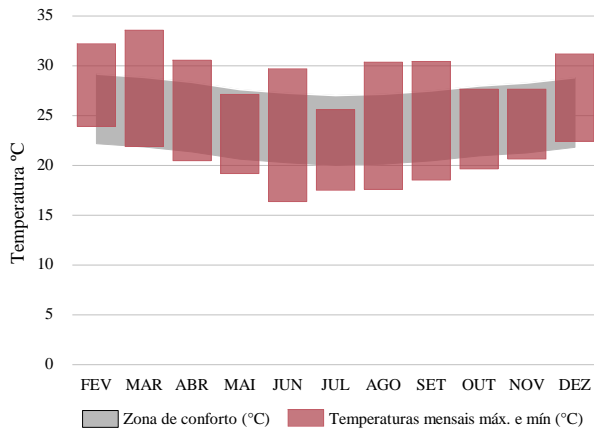


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

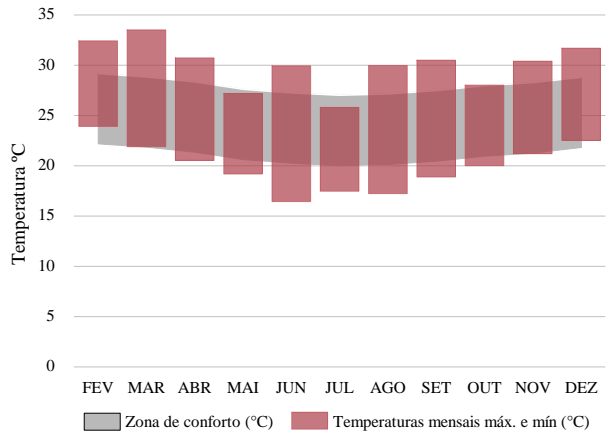
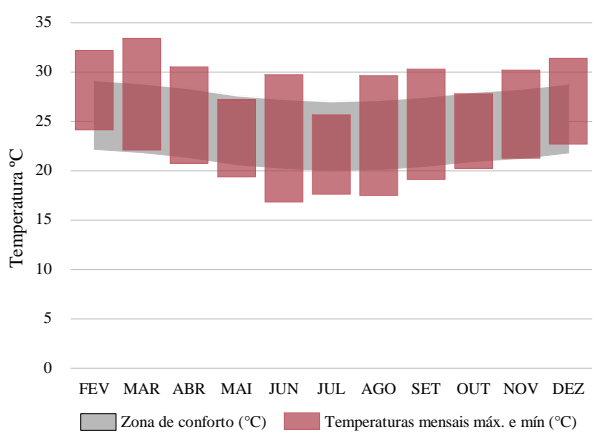


APÊNDICE F – Gráficos Zona Bioclimática 5

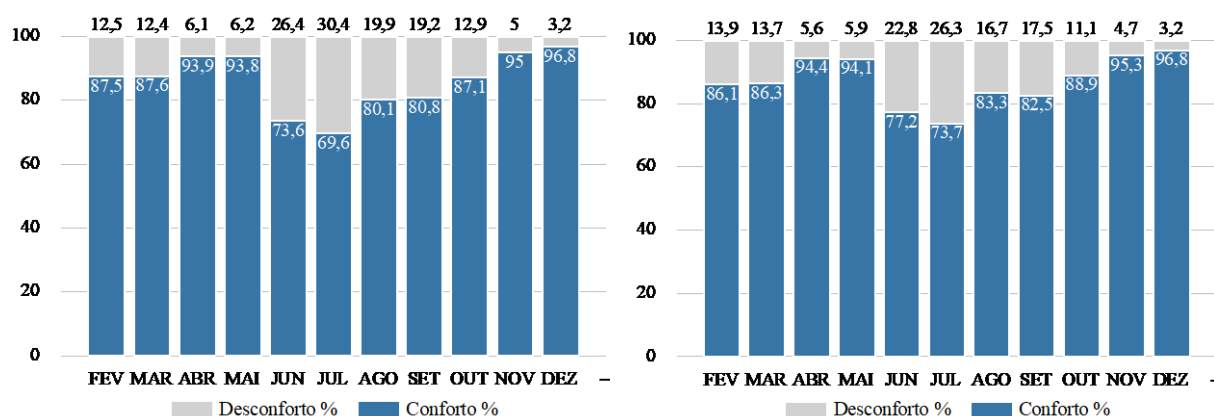
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



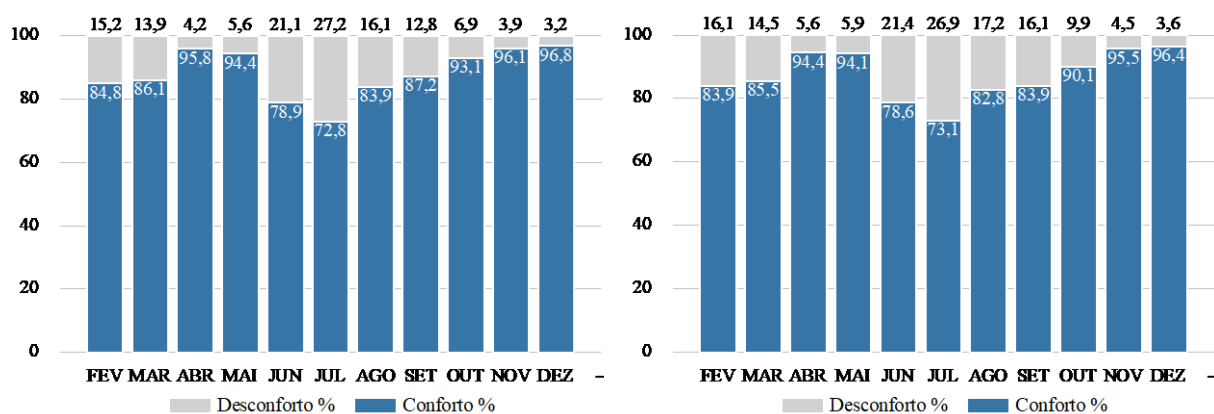
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

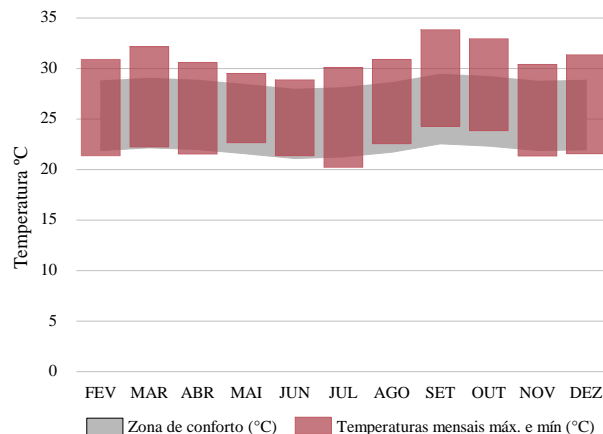
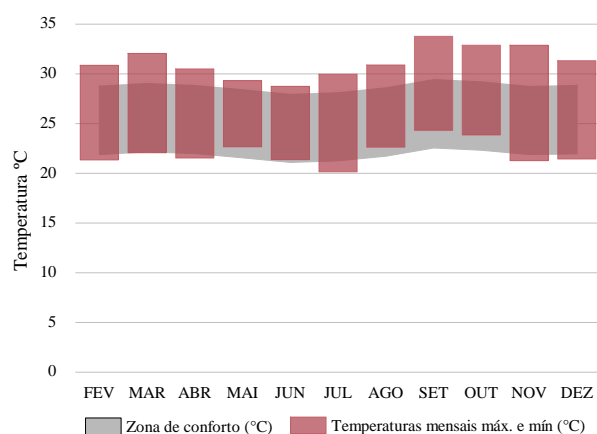


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

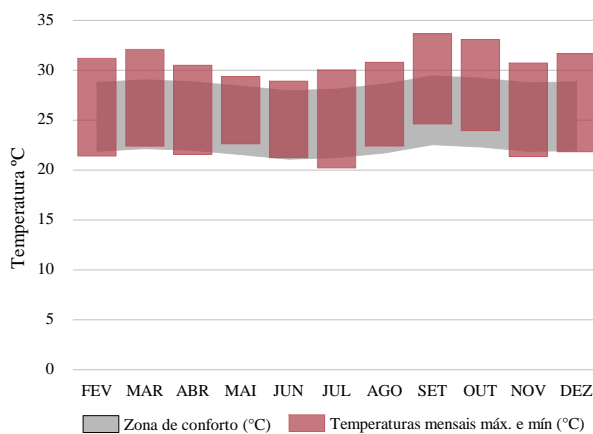
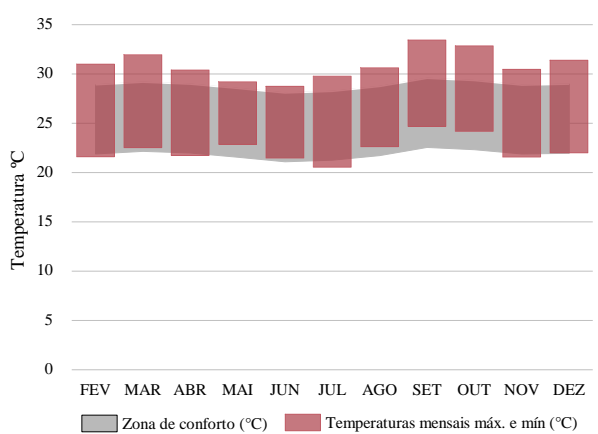


APÊNDICE G – Gráficos Zona Bioclimática 6

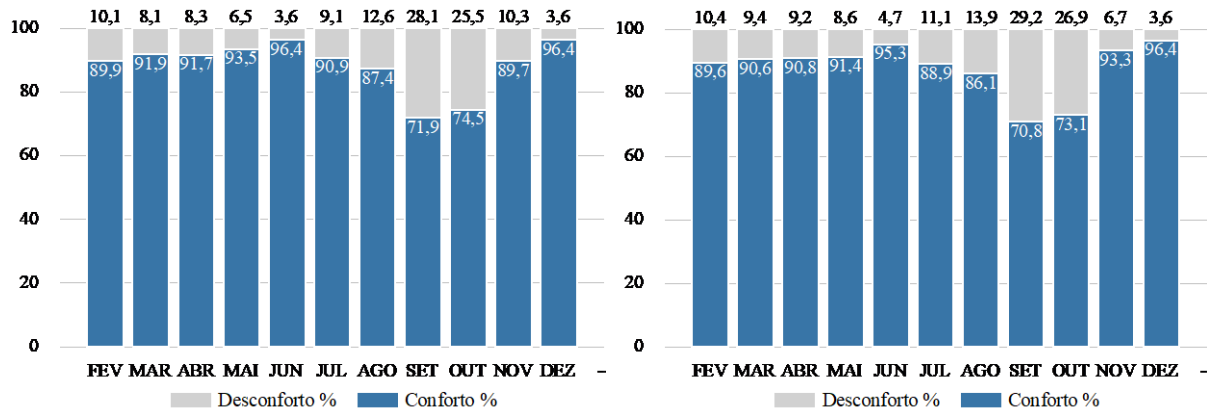
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



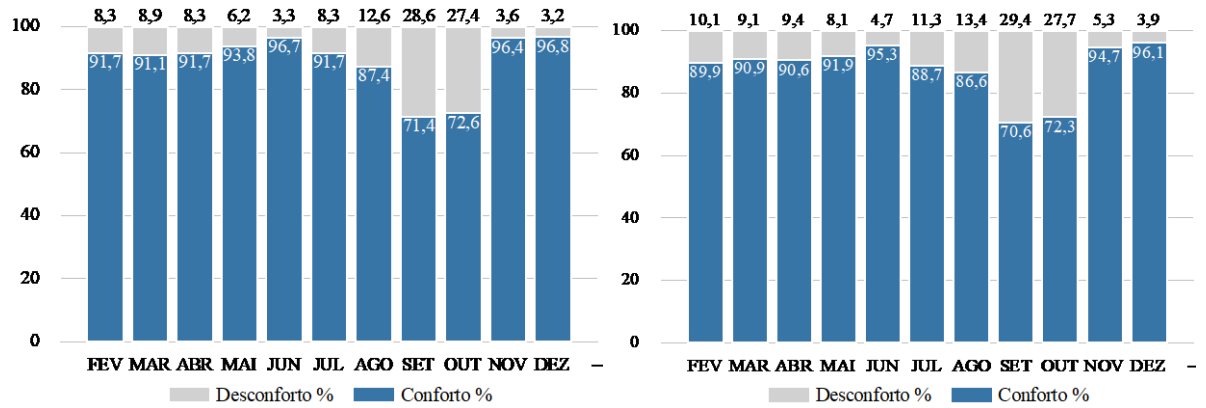
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

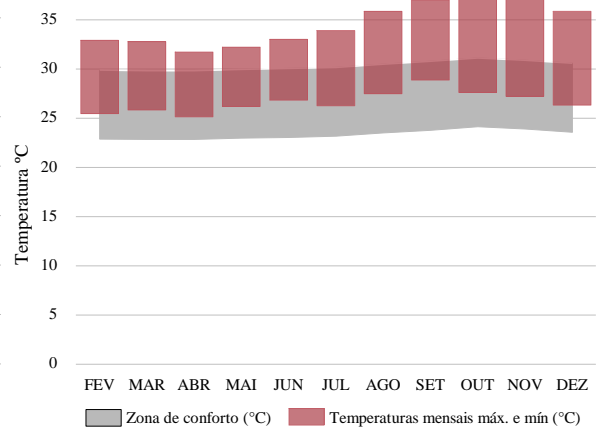
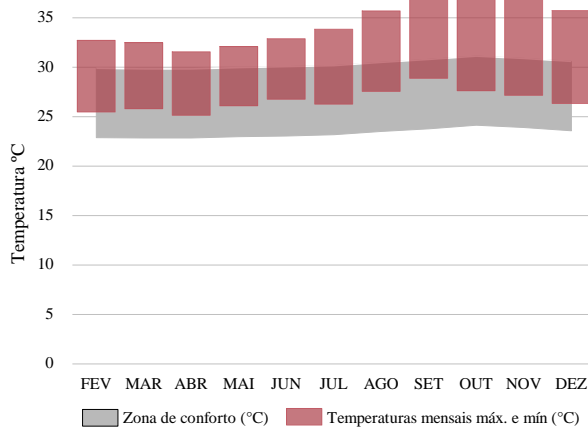


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

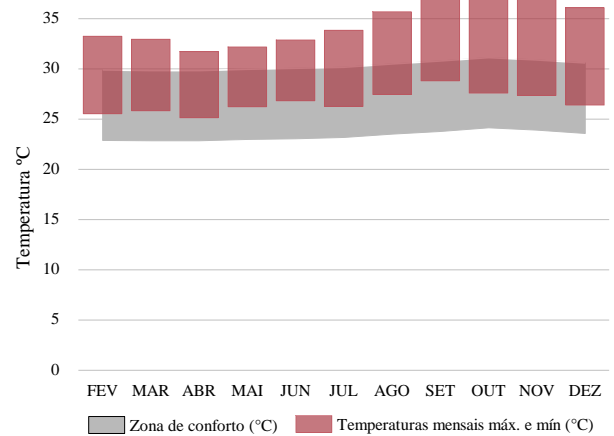
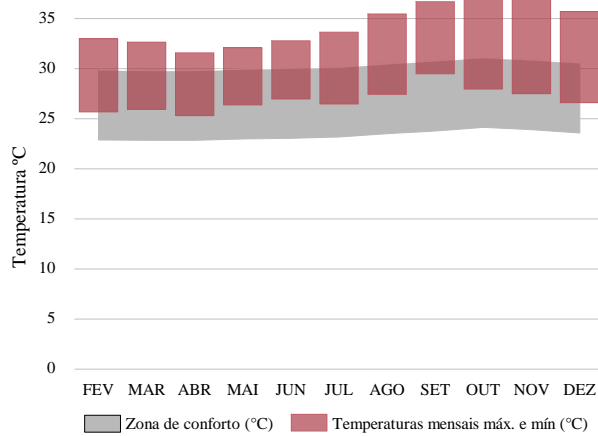


APÊNDICE H – Gráficos Zona Bioclimática 7

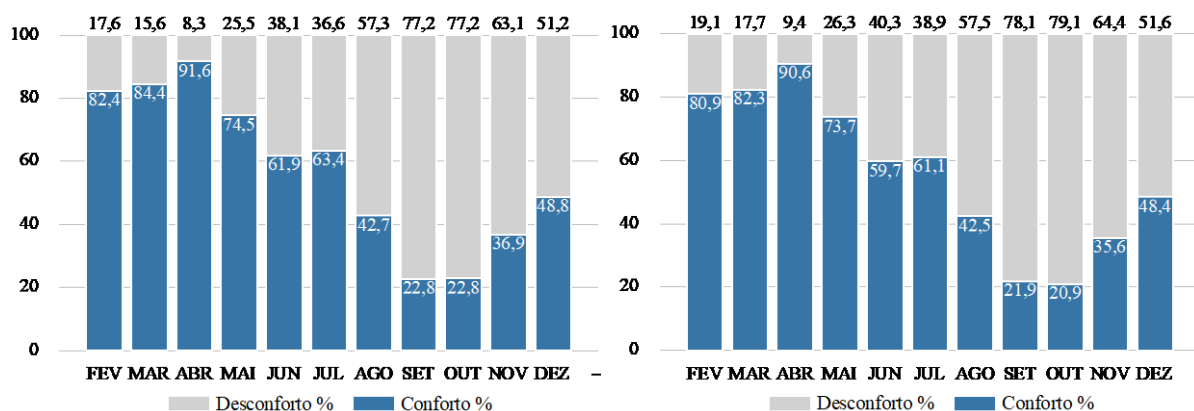
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



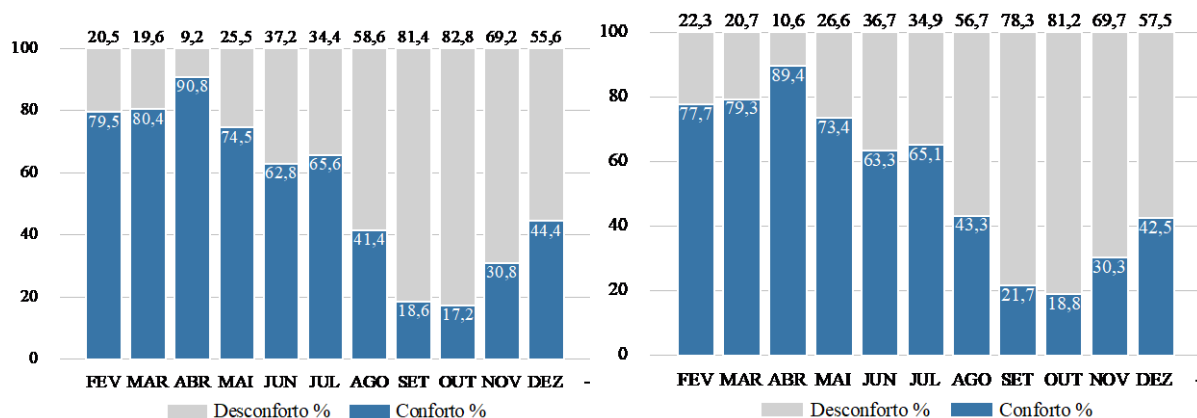
Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

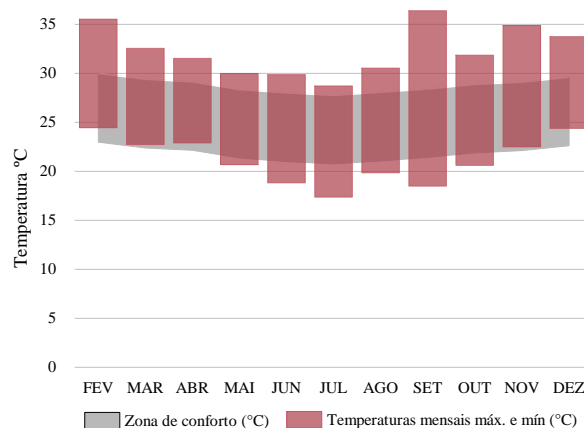
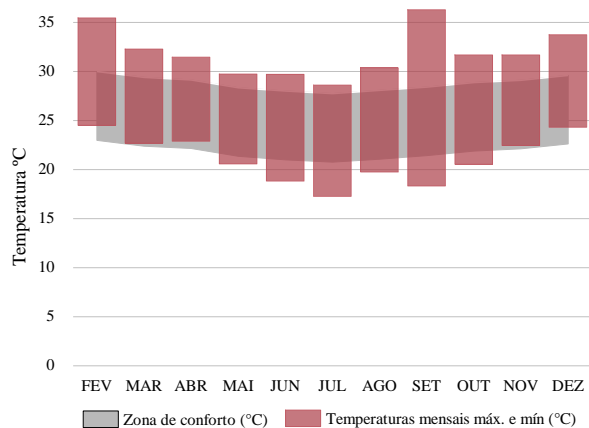


Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

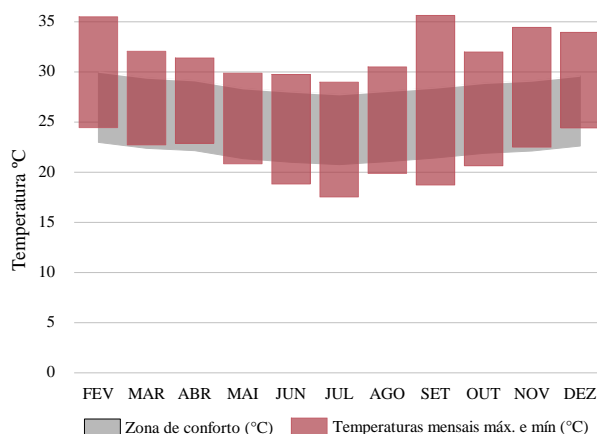
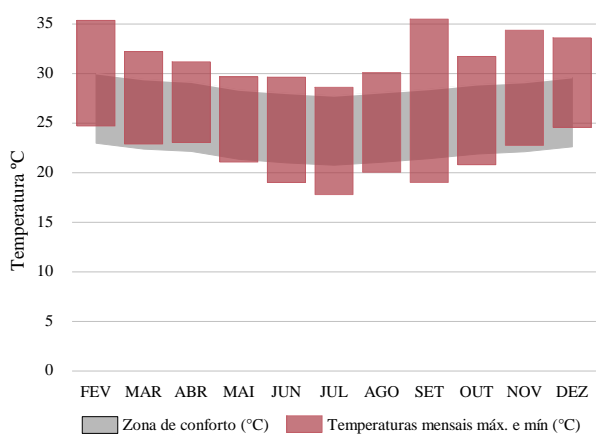


APÊNDICE I – Gráficos Zona Bioclimática 8

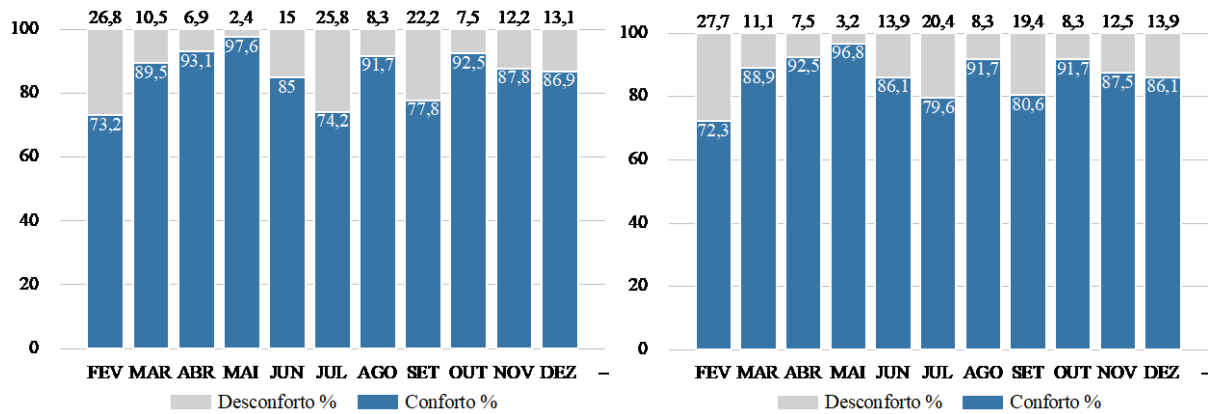
Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: temperaturas internas mínimas e máximas e zona de conforto



Gráficos Creche 1 e 2 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico



Gráficos Creche 3 e Pré-escola 1 respectivamente: percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico

