

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
CRECHE DO PROGRAMA PROINFÂNCIA:

estudo de caso no clima semiárido  
de Arapiraca-AL

Ana Maria Laurindo André Nunes  
Orientador: Ricardo Victor R. Barbosa  
Coorientadora: Juliana Oliveira Batista

Maceió  
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – CAMPUS A. C. SIMÕES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CRECHE DO PROGRAMA  
PROINFÂNCIA:  
ESTUDO DE CASO NO CLIMA SEMIÁRIDO DE ARAPIRACA-AL**

**Ana Maria Laurindo André Nunes**

Maceió

2020

**Ana Maria Laurindo André Nunes**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CRECHE DO PROGRAMA  
PROINFÂNCIA:  
ESTUDO DE CASO NO CLIMA SEMIÁRIDO DE ARAPIRACA-AL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa**

**Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Oliveira Batista**

Maceió

2020

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

N972a Nunes, Ana Maria Laurindo André.

Análise do desempenho térmico da creche do Programa Proinfância : estudo de caso no clima semiárido de Arapiraca-AL / Ana Maria Laurindo André Nunes. – 2020.

217 f. : il. color.

Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

Co-orientadora: Juliana Oliveira Batista.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 158-169.

Apêndices: f. 171-214.

Anexos: f. 216-217.

1. Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil. 2. Edifícios escolares - Arapiraca (AL). 3. Conforto térmico. 4. Arquitetura e clima. I. Título.

CDU: 727.111(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Ana Maria Laurindo André Nunes

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CRECHE DO  
PROGRAMA PROINFÂNCIA:  
ESTUDO DE CASO NO CLIMA SEMIÁRIDO DE ARAPIRACA-AL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fau/Ufal, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em 16 / 06 / 2020

BANCA EXAMINADORA



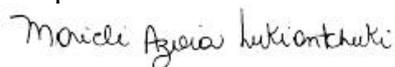
---

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Orientador)



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Juliana Oliveira Batista  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Coorientadora)



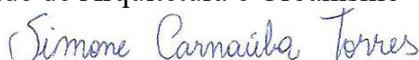
---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Marieli Azoia Lukiantchuki  
Universidade Estadual de Maringá – UEM



---

Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Simone Carnaúba Torres  
Universidade Federal de Alagoas – *Campus Arapiraca*

Aos meus pais, irmã e sobrinha.

## AGRADECIMENTOS

*“Você pode sonhar, criar, desenhar e construir o lugar mais maravilhoso do mundo. Mas é necessário ter pessoas para transformar seu sonho em realidade.”*

Walt Disney

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e pela oportunidade de conhecer e conviver com as diversas pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família: meus pais, Geovane e Iêda, minha irmã, Geovanessa, e minha sobrinha, Maria Ísis, por sempre abraçarem os meus sonhos, por serem minha fonte de força e amor e meus maiores exemplos.

Ao professor Ricardo Victor, pela oportunidade de lidar com pesquisa científica desde a graduação, pela orientação deste trabalho, ajuda no monitoramento climático da creche e direcionamento da pesquisa.

À professora Juliana Batista, coorientadora deste trabalho, por toda a ajuda na definição da metodologia, nos problemas com bolsa e, principalmente, por me nortear quando me sentia perdida.

À professora Simone Torres, pelas oportunidades durante o estágio docência e contribuições no desenvolvimento deste trabalho. Aos demais membros da banca, professores Leonardo Bittencourt e Marieli Azoia, pelas contribuições na qualificação.

À professora Gianna, primeira orientadora deste trabalho, pelas orientações iniciais e pela acolhida em Maceió.

À Luciane, pela disponibilidade e por sempre viabilizar as coisas da melhor maneira possível para os alunos do interior. À Mayna, pela ajuda com o objeto de estudo. Aos demais professores e técnicos do PPGAU/FAU/UFAL, pela grande carga de conhecimento que essa experiência proporciona a todos que passaram pelo programa.

Aos professores Simone Romão e Rafael Rust, do *Campus* Arapiraca, pela primeira leitura e correções do projeto de pesquisa, pelo incentivo no processo de seleção e pelas conversas encorajadoras, desde quando tudo isso era um sonho distante.

Às amigas de longa data Karine, Mari, Lima, que me recebeu em Maceió e Égila por estar sempre por perto e me lembrar que a vida vai além dos estudos e do trabalho. Às eternas Carolas Chai, Flávia, e, em especial, às mestras, Mônica e Dayany, pelas partilhas e por

trazerem leveza às nossas conversas, fazendo os apertados parecerem menores.

À turma do mestrado, pelas trocas de conhecimento, em especial: Luana, pela amizade que construímos e pela partilha das experiências acadêmicas e da vida; Lara, pelas trocas de materiais do Proinfância e pelas caronas; Jéssica, por sempre ser o ponto de equilíbrio do grupo e mostrar que tudo daria certo; e Wellington, pela ajuda com os equipamentos e partilhas de desesperos.

Ao psicólogo Lewilson Fernandes, sem o qual eu não saberia ter lidado com a ansiedade nos últimos meses, tampouco conseguido finalizar este trabalho.

Aos funcionários da Creche Professora Berenice Miranda Neto, em especial, à Audenora, Iracélia e William por terem me recebido e contribuído tanto para viabilizar o desenvolvimento deste trabalho.

À UFAL, que me acolhe há tanto tempo e tem contribuído tanto para a minha formação acadêmica e profissional.

À FAPEAL e à CAPES pelo auxílio financeiro para a realização da pesquisa.

E a todos os demais que contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concretizado.

*“Continue fazendo a sua parte para realizar os seus sonhos. Aprendi que nem todas as sementes plantadas vingam, mas quando germinam, quase todas dão flor. É sempre um misto de sorte, destino, solo fértil, água, sol e amor. Siga o seu plantio. A vida dirá a hora certa de colher.”*

Matheus Rocha

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Sistema do ensino público com duração de nove anos. ....	21
<b>Figura 2</b> – Fornecedores e tecnologia construtiva das MI empregadas, por Estado. ....	23
<b>Figura 3</b> – Delimitação do Semiárido em Alagoas. ....	24
<b>Figura 4</b> – Composição do (a) Sistema Construtivo da Edificação e (b) dos painéis <i>Wall System</i> . ....	34
<b>Figura 5</b> – Carta Bioclimática de Olgyay. ....	40
<b>Figura 6</b> – Carta Bioclimática adotada no Brasil. ....	41
<b>Figura 7</b> – Carta Bioclimática Original e suas Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo. ....	42
<b>Figura 8</b> – Carta Bioclimática Adaptada e suas Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo. ....	42
<b>Figura 9</b> – Trocas de calor através de superfícies: (a) transparentes; e (b) opacas. ....	45
<b>Figura 10</b> – Zoneamento bioclimático brasileiro. ....	52
<b>Figura 11</b> – Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA. ....	54
<b>Figura 12</b> – Níveis de aceitabilidade da temperatura operativa em ambientes naturalmente ventilados. ....	59
<b>Figura 13</b> – Mesorregiões de Alagoas: localização de Arapiraca. ....	62
<b>Figura 14</b> – Tipos climáticos de Alagoas. ....	62
<b>Figura 15</b> – Zoneamento bioclimático brasileiro com marcação dos Estados. ....	68
<b>Figura 16</b> – Carta Bioclimática de Arapiraca com dados do ano de 2010 (TRY). ....	69
<b>Figura 17</b> – Setorização e distribuição dos ambientes no projeto Tipo B. ....	72
<b>Figura 18</b> – Fachadas do projeto Tipo B. ....	73
<b>Figura 19</b> - Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto. ....	76
<b>Figura 20</b> – Implantação da edificação no terreno e sua situação no contexto do tecido urbano do bairro Planalto, de Arapiraca-AL. ....	77
<b>Figura 21</b> – Interface do <i>software Analysis SOL-AR</i> . ....	79
<b>Figura 22</b> – Zonas térmicas escolhidas para o monitoramento climático. ....	85
<b>Figura 23</b> – Zona térmica 1. ....	85
<b>Figura 24</b> – Zona térmica 2. ....	86
<b>Figura 25</b> – Zona térmica 3. ....	86
<b>Figura 26</b> – Zona térmica 4. ....	87
<b>Figura 27</b> – Equipamento utilizado nas medições internas, modelo HOBO UX100-003, da marca Onset. ....	88
<b>Figura 28</b> – Posicionamento dos <i>dataloggers</i> (a) no centro geométrico da sala, (b) a 0,60m me altura. ....	89
<b>Figura 29</b> – Equipamento utilizado nas medições externas, modelo HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset. ....	90
<b>Figura 30</b> – Escudo de Radiação Solar. ....	90
<b>Figura 31</b> – Posicionamento do HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset, utilizado nas medições externas. ....	91

<b>Figura 32</b> – Câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição. ....	91
<b>Figura 33</b> – Termômetro digital portátil infravermelho a laser modelo TI-550, marca Instrutherm, utilizado na medição. ....	92
<b>Figura 34</b> – Medidor ambiental, modelo 45170, da marca Extech, utilizado nas medições. ...	93
<b>Figura 35</b> – Anemômetro, modelo LCA 6000, da marca Davis. ....	94
<b>Figura 36</b> – Medidor de stress térmico (termômetro de globo) portátil digital, modelo WBGT-8778. ....	94
<b>Figura 37</b> – Interface da ferramenta Thermal Comfort Tool. ....	99
<b>Figura 38</b> – Síntese do método. ....	99
<b>Figura 39</b> – Localização da área destinada ao playground. ....	101
<b>Figura 40</b> – Atuação dos condicionantes climáticos na edificação. ....	102
<b>Figura 41</b> – Incidência da radiação solar nas salas (a) 1, (b) 2A, (c) 3A e (d) 4A através das janelas, no período quente e úmido. ....	103
<b>Figura 42</b> – Incidência da radiação solar nas salas através das janelas, no período quente e seco. ....	104
<b>Figura 43</b> – Desprendimento de Painéis <i>Wall System</i> , na face externa da envoltória das Salas: (a) 4A, no período quente e úmido, e (b) 2A, no período quente e seco. ....	105
<b>Figura 44</b> – Painéis <i>Wall System</i> da Sala 4A no período quente e seco, com destaque para o desprendimento de partes da camada externa de gesso acartonado. ....	105
<b>Figura 45</b> – Salas escolhidas com destaque para a localização das aberturas e orientações predominante e secundária dos ventos. ....	107
<b>Figura 46</b> – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 1. ....	108
<b>Figura 47</b> – Máscara de sombra da abertura da Sala 2A. ....	109
<b>Figura 48</b> – Máscara de sombra da abertura da Sala 2B. ....	109
<b>Figura 49</b> – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 3A. ....	110
<b>Figura 50</b> – Máscara de sombra da abertura da Sala 3B. ....	111
<b>Figura 51</b> – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 4A. ....	111
<b>Figura 52</b> – Máscara de sombra da abertura da Sala 4B. ....	112
<b>Figura 53</b> – Composição dos painéis <i>Wall System</i> das paredes. ....	114
<b>Figura 54</b> – Composição dos painéis <i>Wall System</i> dos forros. ....	115
<b>Figura 55</b> – Área externa da edificação com potencial para implantação de vegetação. ....	116
<b>Figura 56</b> – Abertura das salas menores com elementos que se movimentavam acima, enquanto abaixo, não havia registros de ventos. ....	146
<b>Figura 57</b> – Análises de proteções das aberturas da Zona 1. ....	171
<b>Figura 58</b> – Análises de proteções das aberturas da Zona 2. ....	173
<b>Figura 59</b> – Análises de proteções das aberturas da Zona 3. ....	174
<b>Figura 60</b> – Análises de proteções das aberturas da Zona 4. ....	176
<b>Figura 61</b> – Posicionamento dos HOBOS nas salas em planta baixa. ....	178
<b>Figura 62</b> – Esquema dos posicionamentos da câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição. ....	179

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Pessoas de 0 a 6 anos que frequentavam escolas de educação infantil (creche e/ou pré-escola), por ano, no Brasil.....	36
<b>Gráfico 2</b> – Taxa de escolarização, segundo os grupos de idade (%).....	37
<b>Gráfico 3</b> – Estudantes de creche e pré-escola matriculados na rede pública de ensino (%)..	37
<b>Gráfico 4</b> – Temperatura média mensal do ar de Arapiraca.....	64
<b>Gráfico 5</b> – Alcance de temperaturas mensais e anual de Arapiraca.....	64
<b>Gráfico 6</b> – Faixa de radiação solar mensal e anual de Arapiraca.....	65
<b>Gráfico 7</b> – Variação da amplitude térmica de Arapiraca.....	66
<b>Gráfico 8</b> – Umidade relativa média mensal do ar de Arapiraca.....	66
<b>Gráfico 9</b> – Precipitação média mensal de Arapiraca.....	67
<b>Gráfico 10</b> – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Arapiraca.....	67
<b>Gráfico 11</b> – Diagrama de regime de ventos horário em Arapiraca.....	68
<b>Gráfico 12</b> – Variação da temperatura e umidade relativa do ar no exterior da edificação durante o monitoramento no período quente e úmido (11 a 25 de agosto de 2019). .....	119
<b>Gráfico 13</b> – Variação da temperatura e umidade relativa do ar no exterior da edificação durante o monitoramento no período quente e seco (28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020). .....	120
<b>Gráfico 14</b> – Comportamento térmico médio horário das salas no período quente e úmido.	121
<b>Gráfico 15</b> – Comportamento térmico médio horário das salas no período quente e seco. ..	124
<b>Gráfico 16</b> – Variação da temperatura do ar interna das salas, durante o dia 19 de agosto, que apresentou a segunda maior temperatura do ar no intervalo de monitoramento do período quente e úmido. ....	127
<b>Gráfico 17</b> – Variação da temperatura do ar interna em todas as salas no dia 26/01/2020, que apresentou a maior temperatura do ar no intervalo de monitoramento do período quente e seco. ....	129
<b>Gráfico 18</b> – Umidades dos dias médios de dos dois períodos de monitoramento climático da edificação.....	131
<b>Gráfico 19</b> – Temperatura superficial da Sala 1 nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco. ....	139
<b>Gráfico 20</b> – Temperatura superficial da Sala 2A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	140
<b>Gráfico 21</b> – Temperatura superficial da Sala 2B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	141
<b>Gráfico 22</b> – Temperatura superficial da Sala 3A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	142
<b>Gráfico 23</b> – Temperatura superficial da Sala 3B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	143
<b>Gráfico 24</b> – Temperatura superficial da Sala 4A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	144

<b>Gráfico 25</b> – Temperatura superficial da Sala 4B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco.....	145
<b>Gráfico 26</b> – Zona de conforto para as imediações do objeto de estudo durante o período de monitoramento contínuo da temperatura do ar externa (de 28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020).....	149
<b>Gráfico 27</b> – Níveis de conforto com base nas temperaturas operativas internas ( $T_o$ ) das salas e limites de conforto (Loi e Lis) baseados na temperatura externa, pelo modelo adaptativo, no dia 21 de janeiro de 2020 entre as 08:00 e 18:00. ....	150
<b>Gráfico 28</b> – Variação da (a) temperatura e (b) umidade relativa do ar interna em todas as salas durante todo o monitoramento do período quente e úmido.....	184
<b>Gráfico 29</b> – Variação da (a) temperatura e (b) umidade relativa do ar interna em todas as salas durante todo o período de monitoramento.....	185

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Características dos diferentes tipos de projeto padrão fornecidos pelo FNDE. ....	33
<b>Quadro 2</b> – Requisitos e critérios das Metodologias Inovadoras. ....	38
<b>Quadro 3</b> – Grandezas e características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos. ....	45
<b>Quadro 4</b> – Embasamento teórico: Proinfância. ....	49
<b>Quadro 5</b> – Aberturas para ventilação para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. ....	53
<b>Quadro 6</b> – Sombreamento das aberturas para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. ....	53
<b>Quadro 7</b> – Tipos de vedações externas para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. ....	53
<b>Quadro 8</b> – Estratégias de condicionamento térmico passivo para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. ....	53
<b>Quadro 9</b> – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno. ....	56
<b>Quadro 10</b> – Transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas. ....	56
<b>Quadro 11</b> – Área mínima de ventilação em ambientes de permanência prolongada. ....	56
<b>Quadro 12</b> – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica. ....	57
<b>Quadro 13</b> – Resumo das características climáticas de Arapiraca-AL. ....	63
<b>Quadro 14</b> – Estratégias bioclimáticas indicadas para a Zona 8. ....	69
<b>Quadro 15</b> – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do Método de Mahoney Nebuloso para Arapiraca-AL. ....	70
<b>Quadro 16</b> – Centros de Educação Infantil do Proinfância construídos através das Metodologias Inovadoras, na cidade de Arapiraca-AL. ....	75
<b>Quadro 17</b> – Horários das atividades de funcionamento do CEI. ....	77
<b>Quadro 18</b> – Propriedades térmicas dos materiais das vedações verticais externas para a Zona Bioclimática 8. ....	80
<b>Quadro 19</b> – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (NBR 15575). ....	83
<b>Quadro 20</b> – Modelo de Ficha Bioclimática para análise do CEI. ....	84
<b>Quadro 21</b> – Ambientes monitorados, por zona. ....	85
<b>Quadro 22</b> – Especificações técnicas do equipamento utilizado nas medições internas, modelo HOBO UX100-003, da marca Onset. ....	88
<b>Quadro 23</b> – Especificações técnicas do equipamento utilizado nas medições externas, modelo HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset. ....	90
<b>Quadro 24</b> – Especificações técnicas da câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição. ....	92
<b>Quadro 25</b> – Especificações técnicas do termômetro digital portátil infravermelho a laser modelo TI-550, marca Instrutherm, utilizado na medição. ....	92
<b>Quadro 26</b> – Especificações técnicas do Medidor ambiental, modelo 45170, da marca Extech, utilizado nas medições. ....	93
<b>Quadro 27</b> – Especificações técnicas do anemômetro, modelo LCA 6000, da marca Davis. ....	94
<b>Quadro 28</b> – Especificações técnicas do medidor de stress térmico (termômetro de globo) portátil digital, modelo WBGT-8778. ....	95

<b>Quadro 29</b> – Tamanho das aberturas para ventilação. ....	106
<b>Quadro 30</b> – Propriedades térmicas das paredes e cobertura. ....	113
<b>Quadro 31</b> – Ficha Bioclimática da CEI. ....	117
<b>Quadro 32</b> – Cartas psicrométricas das salas analisadas com base nos dados de temperatura e umidade relativa do ar monitorados nos períodos quente e úmido (1 a 25 de agosto) e quente e seco (28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020). ....	131
<b>Quadro 33</b> – Síntese dos relatórios gerados pelo programa <i>AnalysisBIO</i> quanto ao conforto térmico nas salas analisadas (%). ....	133
<b>Quadro 34</b> – Correlações entre a área de parede exposta à radiação direta e a amplitude térmica das salas. ....	135
<b>Quadro 35</b> – Correlações entre volume e amplitude térmica das salas. ....	136
<b>Quadro 36</b> – Correlações entre área envidraçada e amplitude térmica das salas. ....	137
<b>Quadro 37</b> – Níveis de aceitabilidade de conforto térmico nas salas analisadas pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55, quanto à velocidade dos ventos. ....	147
<b>Quadro 38</b> – Janelas. ....	181
<b>Quadro 39</b> – Memória de cálculo das propriedades térmicas das paredes. ....	182
<b>Quadro 40</b> – Memória de cálculo das propriedades térmicas das coberturas. ....	183
<b>Quadro 41</b> – Síntese dos relatórios gerados pelo programa <i>AnalysisBIO</i> quanto ao conforto térmico e potencial de uso das estratégias bioclimáticas indicadas (%). ....	190
<b>Quadro 42</b> – Aceitabilidade da temperatura operativa na Sala 1 se submetida a variações de velocidade do vento diante das variáveis climáticas monitoradas no dia 21 de janeiro de 2020, do período quente e seco. ....	191
<b>Quadro 43</b> – Descrição dos elementos do Projeto Padrão Tipo B. ....	216
<b>Quadro 44</b> – Espessura, densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais que constituem as paredes do CEI. ....	217
<b>Quadro 45</b> – Espessura, densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais que constituem os forros do CEI. ....	217

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Tabela etária de distribuição dos alunos nos projetos do Programa Proinfância...	35
<b>Tabela 2</b> – Percentual de crianças de menos de 4 anos de idade que não eram matriculadas em creche ou escola, mas cujo responsável tinha interesse em matriculá-la, por Grandes Regiões, segundo a idade das crianças – 2015.....	36
<b>Tabela 3</b> – Taxa de escolarização das pessoas de 0 a 5 anos de idade, por grupos de idade, segundo as Grandes Regiões (%). .....	38
<b>Tabela 4</b> – Absortância ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) de algumas cores.....	47
<b>Tabela 5</b> – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Arapiraca-AL.....	70
<b>Tabela 6</b> – Descrição dos ambientes do Projeto Padrão Tipo B.....	73
<b>Tabela 7</b> - Aberturas para ventilação.....	78
<b>Tabela 8</b> – Coeficiente de correlação estatística.....	96
<b>Tabela 9</b> – Valores de A para a Equação (15).....	98
<b>Tabela 10</b> – Tamanho das janelas.....	107
<b>Tabela 11</b> – Dados médios das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo, no período quente e úmido. ....	123
<b>Tabela 12</b> – Dados médios das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo, no período quente e seco. ....	125
<b>Tabela 13</b> – Dados das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo no dia 19 de agosto de 2019, que apresentou a segunda maior temperatura do ar no monitoramento do período quente e úmido. ....	127
<b>Tabela 14</b> – Dados das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo no dia 26 de janeiro de 2020, que apresentou a maior temperatura no monitoramento do período quente e seco. ....	128
<b>Tabela 15</b> – Síntese de temperatura do ar e amplitude térmica entre os dias médios e extremos analisados para os dois períodos.....	129
<b>Tabela 16</b> – Variáveis influentes no desempenho térmico das salas analisadas e amplitude térmica das médias para o período quente e úmido.....	134
<b>Tabela 17</b> – Variação da amplitude térmica da temperatura do ar das salas monitoradas e do meio externo nos dias analisados.....	135
<b>Tabela 18</b> – Coeficientes de correlação entre as variáveis e a amplitude térmica nos dias analisados.....	137
<b>Tabela 19</b> – Registros de velocidade do vento, em m/s, no interior das salas nos períodos quente e úmido e quente e seco.....	146
<b>Tabela 20</b> – Resultado da aferição dos <i>dataloggers</i> internos no período quente e úmido. ...	177
<b>Tabela 21</b> – Resultado da aferição dos <i>dataloggers</i> internos no período quente e seco. ....	177
<b>Tabela 22</b> – Análise do comportamento diário das temperaturas do ar externas no período quente e úmido.....	186
<b>Tabela 23</b> – Análise do comportamento diário das temperaturas do ar externas no período quente e seco.....	187
<b>Tabela 24</b> – Dados horários médios do monitoramento do período quente e úmido. ....	188
<b>Tabela 25</b> – Dados horários médios do monitoramento do período quente e seco. ....	189

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-Ocupação
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
CEI	Centro de Educação Infantil
CAIC	Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GATU	Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo
MEC	Ministério da Educação
MI	Metodologias Inovadoras
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
NBR	Norma Brasileira
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAR	Plano de Ações Articuladas
PDE	Plano de Desenvolvimento da Educação
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
Proinfância	Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TRY	<i>Test Reference Year</i> (Ano Climático de Referência)
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
ZBB	Zoneamento Bioclimático Brasileiro

## RESUMO

No Brasil, a construção de escolas públicas tem se dado por meio de projetos padronizados, que aceleram o processo construtivo e suprem a demanda mais rapidamente, ao passo que impossibilitam a adaptação ao contexto local. Uma dessas adaptações é a do contexto climático, cuja inexistência compromete o processo de aprendizagem dos usuários. Para garantir o acesso de crianças a creches e escolas de educação infantil na rede pública e intensificar o volume de entrega dessas edificações, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância), pelo qual utilizou-se de novas tecnologias construtivas. No entanto, a extensão e a diversidade climática brasileiras impossibilitam que um único projeto atenda às necessidades de todos os locais. Neste sentido, este trabalho visa analisar o desempenho térmico de uma destas unidades, frente ao clima semiárido da cidade de Arapiraca-AL. Para isto, a pesquisa foi dividida em duas etapas: qualitativa e quantitativa. A primeira avalia se o objeto de estudo – Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto – atende aos requisitos estabelecidos pelas normas referentes à temática (NBR 15220 e NBR 15575), e a segunda, parte do monitoramento climático da edificação, com o levantamento de variáveis climáticas internas (temperatura e umidade relativa do ar, temperatura superficial, velocidade dos ventos e temperatura de globo) das salas de aula e externas (temperatura e umidade relativa do ar) nos períodos quente e úmido (abril a setembro) e quente e seco (outubro a março). Com a avaliação qualitativa, verificou-se que a edificação atende a parte dos requisitos das Normas – apesar de não serem indicadas para o tipo de edificação em questão, são as únicas, até o momento, que tratam do desempenho térmico –, e a setorização indicou que os ambientes estão bem orientados quanto à posição do sol e direcionamento dos ventos, porém, as aberturas são insuficientes para seu aproveitamento. Na avaliação quantitativa, observou-se que: nos dois períodos, as salas mostraram-se mais aquecidas que o exterior, o que mudou em dias que apresentaram condições extremas de temperatura e umidade relativa do ar, quando houve amortecimento térmico; o desempenho térmico das salas, foi diretamente influenciado pelas áreas envidraçadas das aberturas, mostrando forte correlação com o aquecimento diário em todos os períodos; no período quente e úmido, todas as salas mostraram-se termicamente confortáveis na maior parte do tempo de monitoramento, ocorrendo o inverso no período quente e seco, quando todas as salas apresentaram desconforto na maior parte do tempo; e a ventilação natural mostrou-se insuficiente para promover conforto nas salas das 10h às 16h. Assim, tornou-se evidente a necessidade de intervenções que favoreçam à diminuição das temperaturas internas dos ambientes, ao passo que se constatou potencial para uso de estratégias bioclimáticas que podem ser adequadas à edificação.

**Palavras-chave:** Arquitetura escolar. Conforto térmico. Projeto padrão. Proinfância.

## ABSTRACT

The construction of Brazilian public schools has been carried out by patterned projects, which speed up the construction process and supply demand more quickly, but make adaptation to the local context impossible. One of these adaptations is that of the climatic context, the lack of which compromises the students' learning process. To guarantee children's access to daycare centers and early childhood education schools in the public network and to increase the volume of delivery of these buildings, the Federal Government created the National Program for the Restructuring and Acquisition of Equipment for the Public-School Network for Early Childhood Education (Proinfância), using new construction technologies. However, the extent and diversity of climate in Brazil makes it impossible for only one project to meet the needs of all locations. So, this work aims to analyze the thermal performance from one of these units, located in the semi-arid climate from the Arapiraca-AL city. For this, the research was divided into two stages: qualitative and quantitative. The first evaluate whether the object of study - Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto – answer the requirements established by the norms referring to the theme (NBR 15220 and NBR 15575), and the second, makes the climatic monitoring of the building, with the survey of internal climatic variables (temperature and relative humidity of the air, surface temperature, wind speed and globe temperature) of the classrooms and external (temperature and relative humidity of the air) in the hot and humid periods (April to September) and hot and dry (October to March). In the qualitative evaluation, it was found that the building answers part of the requirements of the Standards – although they are not indicated for the type of building studied, they are the only ones, so far, that deal with thermal performance – and the sectorizing indicated that the rooms are well oriented as to the solar position and wind direction, however, the openings are insufficient for their use. In the quantitative evaluation, it was observed that: in both periods, the rooms were warmer than the outside, and changed on days with extreme conditions of temperature and relative humidity, which had thermal damping; the thermal performance of the rooms was directly influenced by the glazed areas from windows, showing a strong correlation with daily heating in all periods; in the hot and humid period, all rooms were thermally comfortable for most of the monitoring time, which was inverted to the hot and dry period, when all rooms were uncomfortable most of the time; and natural ventilation proved to be insufficient to promote comfort in the rooms from 10 a.m. to 4 p.m.. Thus, it became evident the need for interventions that favor the reduction of the temperatures from the rooms, and there was a potential to use bioclimatic strategies that may be appropriate for the building.

**Keywords:** Scholar architecture. Thermal comfort. Pattern projects. Proinfância.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	19
1.1. Problemática .....	22
1.2. Objetivos.....	25
1.2.1. Objetivo Geral.....	25
1.2.2. Objetivos Específicos.....	25
1.3. Estrutura do trabalho .....	25
2. ASPECTOS INFLUENCIADORES DA QUALIDADE TÉRMICA DO AMBIENTE DE ENSINO.....	28
2.1. Arquitetura escolar e Padronização de projetos .....	28
2.1.1. Contextualização dos projetos padrão no Brasil.....	30
2.1.2. O Programa Proinfância e os Centros de Educação Infantil no Brasil .....	35
2.2. Arquitetura bioclimática e Desempenho térmico de edificações .....	39
2.2.1. Calorimetria e influência dos materiais construtivos no desempenho térmico de edificações .....	44
2.2.2. Conforto e desempenho térmico de ambientes escolares .....	47
2.3. Normativas.....	51
2.3.1. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações .....	51
2.3.2. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho.....	55
2.3.3. ASHRAE Standard 55 .....	57
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
3.1. Caracterização Climática de Arapiraca .....	61
3.1.1. Estratégias bioclimáticas indicadas.....	69
3.2. Caracterização do objeto de estudo .....	71
3.2.1. Descrição do Projeto Tipo B.....	72
3.2.2. Escolha do objeto de estudo.....	74
3.2.3. Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto .....	76
3.3. Avaliação qualitativa do desempenho térmico do objeto de estudo .....	78
3.3.1. Diagnóstico do tamanho das aberturas para ventilação .....	78
3.3.2. Estudo das proteções das aberturas.....	79
3.3.3. Análise das vedações externas (paredes e coberturas).....	80
3.3.4. Estudo das estratégias de condicionamento térmico passivo.....	83
3.3.5. Ficha Bioclimática do CEI.....	83

3.4.	Avaliação quantitativa do desempenho térmico do objeto de estudo.....	84
3.4.1.	Recorte do objeto de estudo.....	84
3.4.2.	Monitoramento climático da edificação.....	87
3.4.2.1.	Tratamento dos dados.....	95
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	101
4.1.	Análise projetual.....	101
4.2.	Análise qualitativa do desempenho térmico do objeto de estudo.....	105
4.2.1.	Diagnóstico do tamanho das aberturas para ventilação .....	106
4.2.2.	Estudo de insolação das aberturas.....	107
4.2.3.	Análise das vedações externas (paredes e coberturas).....	113
4.2.4.	Estudo das estratégias de condicionamento térmico passivo.....	115
4.2.5.	Ficha Bioclimática do CEI.....	117
4.3.	Análise quantitativa do desempenho térmico do objeto de estudo.....	118
4.3.1.	Panorama geral do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar nos períodos de monitoramento .....	119
4.3.2.	Análise do desempenho térmico das salas de aula quanto às condições de temperatura do ar .....	121
4.3.2.1.	Análise exploratória .....	121
4.3.2.2.	Análise estatística.....	134
4.3.3.	Temperatura superficial das vedações verticais.....	138
4.3.4.	Ventilação .....	145
4.3.5.	Avaliação dos limites de conforto pelo modelo adaptativo .....	148
4.4.	Síntese dos Resultados.....	151
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	154
5.1.	Limitações do trabalho .....	155
5.2.	Indicações para trabalhos futuros .....	156
6.	REFERÊNCIAS .....	158
7.	APÊNDICES .....	171
8.	ANEXOS.....	216

## INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

Em arquitetura, a sensação de conforto proporcionada aos usuários de um edifício é um fator fundamental a ser considerado no processo de planejamento e projeto de edificações. Esta é uma premissa para qualquer tipologia projetual.

As tipologias de projeto arquitetônico são definidas de acordo com o programa de necessidades que deve contemplar. No que diz respeito à arquitetura escolar, este programa deve considerar os ambientes com dimensões e quantidade suficientes para as conveniências do espaço de ensino, o que ressalta a importância de o edifício proporcionar condições adequadas para a realização das atividades de seus usuários (KOWALTOWSKI *et al.*, 2011). Diversas são as maneiras possíveis para que se possa promover este conforto, que variam de acordo com seus tipos – térmico, acústico, luminoso, visual, entre outros. Para a obtenção do conforto térmico, cabe ao projetista analisar as condições climáticas do local onde será inserido o edifício, de modo a utilizar estratégias bioclimáticas adequadas ao aproveitamento destes condicionantes para proporcionar o melhor desempenho possível para a edificação.

No intuito de sintetizar este conceito, a Arquitetura Bioclimática como o ponto de partida para projetos arquitetônicos no intuito de viabilizar um clima equilibrado no entorno da edificação (OLGYAY, 1998).

De acordo com Labaki e Bueno-Bartholomei (2001), garantir o conforto térmico de um ambiente é fundamental para a sensação de bem-estar e o bom desenvolvimento das atividades dos usuários, uma vez que temperaturas extremas, ventilação inadequada, umidade excessiva, entre outros fatores, podem ser bastante prejudiciais e provocar danos físicos e psicológicos, como sonolência, sudorese, apatia e desinteresse pelo trabalho. Situações de desconforto que são imensamente desfavoráveis ao ambiente escolar.

Deste modo, os estudos de conforto em ambientes escolares têm sido o cerne de muitas pesquisas no Brasil e no mundo, com abordagens relativas às condições térmicas internas às salas de aula e ao desempenho energético dessas edificações (CHAVES, 2016).

Segundo Kowaltowski (2011), o espaço físico escolar é concebido através da elaboração do projeto de arquitetura, que deve abranger o programa de necessidades e as carências do edifício escolar e as necessidades de ocupação de cada comunidade. Para a definição de projetos de instituições como escolas, hospitais e creches, quando públicos de interesse social, é comum a prática de padronização projetual, com programas de necessidades padronizados, cujo partido

arquitetônico visa atender aos seguintes parâmetros: funcionalidade, racionalidade construtiva e objetivos econômicos (KOWALTOWSKI, 2011).

Nas últimas décadas, por diversos motivos, tem-se adotado a prática de padronização projetual de obras públicas no Brasil. Esta padronização torna-se possível pela economia da produção em massa, a redução dos custos de projeto e do tempo de elaboração, bem como o alcance de qualidades superiores em projeto e obra, se comparadas a obras não padronizadas, por especializar a mão de obra por meio da repetição das construções, o que resulta em menos falhas na execução. Um outro fator a ser considerado é a possibilidade de uso de módulos pré-fabricados que viabilizam um rápido processo de montagem (KOWALTOWSKI 2011).

Em contrapartida, trabalhar a padronização projetual adequando o edifício ao clima local torna-se um desafio em meio a diversidade climática brasileira, uma vez que o país conta com diretrizes projetuais que divergem entre suas diferentes regiões. O projeto de arquitetura escolar, em especial, deve contemplar estratégias bioclimáticas eficientes visto que uma edificação inadequada às condições climáticas locais pode comprometer o processo de aprendizagem e desempenho de seus usuários.

Goulart (2014) estabelece que o conforto térmico em edificações pode ser obtido de maneira simples com a utilização de estratégias passivas, aquelas que proporcionam conforto a seus usuários sem a necessidade do uso de energia elétrica e colabora, ainda, para maior eficiência energética no edifício. Um exemplo de união desta necessidade à rapidez e baixo custo demandados para os projetos de espaços públicos são as obras do arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, renomado pelo cuidado em garantir conforto ambiental aos usuários de suas obras. Estas dispõem de diversos dispositivos para promover conforto em edifícios padronizados, como é o caso dos Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente, os CAIC's.

No Brasil, a função e o nível do espaço de ensino são definidos de acordo com o público ao qual é voltado: educação infantil, ensino fundamental e ensino médio, que variam de acordo com a faixa etária dos usuários, como mostra a Figura 1. Para cada fase, existe uma estrutura escolar básica que varia conforme as exigências físicas dos usuários e do projeto pedagógico de ensino.

**Figura 1** – Sistema do ensino público com duração de nove anos.

Idade do aluno	Pré-escola	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	6º ano	7º ano	8º ano	9º ano	1ª série	2ª série	3ª série
	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	9 anos	10 anos	11 anos	12 anos	13 anos	14 anos	15 anos	16 anos	17 anos
	Educação Infantil	Ensino fundamental Nível I					Ensino fundamental Nível II				Ensino médio		

Fonte: Kowaltowski, 2011, adaptada por Nunes, 2017.

A educação infantil demanda atenção especial por tratar de crianças ainda em desenvolvimento, assim, conta com maior enfoque nas atividades de recreação. A exemplo do tipo de atividade que pode ser desempenhada nessa fase, tem-se a Pedagogia Waldorf, que aborda a formação da personalidade humana envolvendo atividades diversificadas, como teatro, música, pintura, artes, horticultura, jardinagem, técnicas agrícolas e culinária, integradas à formação curricular. Segundo Alvares (2010), de acordo com esta pedagogia, o jovem tem sua personalidade totalmente formada aos 21 anos, desenvolvendo-a conforme seus períodos de vida, divididos em intervalos de 7 anos.

Neste sentido, a educação infantil está inserida no primeiro intervalo, onde a criança possui entre 0 e 7 anos e sua aprendizagem se dá pela imitação, fazendo com que o professor se utilize disto para tornar-se exemplo para o aluno. Nesta fase, devem ser realizadas atividades lúdicas e com uso de materiais naturais, para que a criança desenvolva não só o lado intelectual, mas também o emocional, o psicológico, o intuitivo e as experiências concretas (NUNES, 2017).

Além disso, são necessários cuidado e atenção especial para os bebês, pois

As crianças de 0 meses a 1 ano, com seus ritmos próprios, necessitam de espaços para engatinhar, rolar, ensaiar os primeiros passos, explorar materiais diversos, observar, brincar, tocar o outro, alimentar-se, tomar banho, repousar, dormir, satisfazendo, assim, suas necessidades essenciais. Recomenda-se que o espaço a elas destinado esteja situado em local silencioso, preservado das áreas de grande movimentação e proporcione conforto térmico e acústico e segurança (FNDE, 2009, p. 8).

A padronização projetual para edificações escolares, no Brasil, está inserida no contexto em que o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), órgão responsável pela execução das políticas públicas educacionais, que busca agilizar estes processos por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Para garantir o acesso de crianças a creches e escolas de educação infantil, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância – que oferece auxílio aos municípios e Distrito Federal para construção de creches e pré-escolas e aquisição de equipamentos e mobiliários para as mesmas, que podem ser construídas por meio

de projetos padronizados ou projetos próprios.

Quanto aos projetos fornecidos pelo Proinfância, são nomeados de acordo com a tipologia, que varia de acordo com a área e a capacidade de alunos atendidos:

Para construção de escolas de educação infantil poderão ser adotados projetos-padrão, nomeados Tipo B, Tipo C, Tipo 1 e Tipo 2, fornecidos pelo FNDE (BRASIL, 2019).

Quanto aos projetos próprios,

Os municípios que compõem o Grupo 1 do PAC podem apresentar projetos próprios de escolas de educação infantil, elaborados pelos proponentes, nomeados “Tipo A”, cujos parâmetros técnico-construtivos devem seguir orientações e são avaliados pelo FNDE (BRASIL, 2019).

Tendo em vista o crescimento de adesões do Governo Federal Brasileiro ao uso de projetos padrão para a construção de edifícios educacionais públicos, este trabalho discute questões de adequação da padronização projetual com o uso de módulos pré-fabricados, por meio de um objeto de estudo inserido no contexto do clima semiárido – um Centro de Educação Infantil público do Programa Proinfância, localizado no município de Arapiraca-AL –, onde o clima se caracteriza por duas estações definidas: quente e úmida e quente e seca.

### 1.1. PROBLEMÁTICA

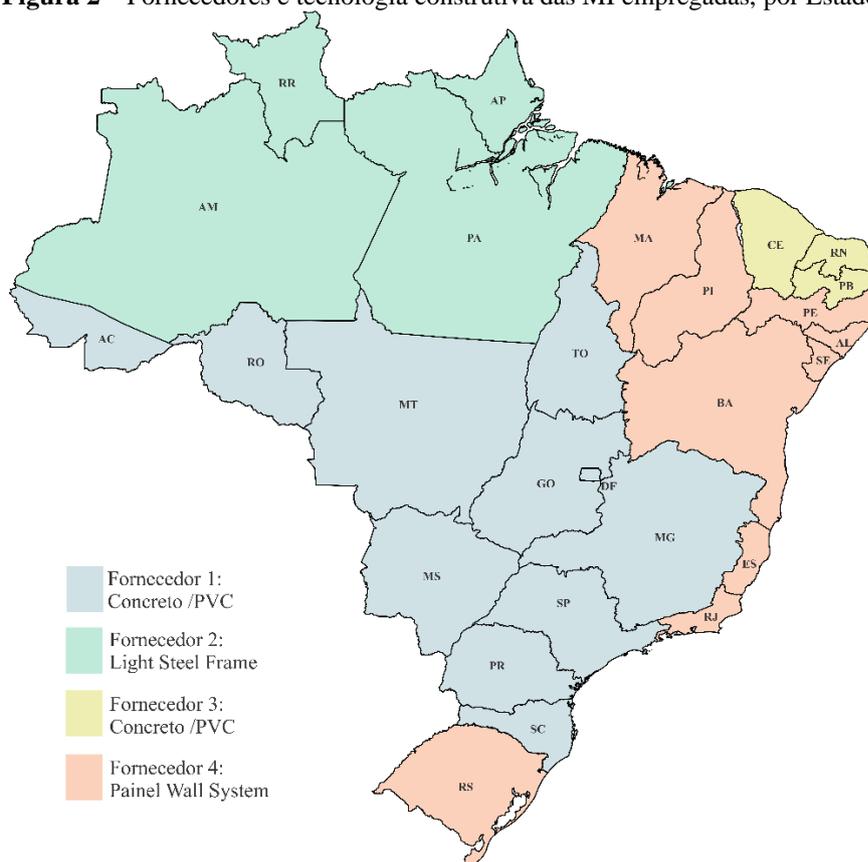
Com o intuito de intensificar o volume de entregas de edificações do Proinfância, o FNDE apostou na alteração da tecnologia construtiva destas, por meio do Programa Metodologias Inovadoras (MI), que faz uso de metodologias construtivas compostas por novos produtos e sistemas construtivos (BRASIL, 2019).

São três os tipos de Metodologias Inovadoras disponibilizadas pelo Proinfância: Tecnologia Painel *Wall System*; Tecnologia Concreto/PVC – Global Housing System; e Tecnologia Light Steel Frame (LSF) (BRASIL, 2013).

De acordo com Brasil (2013), a tecnologia utilizada em cada localidade foi definida pelo FNDE, que estabeleceu grupos para atendimento aos municípios e Distrito Federal, mediante registro de preços. Ou seja, a tecnologia a ser utilizada foi estabelecida de acordo com o orçamento do município e não pelas necessidades climáticas e/ou do programa de necessidades, entre outros.

Os fornecedores vencedores e respectivas tecnologias são listadas na Figura 2.

**Figura 2** – Fornecedores e tecnologia construtiva das MI empregadas, por Estado.



Fonte: Adaptado de BRASIL, 2013.

Diante da vasta extensão territorial brasileira – com grandes áreas banhadas pelo Oceano, áreas de intensa cobertura vegetal, outras extremamente secas, entre outras – o país conta com uma variação climática diversificada. Segundo a Norma de Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, o Brasil está dividido em 8 zonas bioclimáticas para as quais são definidas diretrizes projetuais (ABNT, 2005).

É importante ressaltar a relevância da NBR 15 220:2005, uma vez que foi um estudo de abrangência nacional que caracterizou o clima brasileiro com a quantidade de dados disponíveis naquele momento, o que hoje é insuficiente, em meio ao avanço dos estudos de bioclimatologia realizados no país, através dos quais pôde-se perceber algumas imprecisões contidas na classificação e servir de suporte para o atual processo de revisão da Norma.

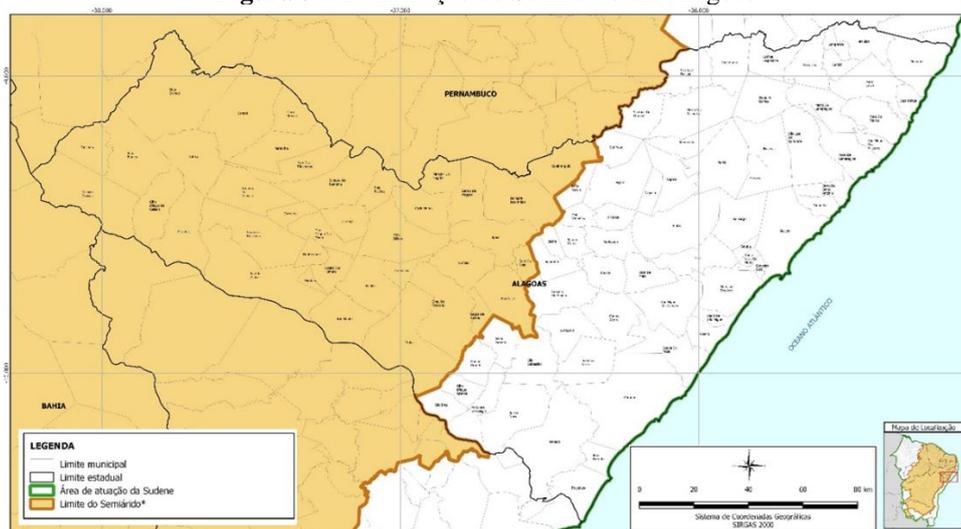
Neste trabalho será avaliado o desempenho térmico de uma edificação das Metodologias Inovadoras no município de Arapiraca, no Estado de Alagoas – cuja tecnologia empregada é a de Painéis *Wall System*<sup>1</sup> – com enfoque na análise dos padrões e requisitos de conforto térmico

<sup>1</sup> Painéis do tipo sanduíche compostos por uma placa de EPS revestida por duas placas de poliéster reforçada com fibra de vidro, seguida de duas placas gesso acartonado.

estabelecidos para a região.

Arapiraca está localizada na mesorregião Agreste de Alagoas, com clima semiárido (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2018), como pode ser visualizado na Figura 3, contando com duas estações durante o ano: quente e seca e quente e úmida, definidas através de pesquisas acerca do semiárido alagoano com enfoque em Arapiraca, uma vez que “é necessário (...) fazer uma análise bioclimática a partir de dados climáticos disponíveis, para o entendimento das especificidades de um clima local” (TORRES, 2017, p. 77-78)

**Figura 3** – Delimitação do Semiárido em Alagoas.



Fonte: SUDENE, 2017<sup>2</sup>.

Neste sentido, faz-se necessário o conhecimento do clima local para a aplicação de estratégias bioclimáticas adequadas ao clima e às necessidades arquitetônicas do programa, neste caso, de arquitetura escolar, de modo que possa oferecer conforto aos usuários da edificação.

Na maioria das instituições de ensino, as crianças permanecem muito tempo sentadas em carteiras. Esta condição por si só já causa desconforto, tanto pela imobilidade quanto pela inadequação dos projetos de mobiliário. Se a esta condição forem somados calor ou o frio excessivos decorrente do uso de materiais inadequados e configurações físicas incorretas, cria-se uma situação desfavorável ao aprendizado, que poderá inclusive induzir a uma aversão ao estudo. (LIMA, 1989 *apud* BARROS, 2002)

Deste modo, a padronização projetual deve ser analisada de forma cuidadosa, uma vez que trazem contribuições para o contexto das deficiências das obras públicas. Porém, diante da diversidade climática brasileira, não considerar o clima local e utilizar estratégias não compatíveis com a realidade climática em projetos de ambientes de ensino gera

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiárido/arquivos/alagoas-delimitacaosemiarido-dezembro2017.jpeg>.

comprometimento no processo de aprendizagem.

## 1.2. OBJETIVOS

Este trabalho consiste na análise de um projeto padrão de edificação escolar do Proinfância, que pôde ser cumprido por meio dos objetivos listados a seguir.

### 1.2.1. Objetivo Geral

Analisar o desempenho térmico em salas de projeto padrão de creche do Programa Metodologias Inovadoras, frente ao clima semiárido, a partir do estudo de uma unidade situada na cidade de Arapiraca-AL.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Discutir a adequação dos projetos padrão do Proinfância ao contexto climático local e a implantação dos modelos de Metodologias Inovadoras na cidade de Arapiraca;
- Compreender as estratégias bioclimáticas adequadas ao desempenho térmico satisfatório em edificações inseridas no contexto climático do semiárido alagoano;
- Analisar a adequabilidade do uso da tecnologia *Wall System* para o contexto climático do semiárido;
- Avaliar o percentual de horas de conforto nos períodos quente e úmido (inverno) e quente e seco (verão) em uma creche padrão Tipo B do programa Proinfância na cidade de Arapiraca.

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro introduz os principais temas aqui abordados, expondo os prejuízos de um edifício inadequado às condições climáticas locais, com enfoque no comprometimento do processo de aprendizagem em uma edificação escolar. Também são apresentados os objetivos do trabalho e a justificativa de sua relevância. O segundo, discute um referencial teórico com o intuito de embasar o entendimento das abordagens dos capítulos seguintes, tratando da arquitetura escolar e da padronização de seus projetos no contexto brasileiro no âmbito da arquitetura bioclimática e suas normatizações para a obtenção de desempenhos térmicos favoráveis.

O terceiro capítulo detalha os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa, desde a caracterização do objeto de estudo até os processos de coleta e tratamento dos dados

utilizados nas análises qualitativa e quantitativa. O quarto capítulo apresenta as análises dos resultados obtidos. No quinto, são expostas as considerações finais do que foi obtido com o trabalho, bem como suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## REFERENCIAL TEÓRICO

## 2. ASPECTOS INFLUENCIADORES DA QUALIDADE TÉRMICA DO AMBIENTE DE ENSINO

O ambiente escolar é, depois dos ambientes residenciais, o primeiro espaço que oferece à criança contato com experiências coletivas, o que o faz assumir um papel importante no desenvolvimento da socialização destes usuários. As vivências espaciais influenciam no desenvolvimento intelectual da criança por meio da vivência de deslocamentos que definem limites e territórios (AZEVEDO, 2002).

Neste capítulo serão abordados os temas relevantes para a obtenção de ambientes de ensino de qualidade, iniciando pela abordagem de aspectos fundamentais da arquitetura escolar e seu processo de projeto, bem como as vantagens e o impacto causado pela padronização dessa tipologia projetual nos edifícios brasileiros, com enfoque no desempenho térmico destas edificações.

### 2.1. ARQUITETURA ESCOLAR E PADRONIZAÇÃO DE PROJETOS

No que se refere ao desenvolvimento de um país, “a educação de uma sociedade impacta na prosperidade econômica, ao qualificar trabalhadores, engajar as pessoas em sua cidadania, que assim valorizem sua cultura e que têm suas potencialidades desenvolvidas integralmente” (SOUZA, 2018, p 15). Para garantir um ensino de qualidade é necessário, entre outros fatores, que o ambiente escolar possua uma infraestrutura que contemple as necessidades da pedagogia aplicada, as dos usuários e da comunidade local.

Neste sentido, Kowaltowski (2011) certifica que o processo de composição de um ambiente escolar deve considerar as condições econômicas, sociais e culturais dos usuários e do local onde será implantado, de modo que os espaços físicos proporcionem adequação às atividades educacionais propostas pela instituição.

A instituição de ensino faz parte da vida dos indivíduos durante grande parte de sua vida e está ligada não somente ao seu desenvolvimento intelectual, mas também pessoal e social, o que justifica a importância de compreender a influência da arquitetura escolar na realização de atividades e desempenho da instituição (SOUZA, 2018).

No intuito de atender a esta conveniência, Deliberador (2010) adverte acerca da necessidade de uma atuação multidisciplinar nas instituições de ensino, que compreenda, de forma geral, a melhoria da qualidade de ensino, mesmo que em médio prazo, pois, as propostas de atuação qualificadas desta maneira são poucas e, menos ainda, as que observam a

necessidade da participação do profissional de arquitetura nesse processo.

Com os índices insatisfatórios de desempenho dos alunos, as discussões acerca do ensino público brasileiro têm aumentado (KOWALTOWSKI, 2011. p. 273) e o progresso dos estudos tem demonstrado direta relação entre a qualidade do espaço físico e o desempenho acadêmico dos usuários.

Deliberador (2016) afirma que para recompor este quadro, o processo de projeto de escolas deve incluir o grupo que denomina “agentes responsáveis por um novo empreendimento escolar”, composto por alunos, pais, professores, funcionários, arquitetos, construtores, pedagogos, consultores das diversas áreas, bem como os membros da comunidade. Entretanto, com o intuito de minimizar as limitações de infraestruturas educacionais no Brasil, o poder público tem investido na padronização deste tipo de edificação e optado pela distribuição de um mesmo projeto para cada tipo de eixo e necessidade em todo o país.

Coelho e Pinho (2019) afirmam que o cenário de atraso no qual o Brasil se encontra, pode ser justificado pelos baixos índices na educação, acrescido pela realidade projetual de edificações escolares engessada em modelos genéricos, que não consideram as diferenças entre as regiões, padrões de vida, culturas e ritmos dos indivíduos. Quanto a isto, tem-se que:

Atualmente, nos processos brasileiros, sabe-se que, na maioria dos casos, o programa é rígido e fixo, geralmente elaborado pela Secretaria de Educação do Estado ou Município, não abrangendo discussões sobre parâmetros de projeto considerados essenciais à arquitetura escolar de qualidade. Isso pode ser explicado pela escassez de recursos destinados aos ambientes físicos. A edificação tem lugar secundário na definição das políticas educacionais, resultando em que mínimos recursos são aplicados nas configurações e detalhamentos mais adequados às suas reais necessidades. Além disso, ainda existe certa resistência a pensar os projetos com maior abertura, inclusive com relação à possibilidade de personalização da escola. O sentido “democrático” de oferecer sempre o mesmo programa para todas as escolas implantadas e assim, supostamente, universalizar oportunidades, acaba empobrecendo os resultados finais, sem a devida apropriação pelas comunidades envolvidas. (DELIBERADOR, 2016, p. 30-31)

Contudo, o projeto arquitetônico padrão, na história do ambiente escolar, surgiu para otimizar as necessidades locais de construção de escolas públicas, e o conceito da sua implantação política era a racionalização construtiva. Assim, incorpora o conceito da repetição de um modelo otimizado e a racionalização dos recursos para a sua viabilização (BARROS, 2002). Spagnuolo (2019) afirma que apesar das desvantagens, a padronização pode ser relacionada à normatização presente nos Códigos de Obras e proporcionar segurança, higiene e conforto às edificações.

É importante, ainda, ressaltar que apesar da possibilidade de dispor de uma série de

vantagens, como a racionalização de custos, agilidade construtiva e melhoria contínua dos projetos, a padronização pode afetar a qualidade da edificação, caso as características climáticas da localidade não sejam consideradas (SPAGNUOLO, 2019).

### **2.1.1. Contextualização dos projetos padrão no Brasil**

Com o objetivo principal de prestar assistência financeira ao Distrito Federal e aos municípios para garantir o acesso de crianças à creches e escolas de educação infantil da rede pública, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância) no quadro das políticas públicas brasileiras de educação, executado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (BRASIL, 2013).

Para intensificar o volume de entregas de edificações do Proinfância, o FNDE utilizou-se de novas tecnologias construtivas para estas edificações por meio do que denominou Metodologias Inovadoras (MI).

Para tratar da questão de inovação no campo das políticas públicas, Martins, Vaz e Caldas (2010) explanam que as experiências de políticas públicas locais inovadoras, que prosperaram a partir dos anos 1980, passaram a integrar uma coleção a ser combinada e replicada por gestores públicos municipais, multiplicando-se intensamente. Neste sentido, pode-se perceber que a inovação dos projetos padronizados pelo FNDE passou a ser parte de um repertório e a ser replicado pelos gestores brasileiros, com a expectativa de que fossem sanados os déficits.

Diante da demanda de instituições de educação infantil, o MEC, junto ao FNDE, desenvolveu projetos para serem implantados em todo o país, o que pode ser entendido como uma reação do Estado para superar essa deficiência, já que, para ser desenvolvido, um projeto precisa considerar questões como o local onde será implantado, o público que será contemplado e as suas necessidades, entre outras.

Deste modo, diante da possibilidade da espera de um tempo ainda maior que demandaria o processo de projeto para cada lugar específico, o Estado se apoia em projetos padrão para serem executados em todo o país, que não consideram os problemas locais, mas diminuem o déficit existente de modo menos lento, evitando o prolongamento provocado pelas etapas do processo de projeto.

No âmbito da educação pública brasileira, aqui serão tratados os edifícios, mais precisamente, aqueles construídos por meio da padronização projetual, que utilizam uma tecnologia construtiva diferente da empregada nas construções convencionais da região. Dentre os diversos quesitos que envolvem a problemática da padronização projetual, terá enfoque a implantação deste modelo em cidade de clima semiárido e sua implicação no conforto térmico dos usuários.

### **Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE**

Segundo informações de Brasil (2019), o FNDE é uma autarquia federal responsável pela execução de políticas educacionais do Ministério da Educação (MEC).

O FNDE firmou parceria com os 26 estados, os 5.565 municípios e o Distrito Federal para atingir melhoria e garantir uma educação de qualidade a todos, em especial a educação básica da rede pública. Neste contexto, os repasses de verba são divididos em constitucionais, automáticos e voluntários (convênios).

Os diversos projetos e programas em execução – Alimentação Escolar, Livro Didático, Dinheiro Direto na Escola, Biblioteca da Escola, Transporte do Escolar, Caminho da Escola, Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – além de inovar o modelo de compras governamentais, fazem do FNDE uma instituição de referência na Educação Brasileira.

### **Programa de Aceleração do Crescimento – PAC**

De acordo com Brasil (2019), o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi criado em 2007, promovendo a retomada do planejamento e execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país, contribuindo para o seu desenvolvimento acelerado e sustentável.

O PAC foi pensado como um plano estratégico de resgate do planejamento e de retomada dos investimentos em setores estruturantes do país e contribuiu de maneira definitiva para o aumento da oferta de empregos e na geração de renda, elevando o investimento público e privado para obras fundamentais.

Durante a crise financeira mundial entre 2008 e 2009, Brasil (2019), reconhece que o PAC teve importância fundamental para o país, garantindo emprego e renda aos brasileiros, e a continuidade do consumo de bens e serviços, mantendo a economia ativa e aliviando os efeitos da crise sobre as empresas nacionais.

Em 2011, o PAC entrou na sua segunda fase, mantendo o pensamento estratégico, aperfeiçoados pelos anos de experiência da fase anterior, porém, com mais recursos e mais parcerias com estados e municípios, para a execução de obras estruturantes para melhorar a qualidade de vida nas cidades brasileiras (BRASIL, 2019).

### **O Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância**

O Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância) é uma das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) do Ministério da Educação (MEC), que visa garantir o acesso de crianças a creches e escolas, bem como a melhoria da infraestrutura física da rede de Educação Infantil (BRASIL, 2019).

O programa funciona sobre dois eixos principais, necessários para a melhoria da qualidade da educação:

1. Construção de creches e pré-escolas: se dá por meio de assistência técnica e financeira do FNDE, com projetos padronizados fornecidos pelo FNDE ou projetos próprios elaborados pelos proponentes;
2. Aquisição de mobiliário e equipamentos adequados ao funcionamento da rede física escolar da educação infantil: mesas, cadeiras, berços, geladeiras, fogões e bebedouros.

O programa é destinado aos municípios e ao Distrito Federal, e os municípios interessados em ser atendidos devem elaborar o Plano de Ações Articuladas (PAR) a partir do diagnóstico da sua situação educacional, e atender às demais exigências do Programa, de acordo com o déficit comprovado de atendimento na educação infantil (BRASIL, 2019).

Para construção de escolas de educação infantil, foram desenvolvidos 4 tipos de projetos-padrão, denominados como: Tipo B, Tipo C, Tipo 1 e Tipo 2, todos fornecidos pelo FNDE, que predefine os parâmetros técnicos para a implantação em terrenos, como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1** – Características dos diferentes tipos de projeto padrão fornecidos pelo FNDE.

<b>Projeto Tipo 1</b>		
		
<b>Capacidade</b> 376 alunos	<b>Área</b> 1317,99 m <sup>2</sup>	<b>Terreno</b> 40 x 60 m
<b>Projeto Tipo 2</b>		
		
<b>Capacidade</b> 188 alunos	<b>Área</b> 775,85m <sup>2</sup>	<b>Terreno</b> 45 x 35 m
<b>Projeto Tipo B</b>		
		
<b>Capacidade</b> 224 alunos	<b>Área</b> 991,05 m <sup>2</sup>	<b>Terreno</b> 40 x 70 m
<b>Projeto Tipo C</b>		
		
<b>Capacidade</b> 120 alunos	<b>Área</b> 668,30 m <sup>2</sup>	<b>Terreno</b> 35 x 45 m

Fonte: FNDE<sup>3</sup>.

Este trabalho se deterá ao tipo B, que é seu objeto de estudo, cujas condições mínimas para a construção são:

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetos-arquiteticos-para-construcao>. Acesso em: 06 nov. 2019.

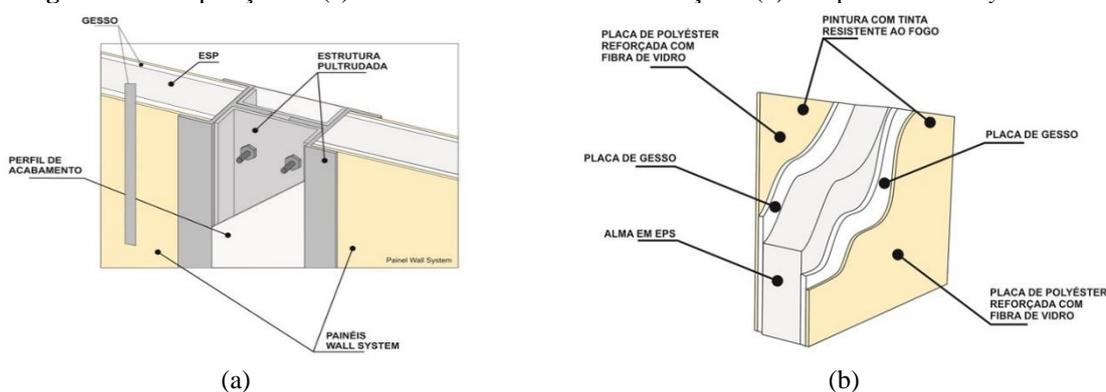
- Demanda mínima conforme o projeto escolhido, com base em dados do Censo Escolar;
- Dominalidade do terreno por parte do órgão interessado;
- Terreno que possua viabilidade técnica e legal para implantação da escola;
- Dimensões mínimas de 40,00 x 70,00m;
- O terreno deve estar localizado em área urbana.

### Metodologias Inovadoras – MI

Com o intuito de atender às demandas municipais em um curto espaço de tempo com um menor custo, o Proinfância foi implementado com as Metodologias Inovadoras (MI). Estas metodologias são constituídas de novos produtos e sistemas construtivos que diferem dos convencionais brasileiros e englobam alguns termos comumente utilizados, como painéis e elementos pré-moldados e pré-fabricados (BRASIL, 2013).

Dentre as metodologias utilizadas pelo programa, mencionadas anteriormente, o sistema *Wall System* é o que foi utilizado no objeto de estudo deste trabalho. Basicamente, são placas-sanduíche compostas por polímero reforçadas com fibra de vidro extrudada, gesso acartonado e EPS, unidas por estrutura metálica, como ilustra a Figura 4.

**Figura 4** – Composição do (a) Sistema Construtivo da Edificação e (b) dos painéis *Wall System*.



Fonte: FNDE<sup>4</sup>.

Conforme Brasil (2013), a utilização dessas metodologias objetiva o atendimento a três premissas básicas do processo de implantação e expansão do programa Proinfância: tempo de execução, qualidade da construção e custo da construção.

De acordo com Brasil (2019), o tempo de execução refere-se à possibilidade de

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/mobiliario-e-equipamentos-2/item/4839>. Acesso em: 24 abr. 2019.

finalização da obra em tempo reduzido, utilizando um processo mais eficiente e transparente de licitação e de contratação, além de uma metodologia de projeto e construção mais rápida e limpa.

A qualidade da construção envolve a garantia da qualidade do ambiente construído – através dos recursos oferecidos pela industrialização – da construção e da possibilidade de determinação de requisitos de desempenho do edifício, previstos pela NBR 15.575/2013: Edificações habitacionais — Desempenho (ABNT, 2013).

Já o custo da construção visa um custo global da obra compatível ou menor que o preço de referência do FNDE para Estabelecimentos de Ensino Público.

### 2.1.2. O Programa Proinfância e os Centros de Educação Infantil no Brasil

Os Centros de Educação Infantil, nos quais está inserido o objeto de estudo deste trabalho, são o objeto do programa Proinfância, cujo objetivo é “promover o atendimento à clientela de 0 meses a 06 anos que utiliza instalações físicas precárias ou ofertar novas vagas, por meio da construção de unidades escolares” (FNDE, 2009, p. 02). De acordo com as faixas etárias, os projetos do Programa têm seus ambientes distribuídos conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Tabela etária de distribuição dos alunos nos projetos do Programa Proinfância.

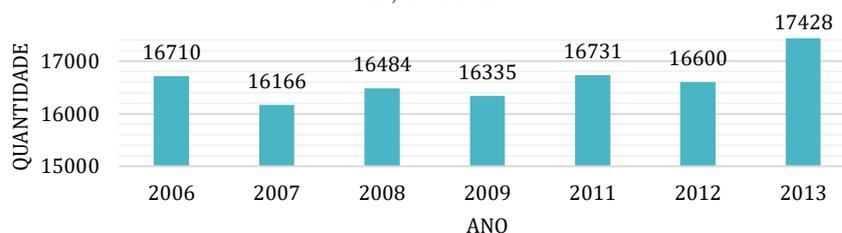
Módulo	Idade Atendida
Creche I	0 meses a 1 ano
Creche II	1 a 2 anos
Creche III	2 a 4 anos
Pré-escola	4 a 6 anos

Fonte: FNDE, 2009.

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 afirma em seu art. 208, inciso IV, que: “O dever do Estado com a educação será efetivado mediante a garantia de: [...] IV: educação infantil, em creche e pré-escola, às crianças de até 5 (cinco) anos de idade” (BRASIL, 1988, p 123-124). Neste sentido, o Gráfico 1 mostra o reflexo das tomadas de decisões das políticas públicas brasileiras para garantir este direito às crianças desde 2006 até o ano de 2013<sup>5</sup>.

Em relação à quantidade de alunos frequentadores de escolas de educação infantil no ano de 2006, o ano de 2007 apresentou diminuição. Neste ano, foi criado o PAC e instituído o Proinfância, pela Resolução nº 6, de 24 de abril de 2007 (BRASIL, 2007), fatos que refletiram significativamente no aumento do acesso em 2008.

<sup>5</sup> Dados referentes às Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios – PNAD. O ano de 2010 não consta no quadro, por ter sido ano censeado, no qual não houve publicação isolada da PNAD.

**Gráfico 1** – Pessoas de 0 a 6 anos que frequentavam escolas de educação infantil (creche e/ou pré-escola), por ano, no Brasil.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006-2013.

Em 2011, quando houve a segunda fase do PAC, pôde-se perceber um aumento ainda maior. O ano de 2013, em que foram instituídas as Metodologias Inovadoras pela Resolução/CD/FNDE nº 25, de 14 de junho de 2013 (BRASIL, 2013c), apresentou um largo aumento, caracterizado como o maior do período analisado.

De acordo com Aspectos... (2017), a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) realizada no ano de 2015 investigou 10,3 milhões de crianças de menos de 4 anos de idade, entre as quais apenas 2,6 milhões (25,6%) eram matriculadas em creche ou escola. Dentre as 7,7 milhões de crianças não matriculadas, 61,8% (4,7 milhões) tinham responsáveis interessados em fazê-la. A pesquisa demonstrou ainda que, com o aumento da idade das crianças, crescia também o interesse do responsável em matriculá-las, como expõe a Tabela 2.

**Tabela 2** – Percentual de crianças de menos de 4 anos de idade que não eram matriculadas em creche ou escola, mas cujo responsável tinha interesse em matriculá-la, por Grandes Regiões, segundo a idade das crianças – 2015.

Idade das crianças	Percentual de crianças de menos de 4 anos de idade que não eram matriculadas em creche ou escola, mas cujo responsável tinha interesse em matriculá-la em creche ou escola (%)					
	Brasil	Grandes Regiões				
		Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Total	61,8	58,2	62,3	63,0	60,8	62,0
Menos de 1 ano	49,1	43,9	45,1	53,2	51,9	47,9
1 ano	58,4	51,8	58,5	59,6	61,3	59,5
2 anos	71,6	66,8	75,7	71,7	65,4	71,4
3 anos	78,6	73,4	82,8	80,1	71,8	77,0

Fonte: ASPECTOS..., 2017, p.35.

Entre 2016 e 2018, houve gradual crescimento da taxa de escolarização dos indivíduos nas faixas etárias tratadas neste trabalho, como exhibe o Gráfico 2. Nele, pode-se perceber que o acesso das crianças entre 0 e 3 anos cresceu, em média, 2% ao ano (2,3% em 2017 e 1,5% em 2018), enquanto o das de 4 a 5 anos cresceu cerca de 1% ao ano (1,5% em 2017 e 0,7% em 2018).

Nota-se também que o acesso às creches (crianças de 0 a 3 anos) é expressivamente menor que à pré-escola (crianças entre 4 e 5 anos). No ano de 2016, a diferença entre os percentuais de ingresso em creche e pré-escola é de 59,8%, diminuindo para 59% em 2017 e

58,2% em 2018. Fato que pode ser atribuído à sanção da Lei nº 12.796/2013, que, entre outras coisas, estabeleceu que as crianças brasileiras devem ser matriculadas na educação básica a partir dos quatro anos de idade e determinou que as redes municipais e estaduais de ensino adequassem-se e acolhessem os alunos de 4 a 17 anos até 2016 (BRASIL, 2013b).



Fonte: Adaptado de EDUCAÇÃO..., 2019.

Dentre o total de alunos com acesso à educação infantil, a rede pública de ensino foi, em 2018, responsável por 74,3%, proporção estatisticamente semelhante a de 2017 (EDUCAÇÃO..., 2019), como mostra o Gráfico 3.

**Gráfico 3** – Estudantes de creche e pré-escola matriculados na rede pública de ensino (%).



Fonte: Adaptado de EDUCAÇÃO..., 2019.

Através da Tabela 3, pode-se perceber que ocorre, entre as Grandes Regiões do Brasil e entre as faixas etárias que contemplam a educação infantil, uma variação na porcentagem de frequência às instituições de educação infantil. As regiões Norte e Centro-Oeste apresentaram taxas abaixo da média brasileira em todas as faixas etárias e anos analisados, tendo a região Norte apresentado valores muito menores. A região Nordeste apresentou índices muito inferiores à média na faixa de 0 a 1 ano em 2017 e 2018, enquanto nas demais faixas a taxa foi superior. Na faixa de 4 a 5 anos, a região Sul apontou taxas abaixo da média e, nas demais faixas, expressou valores consideravelmente acima. A região Sudeste contrapôs-se, apresentando dados acima da média brasileira para todas as faixas etárias analisadas no período.

Com base nos dados, pode-se afirmar que a criação do Proinfância foi um marco de grande relevância no cumprimento das demandas educacionais para a primeira infância. Tendo em vista sua notoriedade e os cerca de 13 anos desde sua criação, o Programa tornou-se objeto

de diversos estudos no intuito de avaliar e contribuir para novas melhorias, uma vez que esta é uma necessidade constante no âmbito das políticas públicas.

**Tabela 3** – Taxa de escolarização das pessoas de 0 a 5 anos de idade, por grupos de idade, segundo as Grandes Regiões (%).

Região	De 0 a 1 ano		2 a 3 anos		4 a 5 anos	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Brasil	12,8	12,5	51,1	53,8	91,7	92,4
Norte	2,1	3,0	30,3	31,1	85,0	86,4
Nordeste	4,4	4,6	52,0	54,2	94,8	95,4
Sudeste	18,5	17,7	57,9	61,3	93,0	93,8
Sul	25,0	21,6	53,8	55,2	88,9	90,0
Centro-Oeste	10,3	11,4	39,5	43,0	86,9	86,3

■ Média do país      ■ Abaixo da média      ■ Acima da média

Fonte: Adaptado de EDUCAÇÃO..., 2019.

Para Rambo (2017) a observação e o diálogo com o utilizador infantil determinarão os objetivos pedagógicos que suportarão o planejamento ambiental comprometido com as necessidades e interesses da criança. No Brasil, os critérios para elaboração deste tipo de projeto são prescritos nos Parâmetros Básicos de Infraestrutura para Instituições de Educação Infantil (BRASIL, 2006). Nele, são expostas diretrizes para a concepção, reforma e adaptação das escolas infantis, que resultam da parceria entre educadores, arquitetos e engenheiros.

Brasil (2006) define alguns aspectos determinantes para a seleção dos terrenos compatíveis à implantação da unidade de Educação Infantil, que influenciam as decisões arquitetônicas: condições do terreno, infraestrutura, legislação em vigor, construções do entorno, aspectos socioculturais e econômicos e aspectos físico-climáticos e ambientais (insolação, temperatura, ventos, umidade, índice pluviométrico, qualidade do ar, etc.). Sendo este último o enfoque deste trabalho. Não obstante, Brasil (2013a) define os critérios específicos para a implantação das Metodologias Inovadoras, os mesmos utilizados por FNDE (2017) para definir o conteúdo normativo dos Cadernos Técnicos de Desempenho de Edificações Escolares de Ensino Público implantadas no Brasil. Estes critérios podem ser visualizados no Quadro 2.

**Quadro 2** – Requisitos e critérios das Metodologias Inovadoras.

<b>SEGURANÇA</b>	Desempenho Estrutural
	Segurança Contra Incêndio
	Segurança no Uso e na Operação
<b>HABITABILIDADE</b>	Estanqueidade
	Desempenho Térmico
	Desempenho Acústico
	Desempenho Lumínico
	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar
	Funcionalidade e Acessibilidade
	Conforto tátil e Antropodinâmico
<b>SUSTENTABILIDADE</b>	Durabilidade e Manutenibilidade
	Adequação Ambiental

Fonte: Adaptado de Brasil (2013).

Nesta perspectiva, pode-se afirmar que “o momento é significativo para a história da educação infantil, visto que há o reconhecimento da importância desse nível de ensino para a formação humana. Contudo, a ampliação da oferta de vagas em creches públicas tem sido um grande desafio” (PIRES, 2017, p. 13). Também para Lopes (2018, p. 267):

O programa deve ser criticado em sua formatação, porém não se pode deixar de reconhecer o mérito da iniciativa do governo federal no sentido de contribuir com uma educação de qualidade para as crianças pequenas ao criar o PROINFÂNCIA, promovendo uma estrutura física adequada ao desenvolvimento e a educação infantil, além de estimular o debate na sociedade sobre como deve ser o espaço físico de uma escola que seja apropriada para esta finalidade.

Em contrapartida, Barros (2002), exemplifica com o caso do Campus da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, que a prática da padronização de projetos traz, também, alguns problemas.

Nem sempre é possível adequar o projeto padrão às características do local onde será implantado, como acesso, técnicas construtivas locais e variáveis climáticas. Durante a definição do local onde será executado o projeto, é preciso entender que todo lugar possui especificidades, de modo que cada edifício, mesmo que fruto de projeto padronizado, terá resultado vinculado à reunião das características locais (BARROS, 2002).

Neste contexto, para Azevedo *et al* (2004, p. 5) “a qualidade da arquitetura escolar depende do nível de adequação e de desempenho de seus ambientes, em seus aspectos técnicos, funcionais, estéticos e, conseqüentemente, do modo como esses aspectos afetam o bem-estar dos seus usuários”.

Assim, diante do explicitado, pode-se pressupor que a inadequação dos projetos padrão aos aspectos bioclimáticos impactam significativamente no desempenho das edificações. Por este motivo, Nascimento e Batista (2017) defendem a flexibilidade destes projetos para que sejam adaptáveis às necessidades ambientais de cada cidade em que forem implantados, para que o espaço construído garanta condições de bem-estar necessárias para o desempenho das atividades dos usuários.

## 2.2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

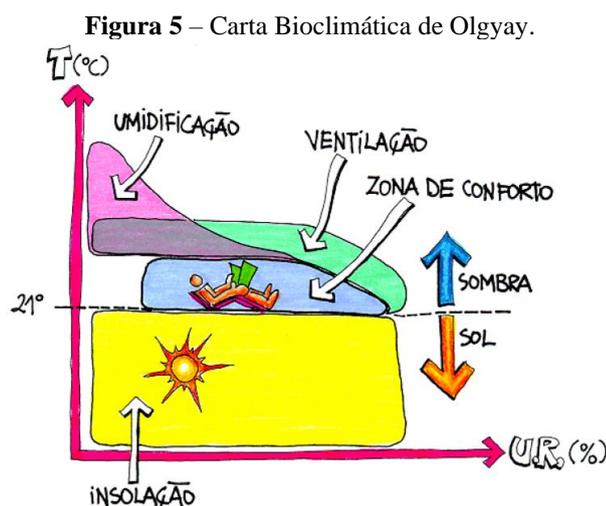
De acordo com Papst (1999), bioclimatologia é a ciência que estuda a climatologia aplicada aos seres vivos, e abrange a interação do ambiente, seus fatores e elementos climáticos relacionados às sensações térmicas dos seres vivos. Nesta perspectiva, surge a arquitetura bioclimática, que utiliza os princípios da arquitetura vernácula como modelo, onde o homem

apresenta respostas adequadas às exigências do meio ambiente (ROMERO, 2001).

Passos (2009) reconhece que o homem buscou, por muito tempo, adaptar os abrigos que construía, de modo a integrar a arquitetura ao clima em harmonia com a natureza e aspectos ambientais. Assim, tem-se que as decisões de projeto arquitetônico devem ser influenciadas pelo contexto geográfico e, conseqüentemente, climático do local onde será implantado, pois refletirá no conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade da edificação (PASSOS, 2009).

De acordo com Corbella e Yannas (2009), a arquitetura bioclimática preocupa-se com a integração entre arquitetura e clima local, com o intuito de promover edificações centradas sobre o conforto ambiental do ser humano e seu impacto no planeta. A utilização de mecanismos naturais para adequação climática das edificações às necessidades ambientais do homem foi estruturada, inicialmente, na década de 1960 por Olgyay (1973), que formulou um diagrama no qual são apontadas as estratégias de adaptação da arquitetura ao clima com relação às alterações da temperatura e umidade média locais (SPAGNUOLO, 2019).

O conceito de carta bioclimática foi desenvolvido por Olgyay, na década de 1960, e visa determinar estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (LAMBERTS, 2016b), como pode ser visualizada na Figura 5.



A carta bioclimática de Olgyay apresenta temperaturas internas muito próximas às temperaturas externas, deste modo, sugeri que essas cartas poderiam ser usadas também como diretrizes para edifícios, o que pode ser considerada razoável para edifícios leves em regiões úmidas, como o leste dos Estados Unidos, onde Olgyay viveu e onde geralmente os edifícios residenciais são naturalmente ventilados durante o verão por meio de janelas. Porém, mesmo neste caso, as temperaturas noturnas internas, ainda que no inverno, são significativamente mais altas do que as externas, mesmo em prédios sem aquecimento, levando a superestimar a

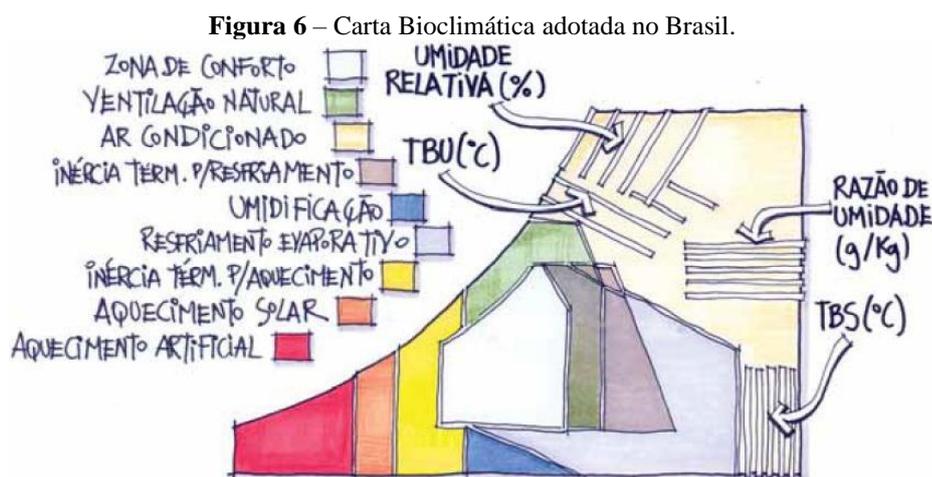
necessidade de aquecimento (GIVONI, 1998).

Para abordar os problemas associados às cartas de Olgyay, Givoni, em 1976, desenvolveu uma nova carta bioclimática, baseada nas temperaturas internas dos edifícios, ao invés das externas (GIVONI, 1998).

Mais tarde, Givoni (1992) desenvolveu uma nova carta, elaborada com base na plotagem dos dados climáticos locais na carta psicrométrica. Segundo Lamberts *et al.* (2016a), relaciona as propriedades termodinâmicas da mistura de ar seco com vapor de água apresentando os valores de acordo com as coordenadas abaixo:

- no eixo x, a temperatura do ar (bulbo seco), em graus Celsius;
- no eixo y, lado direito, a razão de umidade ( $W_a$ ); e
- no eixo y, lado esquerdo, a pressão parcial de vapor de água ( $p_a$ ), expressa ou em milímetros de mercúrio ou em kPa, que não consta na carta utilizada no Brasil.

A carta bioclimática utilizada no Brasil (Figura 6) é baseada nos estudos de Givoni (1992), cuja carta pode ser adaptada para países em desenvolvimento (LAMBERTS, 2016b).

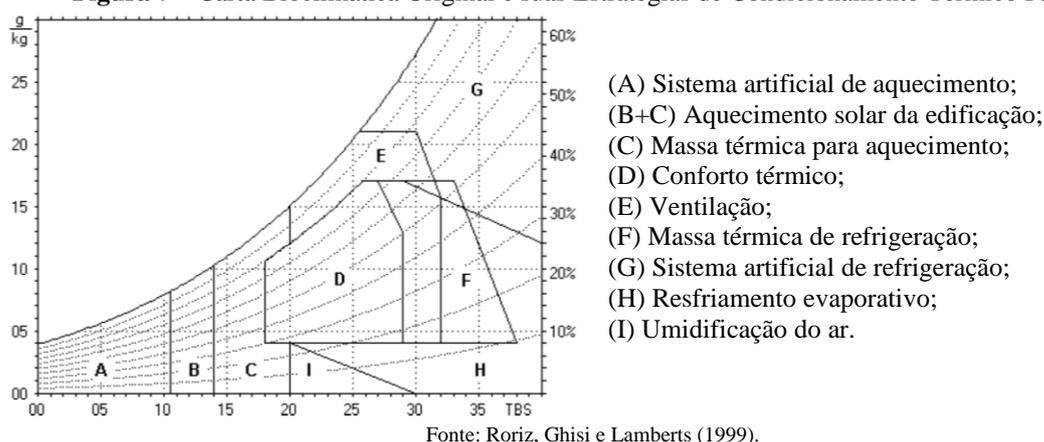


Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

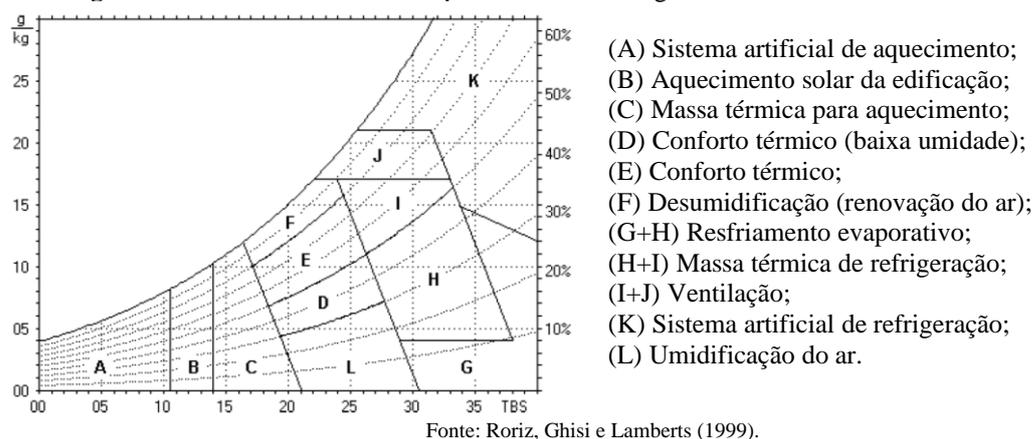
Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) adaptaram a Carta Bioclimática de Givoni (Figura 7) com o objetivo de tornar o método mais sensível à realidade climática brasileira. Para isto, realizaram algumas alterações: (a) inclinaram-se os limites de temperatura à esquerda e à direita da zona de conforto, em razão de as pessoas sentirem mais calor quando são sujeitas a umidades mais altas (os limites originais não identificaram certos períodos reconhecidamente quentes de algumas cidades); (b) dividiram-se a zona de conforto em 2 subzonas, uma com umidades relativas entre 30 e 50%, e outra, para umidades entre 50 e 80%, o que permitiu a localização

de diferenças climáticas entre cidades como Belo Horizonte e Patos de Minas; (c) a estratégia de ventilação foi dividida em duas zonas, sendo uma delas aplicável, apenas, quando altas temperaturas se conciliam com altas umidades, o que possibilitou distinguir a ventilação noturna da ventilação permanente; (d) o limite inferior de umidade da zona de conforto começa a ser definido pela curva de umidade relativa e não pela linha de umidade absoluta; e (e) conceberam-se uma nova zona, para a qual se recomenda a substituição do ar úmido interno pelo ar externo, mais seco (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999). A Figura 8 mostra a Carta Bioclimática Adaptada e suas Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo.

**Figura 7** – Carta Bioclimática Original e suas Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo.



**Figura 8** – Carta Bioclimática Adaptada e suas Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo.



Neste sentido, pode-se ressaltar que ao seguir as estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas pela carta bioclimática da localidade onde se pretende construir, tende-se a obter uma edificação com bom desempenho térmico (dentro das limitações climáticas locais) e, conseqüentemente, maior probabilidade de promover conforto térmico aos usuários.

No que se refere ao termo desempenho na construção civil, Caneppele (2014) salienta que está vinculado ao que se espera obter no final do processo de execução de uma edificação, quando está pronta para uso. Assim, para analisar o desempenho de uma edificação, considera-

se os comportamentos térmico, lumínico e acústico. Neste trabalho, analisa-se o desempenho térmico de uma edificação previamente escolhida.

O desempenho térmico adequado de uma edificação repercute no conforto dos usuários e em condições adequadas para o desenvolvimento das atividades comuns e para o sono, além de proporcionar economia de energia (CBIC, 2013). A percepção de conforto térmico é, para Grandi (2006), um processo cognitivo que abrange condições físicas, fisiológicas e psicológicas do indivíduo, e/ou a sensação de neutralidade térmica que este experimenta em determinado ambiente.

Por este ângulo, compreende-se que a sensação de conforto térmico do usuário de um ambiente edificado está diretamente ligada ao desempenho térmico da edificação, uma vez que esta será responsável pela carga térmica que passa do meio externo para o ambiente interno.

É possível obter um desempenho térmico favorável a edificações quando se faz uso do clima local para produzir interações com o ambiente interno. Para avaliar o desempenho térmico de uma edificação e averiguar a existência destas interações, faz-se necessário analisar seu comportamento através de alguns fatores: entorno, materiais construtivos utilizados, atividade à qual a edificação se destina e variáveis climáticas locais. Este comportamento é caracterizado por Lamberts *et al* (2010, p. 19) como a “resposta física que a edificação apresenta quando submetida às solicitações do clima externo (variáveis climáticas) e às condições de uso dos ambientes”.

Segundo Pereira e Neto (1988 apud Lamberts *et al*, 2010), a avaliação do desempenho térmico de uma edificação é o ato de avaliar seu comportamento térmico diante de pré-requisitos, de modo que atendam às necessidades térmicas do usuário perante as ações climáticas as quais está sujeita a edificação. De acordo com CBIC (2013), esta avaliação pode ser feita de forma simplificada, com base nas propriedades térmicas de fachadas e coberturas, ou por simulação computacional, onde são relacionados conjuntamente todos os elementos e fenômenos constituintes.

No Brasil, com o intuito de regularizar estas e outras avaliações dos mais diversos comportamentos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) utiliza-se das Normas Brasileiras (NBRs), para padronizar estas avaliações para que todas as edificações sejam avaliadas segundo os mesmos critérios.

### 2.2.1. Calorimetria e influência dos materiais construtivos no desempenho térmico de edificações

Sabendo-se que calor é a energia transitada entre corpos com diferentes temperaturas, pode-se dizer que influencia diretamente o comportamento térmico de uma edificação, onde existe um fluxo que transita entre o ambiente externo e o interno através de suas vedações externas (paredes e coberturas).

O Sol é a principal fonte de calor do planeta, e, ao incidir sobre um edifício, promove ganho de calor no ambiente interno em função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas das vedações do edifício, que podem ser classificadas como opacos ou transparentes (ou translúcidos), quando expostos aos raios solares de radiação de alta temperatura diretos ou difusos (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Os fenômenos de ganho ou perda de calor das edificações dão-se por meio de mecanismos de trocas térmicas, que podem ocorrer, basicamente, em duas circunstâncias: trocas secas, entre dois corpos com temperaturas diferentes, onde o de maior temperatura perde calor para o de menor temperatura; ou trocas úmidas, mudança de estado físico (no contexto do conforto termo-higrométrico, a água é o elemento que proporciona esta troca ao passar do estado líquido para o de vapor e do estado de vapor para o líquido) (FROTA; SCHIFFER, 2003; LAMBERTS *et al*, 2016b).

A perda de calor latente, dada pelas trocas úmidas, ocorre por evaporação, quando a água passa do estado líquido para o gasoso, enquanto a perda de calor sensível – trocas secas – pode ocorrer de três maneiras: condução, pelo contato entre as moléculas de dois corpos sólidos; convecção, pelo contato molecular de dois corpos, sendo um deles, fluido; e radiação, entre dois corpos, sem contato, através da capacidade de emitir e absorver energia térmica. (FROTA; SCHIFFER, 2003; LAMBERTS *et al*, 2016b). Esta última é a principal forma como é transmitido o calor para as superfícies edificadas (opacas e translúcidas).

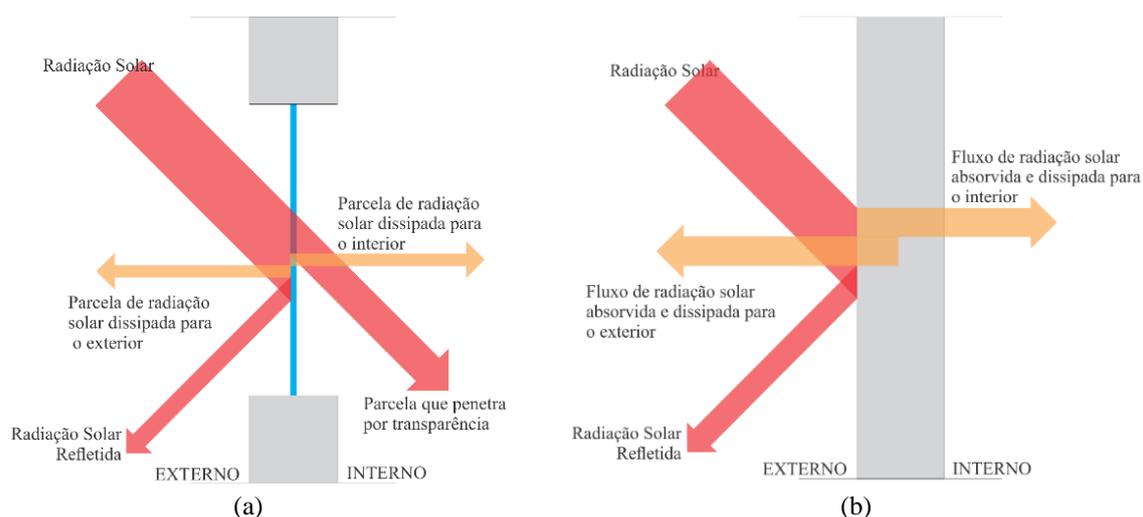
As paredes e coberturas, fechamentos opacos das edificações, recebem, de acordo com Castro (2011), radiação solar direta, sobretudo os planos horizontais e inclinados (cobertas), que são completamente expostos ao céu e, conseqüentemente, ao Sol, durante todo o dia enquanto ele está acima da linha do horizonte. Já as paredes e aberturas (superfícies verticais) são expostas à radiação solar apenas em um período do dia e/ou do ano a depender da orientação solar e coordenadas geográficas.

Parte das aberturas é composta por materiais transparentes (Figura 9a), através dos quais

o ganho de calor no ambiente interno é imediato, enquanto através dos materiais opacos (Figura 9b), o calor adentra à edificação com maior retardo de tempo, o qual dependerá das propriedades do material (CASTRO, 2011).

Para compreender o comportamento térmico das edificações, bem como dos materiais que as compõem, é preciso conhecer os conceitos de grandezas relacionadas, bem como a maneira de obtê-las. O Quadro 3 sintetiza-os.

**Figura 9** – Trocas de calor através de superfícies: (a) transparentes; e (b) opacas.



Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer, 2001.

**Quadro 3** – Grandezas e características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos

Grandeza	Definição	Fatores Influentes	Unidade
Fluxo de Calor (Q)	Quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo	É influenciado pelo calor que atravessa o componente e pelo tempo	W
Calor Específico (c)	Quantidade de calor necessária para variar de 1 grau a temperatura de 1 unidade de massa do componente	É uma propriedade do componente	J/(kg.K)
Capacidade Térmica (C)	Propriedade de um componente que indica sua capacidade de reter calor	Resulta do somatório dos produtos da espessura, calor específico e densidade de cada camada do componente construtivo.	J/K
Condutividade Térmica ( $\lambda$ )	Propriedade física que indica a capacidade de um material conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo.	Diretamente proporcional à densidade do material.	W/(m.K)
Resistência Térmica (R)	Quociente entre espessura do material e sua condutividade.	Diretamente proporcional à espessura, inversamente à condutividade.	(m <sup>2</sup> .K)/W
Transmitância Térmica (U)	Inverso da resistência térmica total de um componente	Inversamente proporcional à espessura, diretamente à condutividade.	W/(m <sup>2</sup> .K)
Atraso Térmico ( $\phi$ )	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente	Varia de acordo com a resistência térmica e a capacidade térmica do material	h

(continua)

<b>Absortância solar (<math>\alpha</math>)</b>	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície	Relacionada com a cor da superfície: quanto mais escura, maior a absortância.	-
<b>Refletância (<math>\rho</math>)</b>	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar ou de ondas longas incidente sobre esta mesma superfície	Relacionada com a cor da superfície: quanto mais clara, maior a refletância.	-
<b>Irradiância (G)</b>	Taxa de radiação incidente sobre um componente por unidade de área	Varia conforme a área do componente	W/m <sup>2</sup>
<b>Emitância (E)</b>	Propriedade característica das superfícies; é a taxa de emissão de radiação por unidade de área	Varia em função da área do componente	W/m <sup>2</sup>
<b>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</b>	Propriedade física dos materiais (superfícies) que determina a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo	Para os materiais construtivos, tem-se os metálicos ( $\epsilon = 0,05$ e $0,3$ ) e os não metálicos ( $\epsilon = 0,85$ a $0,9$ ).	-
<b>Fator Solar (FS)</b>	Razão entre a quantidade de energia solar que incide em uma superfície transparente ou translúcida e a quantidade transmitida para o interior.	Varia de acordo com o ângulo de incidência da radiação e da transmissividade do material	-

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005; Castro, 2011; Lamberts, Pereira e Dutra, 2014; e ProjeteEEE<sup>6</sup>.

Castro (2011) esclarece que materiais opacos refletem uma parcela da radiação – cujo valor depende da refletância ( $\rho$ ) do material – que, ou volta para a atmosfera ou reincide em outras superfícies com menor intensidade; enquanto a outra parcela da radiação é absorvida – cujo valor depende da absortância ( $\alpha$ ) do material. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) desenvolvem que os materiais transparentes transmitem, de forma difusa, uma parcela da radiação para o interior do ambiente, cujos valores dependem da refletância ( $\rho$ ), da absortância ( $\alpha$ ) e, ainda, da transmissividade ( $\tau$ ) do material.

Ao absorver calor, o componente eleva sua temperatura e sua energia interna (RORIZ, 2008). Assim, o calor no ambiente é transformado em energia térmica cuja quantidade dependerá da temperatura absoluta da superfície que está emitindo e de sua emissividade ( $\epsilon$ ) (CORBELLA; YANNAS, 2009).

Neste sentido, pode-se entender a importância da escolha do material construtivo de edificações, pois, diante do cenário climático local, cada material terá um comportamento que influenciará diretamente no desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, no conforto térmico de seus usuários.

Definidos os materiais construtivos, um outro fator que deve ser ponderado é a escolha das cores da pintura destes elementos, uma vez que quanto mais clara a superfície, menor a absortância ( $\alpha$ ) do material, como pode ser visualizado na Tabela 4, onde existe uma imensa diferença entre a absortância da cor branca e a da cor preta, que chega a absorver 97% da

<sup>6</sup> Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/glossario/>. Acesso em: 01 nov. 2019.

radiação solar incidente, enquanto a branca, absorve apenas 20%<sup>7</sup>.

**Tabela 4** – Absortância ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\varepsilon$ ) de algumas cores.

Cor	$\alpha$	$\varepsilon$
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
“Alumínio”	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Neste sentido, pode-se compreender a relevância de elaborar uma análise minuciosa quanto aos critérios de escolha dos materiais construtivos, de modo a considerar as propriedades de cada componente e as cores a serem aplicadas, frente ao clima local e ao desempenho térmico desejado para a edificação.

### 2.2.2. Conforto e desempenho térmico de ambientes escolares

Segundo Kowaltowski (2011, p. 112), “a importância do conforto ambiental em relação à produtividade no trabalho ou na aprendizagem depende, em primeiro lugar, do projeto do edifício e de seus ajustes às atividades dos usuários”, o que ressalta a importância de avaliações criteriosas das tomadas de decisões durante a elaboração do projeto arquitetônico.

Em uma escola, o conforto térmico está relacionado à sua capacidade de proporcionar condições adequadas para que os usuários realizem normalmente suas atividades (GRAÇA, 2008). Para que seja alcançado, faz-se necessário que a escola apresente um bom desempenho térmico, o que será resultante de fatores interacionais entre a edificação e o meio externo, através da forma do edifício, orientação, materiais construtivos, tratamento dos espaços externos, entre outros.

Nesta perspectiva, diversos trabalhos pesquisaram conforto térmico em salas de aula e ambientes escolares por meio de variadas metodologias, das quais pode-se citar as mais utilizadas: monitoramento climático e simulação computacional de edificações; aplicação de métodos prescritivos por normatizações; e entrevistas e aplicação de questionários para avaliação da percepção do usuário.

Dentre os trabalhos realizados acerca do desempenho de edificações escolares, foram analisados e contribuíram para a elaboração deste trabalho estudos recentes, como: a avaliação do desempenho térmico de creches do programa proinfância nas zonas bioclimáticas brasileiras,

---

<sup>7</sup> Aspectos como o tempo de uso e a manutenção aplicada exercem influência direta e podem alterar este valor.

de Araújo (2019); a avaliação do desempenho da envoltória e ciclo de vida energético, desenvolvida por Madeira (2019), para uma edificação escolar pública, em Vitória-ES; a investigação, de Buonocore (2018), da percepção térmica de usuários de salas de aula naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente, em São Luís-MA; a avaliação, de Chaves (2016), das condições de conforto térmico e percepção ao ambiente térmico de uma sala de aula, através de medições *in loco*, percepção dos usuários e simulação computacional, em Goiânia-GO; a avaliação, de Lamenha (2016), do desempenho por meio de análises paramétricas, relativas ao sombreamento e à ventilação natural de um bloco de escola profissionalizante, em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras; e a avaliação, de Paulse (2016), do potencial de desempenho termoenergético da envoltória de diferentes modelos de uma edificação escolar, em Goiânia-GO, através da simulação de sistemas construtivos verticais e horizontais, de acordo com os requisitos do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

Trabalhos menos recentes foram consultados e auxiliaram na construção das investigações deste trabalho, visto que este tipo de verificação é realizado há um tempo considerável. Dentre eles, destacaram-se: a avaliação do conforto térmico e aferição do desempenho de uma estratégia em edifício escolar, em Maringá-PR, realizada por Goulart (2014); a avaliação pós-ocupação, de Pimenta (2013), de um edifício escolar de ensino superior, em Ipatinga-MG, por meio de avaliação da satisfação do usuário, monitoramento de variáveis climáticas e simulação computacional de desempenho térmico; as diretrizes construtivas para projetos, estabelecidas por Costa (2012), para proporcionar melhor desempenho e maior conforto térmicos aos usuários de escolas, em Maceió-AL; a análise e comparação do desempenho térmico de salas de aula, realizada por Fernandes *et al* (2010), onde identificaram problemas e propuseram soluções para o desempenho térmico de uma escola pública em Campinas-SP; a avaliação de Barros (2002) para uma tipologia de projeto padrão de creche e pré-escola, sob o aspecto da implantação em conjuntos habitacionais de interesse social do Estado de São Paulo; e a avaliação dos confortos térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública na cidade de Campinas-SP, realizada por Labaki e Bueno-Bartholomei (2001).

Os estudos de Vecchi (2011), Deliberador (2010), Caixeta e Lukiantchuki (2009), Costa (2008), Graça (2008), Machado *et al* (2008), Bittencourt *et al* (2007) e Tamanini (2002) também foram considerados contribuíram para subsidiar o entendimento e construção das metodologias aqui adotadas.

Neste sentido, pôde-se perceber a relevância da compreensão dos aspectos indicadores

de conforto e desempenho térmico de edificações educacionais, para que se possa avaliar os resultados obtidos, bem como relacioná-los a estudos semelhantes.

Quanto ao Proinfância, pode-se observar que o programa tem representado um marco na construção de edificações escolares de educação infantil no Brasil e, conseqüentemente tem sido objeto de diversos estudos nas variadas áreas de pesquisa. Destacam-se diversos trabalhos. Alguns, cujas pesquisas foram consultadas e embasaram partes deste estudo, foram sintetizados no Quadro 4.

**Quadro 4** – Embasamento teórico: Proinfância.

Referência	Breve Contexto	Síntese dos Resultados
ARAÚJO (2019)	Avaliou o desempenho térmico do projeto padrão Tipo B do programa Proinfância sob diferentes configurações de vedações (verticais e horizontais) nas oito zonas bioclimáticas brasileiras.	As horas ocupadas nas salas de aula ao longo do ano ultrapassam 30% de desconforto por frio em contextos climáticos mais frios (Curitiba e Santa Maria), foram inferiores a 11% em Florianópolis e Brasília, e nos demais contextos estudados, menores que 5%, porém até 90% de desconforto por calor.
FELICIANO, NUNES e SANTOS (2019)	Analizou os efeitos do Proinfância, no atendimento às crianças dos municípios do estado do Rio de Janeiro para compreender as repercussões da política nacional de educação.	O programa foi capaz de contribuir com 100% da expansão do número de matrículas da rede de educação infantil, ou, ao menos, com mais de 50% dela. Ocorreram ganhos relevantes nas adequações dos estabelecimentos às necessidades da educação infantil.
MORIMOTO e OLIVEIRA (2019)	Desenvolveram uma análise hierárquica da qualidade da infraestrutura escolar de projeto-padrão do Proinfância, em Camboriú-SC, e produziram informações referentes à distribuição espacial e à concentração desses equipamentos comunitários na área de estudo.	Grande parte dos CEIs analisados necessitam de regularização fundiária das parcelas territoriais; necessidade de revisão da Lei Municipal de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo para a adequação das atividades educacionais no município; nenhum CEI atendeu de maneira integral o subcritério calçada pavimentada e padronizada de acordo com a NBR 9050; apenas um dos CEIs analisados atendeu integralmente a todos os subcritérios estruturados na pesquisa.
SPAGNUOLO (2019)	Avaliou o conforto térmico em projeto do Proinfância nas oito Zonas Bioclimáticas brasileiras, e comparou os resultados do projeto original com a adoção de estratégias de condicionamento passivo.	Adotando-se estratégias passivas de adequação climática da edificação, conforme a NBR 15220, houve melhorias significativas na porcentagem de horas de uso em conforto térmico em todas as localidades; ponderou-se que o uso das recomendações normativas para ambientes residenciais contempladas pela NBR 15220 não deve ser aplicado de forma isolada para ambientes institucionais.
ARAÚJO e SCALCO (2018)	Avaliaram a influência do tamanho das aberturas, cor das coberturas e uso de ventiladores de teto no desempenho térmico de salas de aula do projeto padrão Tipo B do programa Proinfância, no Leste, no Agreste e no Sertão do estado de Alagoas.	Foram verificados altos percentuais anuais de desconforto mesmo quando as janelas das salas são voltadas para ventilação predominante; as alterações efetuadas no modelo adaptado ocasionaram reduções de até 17% no desconforto térmico das salas em relação ao modelo REAL e de até 50% com a utilização do ventilador de teto.
LOPES (2018)	Analizou a execução do Proinfância em municípios brasileiros, por meio de dados estatísticos do atendimento educacional à criança.	A opção pelas metodologias inovadoras mostrou-se um fator que, ao invés de acelerar o desenvolvimento do programa como era a expectativa do governo, atrasou e complicou ainda mais a execução das obras deixando um legado de obras paralisadas para as quais o FNDE tem buscado soluções.

(continua)

MEDLER <i>et al</i> (2018)	Avaliaram o desempenho de projeto-padrão do Proinfância implantado no Sul do Brasil, e analisaram a aplicação de procedimentos e instrumentos usualmente empregados em Avaliação Pós-Ocupação.	Algumas salas não contam com área suficiente para realização das atividades pedagógicas; problemas de geração de ruído ocasionados pelo pátio coberto; piso provocando desconforto por frio; e subdimensionamento das esquadrias.
SPAGNUOLO, SILVEIRA, SERRANO, MAGAGNIN e FARIA (2018)	Identificaram o grau de adequação térmica do projeto padrão Tipo B do programa Proinfância em três Zonas Bioclimáticas, através de simulação computacional.	Constatou-se que a edificação não se adequa às zonas bioclimáticas as quais pertencem as cidades de Belém, Canela e Sorocaba e há adequação térmica à Zona Bioclimática 3.
BABICK e TORRES (2017)	Analisaram o desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão do Proinfância segundo os requisitos de normas e referenciais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras.	Em relação às esquadrias, os resultados não foram satisfatórios a iluminação artificial, não apresenta nenhum tipo de integração com a iluminação natural.
NASCIMENTO e BATISTA (2017)	Avaliaram o desempenho térmico de um projeto do Proinfância, em Maceió, com base em índices de conforto, identificando o comportamento da ventilação natural no interior dos ambientes quanto à distribuição dos fluxos de ar e aos períodos e intensidade do desconforto térmico nos ambientes internos da edificação.	O projeto estudado apresentou alguns fatores que prejudicaram escoamento dos ventos nos ambientes internos, tais como: a organização espacial desfavorável à captação da ventilação em alguns ambientes, o dimensionamento insuficiente e configuração inadequada das esquadrias e o posicionamento desfavorável das aberturas de entrada e saída de ar; e quanto ao desempenho térmico, os ambientes apresentaram temperaturas fora da zona de conforto durante todo o período letivo.
PACÍFICO, FREITAS e MATOS (2017)	Analisaram o atendimento à creche pela via da implantação do Proinfância em Rondônia.	Observou-se que não houve impacto positivo na ampliação do atendimento, com qualidade, à creche
PIRES (2017)	Discutiu a contribuição do Proinfância, enquanto política de acesso à educação infantil no Sudeste Goiano, apresentando o entrelaçamento das políticas públicas que compõem o programa, seu o processo de implementação sua relação com o PAC.	Em Goiás, apenas 46,70% das obras pactuadas foram entregues à população, menos da metade da demanda do Estado por unidades de educação infantil; os números ainda se mostram insuficientes para suprir o déficit de atendimento; o Proinfância contribui para colocar a educação infantil nas prioridades educacionais dos municípios, representando um marco na política nacional de ensino.
RAMBO (2017)	Explorou a dinâmica de concepção, apropriação e intervenção no espaço construído de um projeto do Proinfância, no Distrito Federal (DF), confrontando-o com as experiências e demandas dos usuários para avaliar o desempenho da escola quanto aos aspectos funcionais e geométricos.	Sugere a necessidade de alterações espaciais (aspectos construtivos do projeto, materiais de revestimento adotados, ausência de qualificação ambiental, risco à segurança, restrição da independência infantil, rigidez e limitação para a realização de múltiplas atividades, exposição ao calor intenso, entrada e acúmulo de água da chuva e dificuldade para manutenção) ou não espaciais (comportamento inadequado dos pais e responsáveis, as práticas pedagógicas específicas às entidades administradoras, a escala de horários para uso dos espaços, o desejo de ofertar novas atividades aos educandos) nas escolas.
FONSECA (2015)	Comparou o desempenho térmico das pré-escolas de tipologia C do Proinfância, frente aos requisitos de desempenho das Normas 15.575, 15.220 e do PBE Edifica, para as oito zonas bioclimáticas brasileiras.	Os parâmetros sugeridos pelas NBR 15.575, NBR 15.220 e PBE Edifica são válidos e, se adotados, podem maximizar o desempenho térmico destas edificações.

Fonte: Autora, 2020.

## 2.3. NORMATIVAS

As informações aqui reunidas subsidiaram a elaboração deste trabalho, principalmente os procedimentos metodológicos, uma vez que tratam de normativas vigentes no Brasil.

Ao que tange o desempenho térmico de edificações no país, vigoram duas Normas Brasileiras de Regulamentação (NBR), que auxiliam a análise destes processos: a NBR 15220/2005: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005); e a NBR 15575/2013: Desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2013).

Ainda nesta temática, a ASHRAE *Standard 55/2017: Thermal environmental conditions for human occupancy* dispõe de diretrizes no intuito de avaliar níveis de conforto térmico nestes ambientes com base no modelo adaptativo que será discutido posteriormente neste trabalho (ASHRAE, 2017).

### 2.3.1. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220/2005 foi aprovada e publicada após alguns anos de desenvolvimento do projeto por um pequeno grupo formado durante o “I Encontro Nacional sobre Normalização em Uso Racional de Energia e Conforto Ambiental em Edificações”, realizado em Florianópolis, em 1991. Esta norma vem cumprindo, desde sua publicação, um papel de extrema importância na melhoria do desempenho térmico das habitações populares no país (RORIZ, 2012b).

Para alcançar um desempenho térmico aceitável pela norma em questão, os edifícios e seus sistemas devem atender os requisitos estabelecidos por ela, de modo que cumpram às exigências dos usuários.

A NBR 15220/2005 está dividida em cinco partes: a primeira aborda as definições, símbolos e unidades de termos tratados nas demais partes da norma; a segunda, apresenta métodos de cálculo das propriedades térmicas dos elementos e componentes de edificações; na terceira parte é estabelecido o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) juntamente a propostas de diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; e as partes 4 e 5 tratam da medição da resistência e condutividade térmicas de materiais, por métodos diferentes (ABNT, 2005).

As diretrizes contidas na NBR 15220/2005, apesar de serem indicadas para um tipo específico de habitações, serão utilizadas neste trabalho para avaliar uma edificação escolar, como ocorreu no estudo de Babick e Torres (2017), pois é, até o presente momento, a única

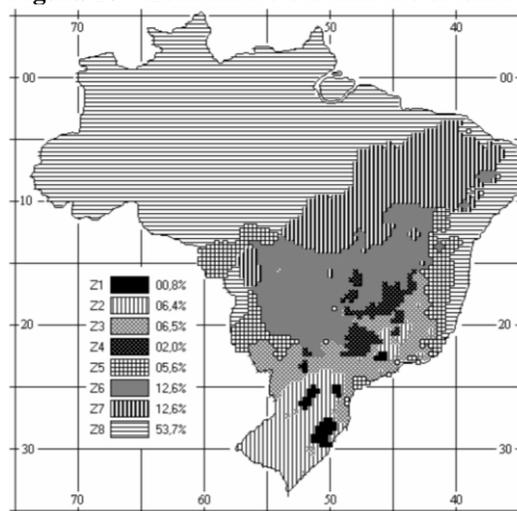
norma brasileira, que aborda e conduz o tipo de avaliação em questão.

É importante salientar que os parâmetros estabelecidos são mínimos, porém, o documento representa um importante marco para a arquitetura bioclimática no Brasil, pois foi o primeiro a desenvolver diretrizes bioclimáticas para diferentes áreas do país. Pela ausência de dados climáticos no período em que foi formulada e o avanço na quantidade de dados disponíveis atualmente, diversos estudos estão sendo realizados acerca da Norma.

Neste trabalho, o uso desta norma faz-se importante para que sejam calculadas as propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados na edificação estudada, por meio de um método estabelecido e confiável (NBR 15220-2), bem como para o conhecimento prévio da zona bioclimática em que está localizado o objeto de estudo e as recomendações de diretrizes construtivas para a mesma (NBR 15220-3). Deste modo, será avaliado se a edificação aqui estudada reúne características que atendem às exigências de desempenho térmico da Norma.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro é estabelecido na parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005), e divide o território em 8 zonas bioclimáticas (Figura 10), que variam de acordo com as características climáticas do local.

**Figura 10** – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT, 2005.

Para estabelecer estas diretrizes, a Norma se utiliza da plotagem de dados climáticos – médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e médias mensais de umidades relativas – das normais climatológicas locais, na carta bioclimática brasileira. Assim, sabe-se que cada zona bioclimática possui particularidades climáticas que demandam diferentes estratégias. É importante ressaltar que as Zonas Bioclimáticas Brasileiras não sugerem que áreas de uma mesma zona possuem climas iguais, mas climas que demandam as mesmas recomendações bioclimáticas para ambientes construídos.

Quanto ao tamanho das aberturas para ventilação, a norma classifica-as como pequenas, médias ou grandes. A variação se dá de acordo com a porcentagem de sua área em relação à área de piso do ambiente. O Quadro 5 mostra o tipo de abertura indicada para cada zona.

**Quadro 5** – Aberturas para ventilação para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Zona	Tamanho da abertura	A (em % da área de piso)
7	Pequenas	$10\% < A < 15\%$
1 a 6	Médias	$15\% < A < 25\%$
8	Grandes	$A > 40\%$

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

O tipo de proteção a ser utilizado nas aberturas, apresentado no Quadro 6, varia em função do período em que a abertura deverá ser sombreada ou permitir a incidência de insolação direta. Neste sentido, o projetista deve atentar-se ao uso e posicionamento de elementos construtivos que proporcionem a proteção requerida.

**Quadro 6** – Sombreamento das aberturas para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Zona	Sombreamento
1	Permitir sol durante o período frio
2 e 3	Permitir sol durante o inverno
4 a 8	Sombrear aberturas

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

O Quadro 7 exhibe os tipos de vedações externas (paredes e coberturas) e especifica as propriedades térmicas que cada um deve apresentar para proporcionar desempenho térmico suficiente às edificações de cada zona.

**Quadro 7** – Tipos de vedações externas para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Zona	Vedações externas	Transmitância térmica $W/m^2.K$	Atraso térmico $h$	Fator solar %
1 e 2	Parede: Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Cobertura: Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
3 e 5	Parede: Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Cobertura: Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
4 e 6	Parede: Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
	Cobertura: Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
7	Parede: Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
	Cobertura: Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$
8	Parede: Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Cobertura: Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Quanto às estratégias de condicionamento térmico passivo, a Norma apresenta indicações para os períodos de inverno e verão, como mostra o Quadro 8.

**Quadro 8** – Estratégias de condicionamento térmico passivo para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras

Zona	Estratégias	Notas
1	Inverno B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano
	Verão -	-
2	Inverno B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano

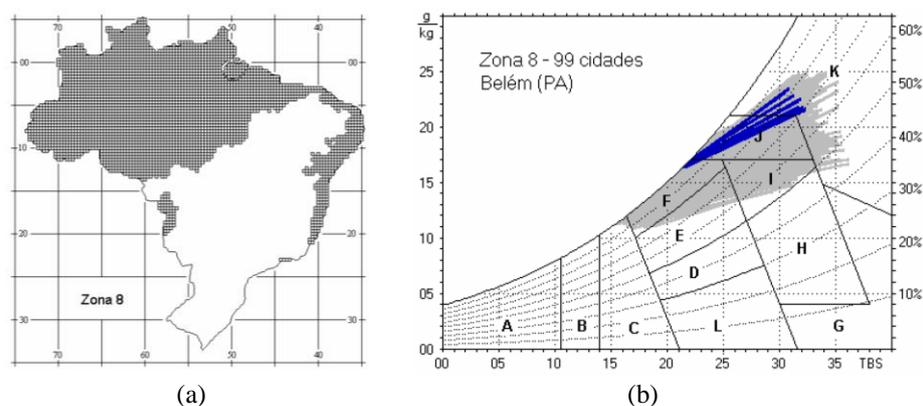
(continua)

3	Verão	J) Ventilação cruzada	-
	Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	-
4	Verão	J) Ventilação cruzada	-
	Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento	-
5	Verão	J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	-
	Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	-
6	Verão	J) Ventilação cruzada	-
	Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento	-
7	Verão	J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	-
	Inverno	J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	-
8	Verão	-	-
	Inverno	-	-
8	Verão	J) Ventilação cruzada permanente	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Para a Zona Bioclimática 8, por exemplo, são recomendadas diretrizes de acordo com os dados da carta bioclimática apresentada na Figura 11. A estratégia indicada, de acordo com a Norma, é o uso de ventilação cruzada permanente, para isto, determina o uso de grandes aberturas (com área equivalente ou superior a 40% da área do piso) e recomenda que sejam sombreadas, além de especificar que as paredes e coberturas devem ser leves refletoras.

**Figura 11** – Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA.



Fonte: ABNT, 2005.

A Figura 11 apresenta resultados referentes à plotagem dos dados climáticos da cidade de Belém-PA, que representa as demais 99 cidades que compõem a Zona 8, e, como pôde-se

perceber na Figura 10, a Zona Bioclimática 8 ocupa grande parte do território nacional, sendo a maior entre as zonas bioclimáticas brasileiras. Tomando-se apenas o Estado de Alagoas para observação climática, percebe-se a existência de 5 climas diferentes: úmido, semiárido, subúmido seco, subúmido úmido e árido (ALAGOAS, 2019). Deste modo, percebe-se uma fragilidade na precisão deste zoneamento, que tem levado pesquisadores a defender sua revisão (AMORIM; CARLO, 2017).

Com o crescente número de pesquisas desenvolvidas no âmbito do desempenho térmico de edificações, diversos trabalhos (LOURENÇO *et al*, 2018; AMORIM; CARLO, 2017; FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017; BOGO, 2016; MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012) evidenciam problemáticas no Zoneamento Bioclimático Brasileiro e sua necessidade de revisão.

### 2.3.2. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho

A NBR 15575 é voltada às edificações habitacionais<sup>8</sup>, estabelecendo requisitos e critérios para garantir um desempenho satisfatório. É um documento abrangente, apresentando diretrizes para avaliação de segurança contra incêndio e no uso e operação, estanqueidade, durabilidade, manutenibilidade, saúde, higiene, qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, além dos desempenhos estrutural, térmico, acústico e lumínico. Ela é dividida em seis partes, de acordo com os sistemas construtivos (estruturais, de pisos, de vedações verticais, de coberturas e hidrossanitários) (ABNT, 2013).

No que se refere ao desempenho térmico, os requisitos estabelecidos pela norma são baseados no Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecidos pela NBR 15.220 (ABNT, 2005). Assim, os procedimentos apresentados para avaliar a adequação da edificação são: simplificado (normativo), que consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas; medição (informativo), que constitui-se na confirmação do atendimento aos requisitos critérios por meio de medições em edificações ou protótipos construídos; simulação computacional, que se dá pela investigação do atendimento aos requisitos e critérios por meio de simulação computacional, com utilização de informações geográficas e dados climáticos locais (ABNT, 2013; FERREIRA, 2019).

Como requisito para o desempenho no verão, a Norma solicita que a edificação

---

<sup>8</sup> Assim como a NBR 15220 (ABNT, 2005), a NBR 15575 (ABNT, 2013), apesar de indicada para edificações habitacionais, é utilizada neste trabalho na avaliação de uma edificação institucional pela falta de outra normatização vigente destinada a esta tipologia projetual.

proporcione, no interior, condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, com nível de aceitação mínimo (M). Para o inverno, pede que apresente condições térmicas internas melhores que as externas, para algumas zonas, como mostra o Quadro 9 (ABNT, 2013), por meio da qual pode-se perceber que, para as zonas 6, 7 e 8, a avaliação não é necessária no inverno.

**Quadro 9** – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno.

Condição	Nível de desempenho	Critério	
Verão	M	<b>Zonas 1 a 7</b>	<b>Zona 8</b>
		$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$ <sup>9</sup>	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
Inverno	M	<b>Zonas 1 a 5</b>	<b>Zonas 6 a 8</b>
		$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3 \text{ } ^\circ\text{C})$	Este critério não pode ser verificado

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

Quanto ao desempenho térmico de vedações verticais externas, a norma (parte 4) requer que a edificação avaliada apresente transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho mínimo estabelecido para cada zona bioclimática, conforme indicados no Quadro 10.

**Quadro 10** – Transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas.

Propriedade	Zonas		
Transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )	<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3 a 8</b>	
	$U \leq 2,5$	$\alpha^{10} \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha > 0,6$ $U \leq 2,5$
Capacidade térmica ( $\text{kJ}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )	<b>Zonas 1 a 7</b>	<b>Zona 8</b>	
	$U \geq 130$	Sem requisito	

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

Quanto às aberturas, a norma estabelece que devem apresentar dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes de permanência prolongada, seguindo os critérios do Quadro 11.

**Quadro 11** – Área mínima de ventilação em ambientes de permanência prolongada.

Nível de desempenho	Zonas	
Mínimo	<b>Zonas 1 a 7</b> <b>Aberturas médias</b>	<b>Zona 8</b> <b>Aberturas grandes</b>
	$A \geq 7 \%$ da área de piso	$A \geq 12 \%$ da área de piso – região norte do Brasil $A \geq 8 \%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil

Fonte: ABNT, 2013.

Em relação ao desempenho térmico da cobertura, a norma (parte 4) enfatiza como

<sup>9</sup>  $T_{i,mín.}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  $T_{e,mín.}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

<sup>10</sup>  $\alpha$  é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

critérios a transmitância térmica e absorvância à radiação solar (Quadro 12), que devem proporcionar um desempenho térmico apropriado de acordo com a zona bioclimática.

**Quadro 12** – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.

Zonas				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha^{11} \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,30 \text{ FT}^{12}$	$U \leq 1,5 \text{ FT}$

Fonte: ABNT, 2013.

A importância da Norma é fortalecida com resultados de pesquisas como a de Costa (2011), que simulou 4 modelos de habitações nas cidades de Belém-PA, Fortaleza-CE, Maceió-AL, Salvador-BA e Rio de Janeiro-RJ, e, na maioria dos casos, a aplicação das diretrizes das normas resultou na redução das temperaturas internas do ar.

### 2.3.3. ASHRAE Standard 55

Para quantificar os níveis de conforto térmico, os modelos existentes analisam diversas variáveis ambientais e pessoais. A norma ASHRAE<sup>13</sup> *Standard 55: Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2017), publicada pela primeira vez em 1966, passou a adotar, em 2004, uma metodologia de análise chamada modelo adaptativo, e propõe uma avaliação do desempenho térmico em edifícios ventilados naturalmente (SILVEIRA, 2014). De acordo com Nicol e Humphreys (2002), o princípio da abordagem adaptativa baseia-se no fato de que quando uma mudança no ambiente produz desconforto, os indivíduos que lá estiverem, reagirão para recuperar sua condição de conforto devido à sua tendência natural de se adaptar às mudanças térmicas, restabelecendo a situação de conforto através de ações de adaptação. No contexto das pesquisas que abordam ambientes naturalmente ventilados, a abordagem adaptativa é a mais aceita e difundida para avaliar o desempenho térmico de edificações.

Segundo Silveira (2014), o método adaptativo utiliza a temperatura operativa como principal fator indicativo de conforto. “A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro hipotético, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real” (LAMBERTS *et al*, 2016a).

O método adaptativo relaciona a faixa de temperatura de conforto à ocorrência de temperaturas predominantes externas e, assim, possibilita a comparação entre edificações de

<sup>11</sup>  $\alpha$  é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura.

<sup>12</sup> FT é o fator de correção da transmitância e é estabelecido na NBR 15220-3 (ABNT, 2013).

<sup>13</sup> *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)

climas distintos.

Para ser posta em prática, a ASHRAE 55 restringe o edifício a seguir os seguintes critérios, além de ser naturalmente ventilado (SILVEIRA, 2014):

- Não possuir sistema mecânico de climatização, e sistemas de aquecimento não devem estar em funcionamento durante a análise;
- As atividades metabólicas desenvolvidas pelos ocupantes devem variar entre 1,0 met e 1,3 met;
- Os ocupantes devem ter a oportunidade de alterar a vestimenta segundo as variações térmicas internas e externas, em razão maior do que 0,5 clo;
- A temperatura predominante externa deve ser maior do que 10°C e menor do que 33,5°C;
- A edificação deve possuir aberturas para o exterior que possam ser manipuladas pelos usuários para regular as condições térmicas no interior dos ambientes.

Ainda para Silveira (2014):

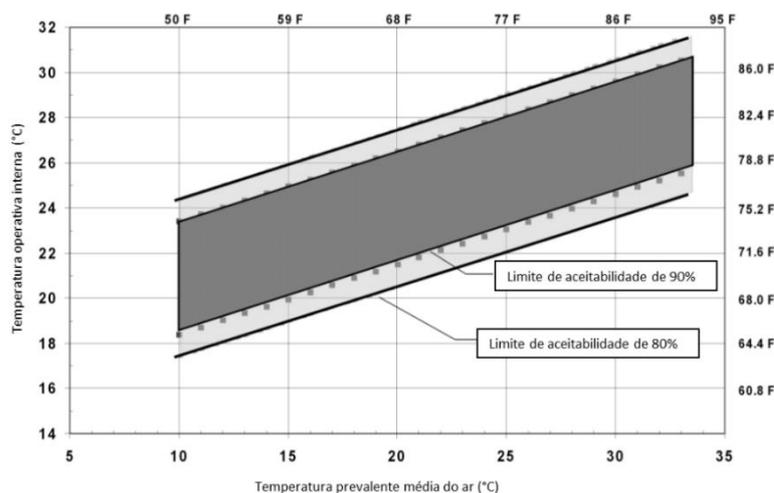
A norma define intervalos de condições térmicas aceitáveis para 80% e 90% dos ocupantes, determinando a utilização de intervalo de conforto para 80% dos ocupantes satisfeitos com a análise para casos típicos. Os limites para 90% de aceitação devem ser utilizados quando se pretende obter níveis superiores de conforto para a edificação. Os intervalos, ou zonas de conforto, são definidos com base na ocorrência de temperaturas operativas internas em relação às temperaturas externas, derivados da equação de conforto para edifícios naturalmente ventilados (SILVEIRA, 2014, p. 26).

Ao aplicar os procedimentos<sup>14</sup> da norma, tem-se como resultado o Gráfico da Zona de Conforto (Figura 12), onde são apresentados os limites de aceitabilidade inferior e superior (baseados nas temperaturas externas) e a temperatura operativa do ambiente interno.

---

<sup>14</sup> Estes procedimentos serão apresentados no Capítulo 3, junto aos demais métodos utilizados no trabalho.

**Figura 12** – Níveis de aceitabilidade da temperatura operativa em ambientes naturalmente ventilados.



Fonte: Adaptado de ASHRAE (2017).

## 2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Com base nos assuntos discutidos neste capítulo, compreende-se que o ambiente escolar tem fundamental importância na formação e desenvolvimento humano, devendo ser projetado em função dos diversos aspectos responsáveis pela qualidade do projeto, já que a educação, no Brasil, é um direito da população e deve ser proporcionada a todos.

Neste sentido, a padronização projetual surge como política pública de apoio para acelerar a diminuição dos déficits destas edificações. No entanto, a inflexibilidade de tais projetos torna questionável a qualidade da edificação quanto a diversos fatores, como é o caso do desempenho térmico, cujas decisões projetuais frente ao clima local e às condições de uso da edificação podem comprometê-lo.

Algumas normas apontam diretrizes a serem seguidas por projetistas no intuito de proporcionar melhor desempenho térmico em seus projetos, bem como para monitorar o de obras finalizadas ou quantificar os níveis de aceitabilidade quanto ao conforto térmico do usuário nestes ambientes.

Deste modo, fica-se aos responsáveis por estas instituições, o desafio de conciliar a padronização destes projetos com as necessidades climáticas, dos usuários e da temática projetual.

## PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos deste estudo, o método foi desenvolvido com base na revisão bibliográfica sintetizada no capítulo anterior, que abordou arquitetura escolar e desempenho térmico quanto aos aspectos pertinentes à avaliação do objeto em questão: creche de projeto padrão do programa Proinfância.

A primeira etapa consistiu na caracterização climática da cidade de Arapiraca-AL, onde está inserido o edifício. Nela, foram abordadas as características das variáveis climáticas locais, bem como as estratégias bioclimáticas indicadas para a região. Após este procedimento, foi realizada a segunda etapa, que consistiu na caracterização do objeto de estudo, segunda etapa, onde foram descritos: o projeto; os critérios de escolha do edifício a ser analisado; e suas características em meio ao clima local e forma como foi inserido.

Definido e caracterizado o objeto de estudo, deu-se seguimento à terceira etapa: avaliação qualitativa do desempenho térmico da edificação, que compreendeu os aspectos avaliativos definidos por normativas nacionais em vigor.

Em seguida, na quarta etapa, foi quantificado o desempenho térmico da edificação por meio do monitoramento climático desta (avaliação quantitativa). Neste item, são expostos os métodos utilizados para a realização do monitoramento e interpretação dos dados.

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE ARAPIRACA

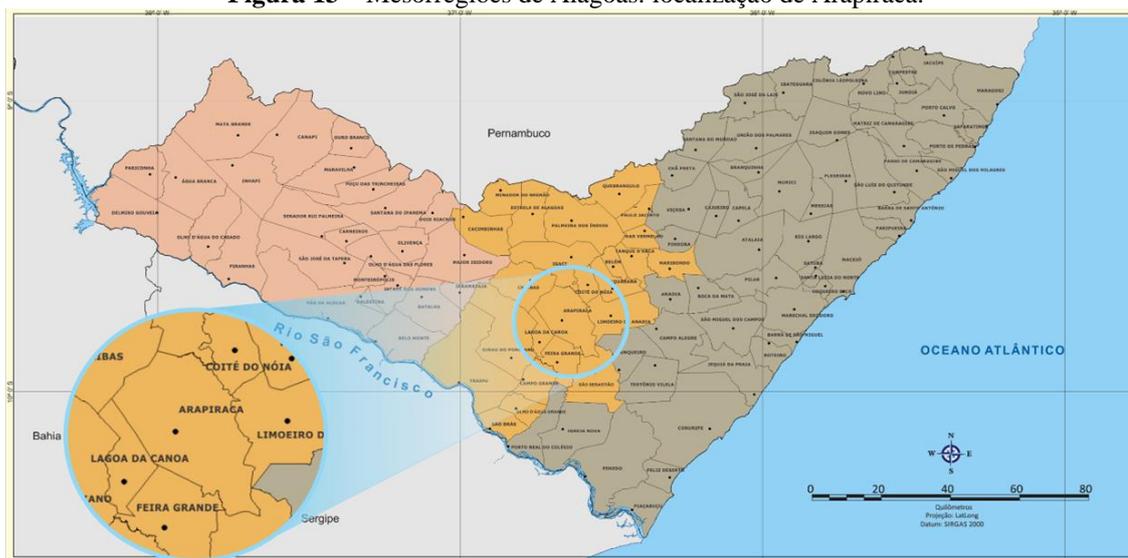
Para compreender o desempenho térmico de uma edificação é importante conhecer, além dos materiais construtivos empregados na construção e os limites de uso e ocupação do solo, as características climáticas do local onde está inserida.

A cidade de Arapiraca, onde está implantado o objeto de estudo deste trabalho, localiza-se na mesorregião Agreste do Estado de Alagoas (Figura 13), na latitude 9°75'25" Sul e longitude 36°60'11" Oeste. Ocupa uma área territorial de 345,655 km<sup>2</sup> com população de 214.006<sup>15</sup> habitantes e densidade demográfica de 600,83 hab./km<sup>2</sup>, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2010).

---

<sup>15</sup> De acordo com IBGE (2019), estima-se que a população atual seja de 231.747 pessoas.

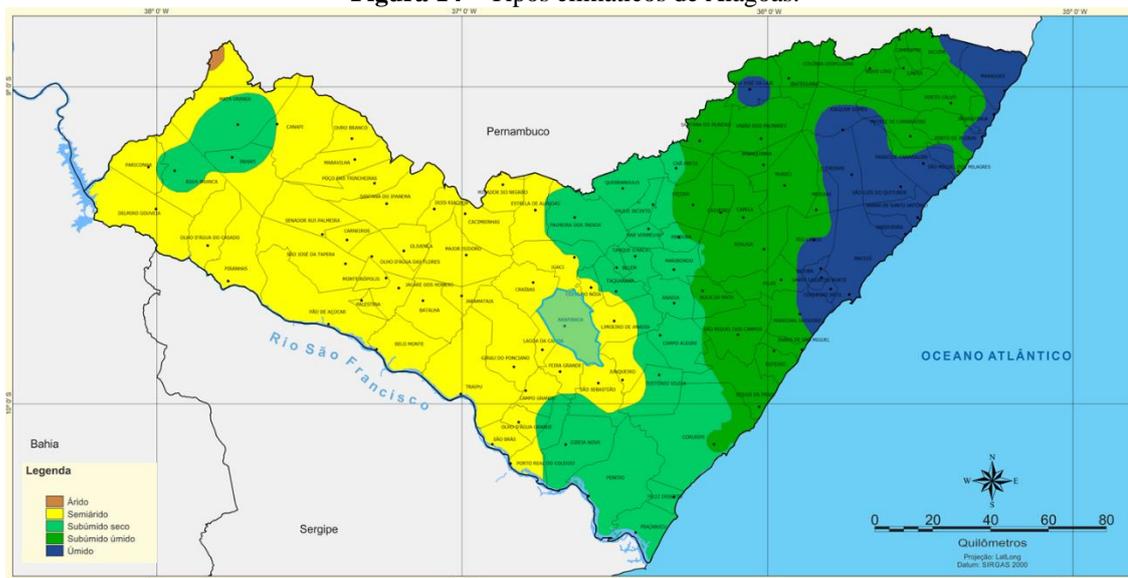
**Figura 13** – Mesorregiões de Alagoas: localização de Arapiraca.



Fonte: Adaptado de Alagoas em Dados e Informações<sup>16</sup>.

O clima de Arapiraca é caracterizado como semiárido (Figura 14). O IBGE define o Semiárido brasileiro como a região delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que considera condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a precipitação pluviométrica. De acordo com IBGE (2018), a hidrografia do semiárido é fragilizada pelas condições climáticas, pois torna-se insuficiente para sustentar rios que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações.

**Figura 14** – Tipos climáticos de Alagoas.



Fonte: Adaptado de Alagoas em Dados e Informações<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Disponível em: <http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/fa41069e-e0ef-430f-b161-3bf12072fb2e>. Acesso em: 14 ago. 2019.

<sup>17</sup> Disponível em: <http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/6376058d-00c9-4cb6-a8d0-149987a434ea>. Acesso em: 14 ago. 2019.

A partir da observação de particularidades no comportamento climático de Arapiraca, o Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana (GATU) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) desenvolveu pesquisas com o intuito de caracterizar o clima da cidade por meio de análises das variáveis climáticas aplicadas a métodos de pesquisa consolidados (NUNES *et al*, 2019; SILVA; NUNES; BARBOSA, 2017; NUNES; SILVA; BARBOSA, 2017; PEREIRA; BARBOSA, 2017; ROCHA; BARBOSA, 2016; TORRES *et al*, 2013).

Ao analisar o comportamento das variáveis climáticas registradas em Arapiraca por um período de 10 anos, Silva (2017) mostra que o clima do município possui basicamente duas estações definidas: quente e úmida (com temperaturas do ar menos elevadas, umidade relativa do ar alta e amplitude térmica com pequena variação entre o período noturno e diurno); e quente e seca (com temperaturas que atingem níveis relativamente altos, umidade do ar menor e amplitude térmica entre o período noturno e diurno significativamente alta). O Quadro 13 quantifica, de forma sintetizada, as características climáticas locais.

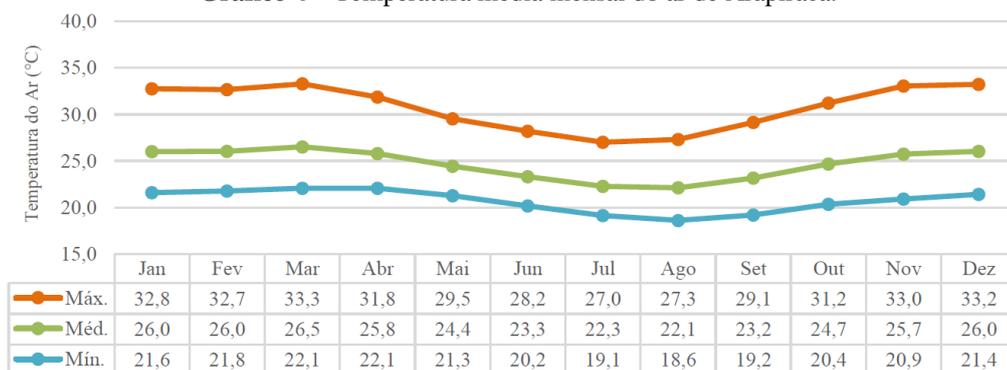
**Quadro 13**– Resumo das características climáticas de Arapiraca-AL.

Variáveis	Quente-Úmido Maio - Setembro	Quente-Seco Outubro - Abril
Temperatura	Temp. méd. geralmente <b>abaixo dos 25°C</b> , com mínimas absolutas próximas aos 17°C e máximas absolutas geralmente abaixo dos 33°C	Tem. méd. geralmente <b>acima dos 25°C</b> , com mínimas absolutas acima dos 18°C e máximas absolutas por volta de 35°C
Umidade Relativa	Umid. rel. méd. <b>próxima aos 85%</b> , com mínima absoluta por volta de 45% e máxima absoluta acima de 90% o ano inteiro.	Umid. rel. méd. <b>abaixo dos 80%</b> , com mínima absoluta geralmente abaixo de 40% podendo atingir valores menores que 20% e máxima absoluta acima de 90% o ano inteiro.
Amplitude Térmica	Ampl. geralmente <b>abaixo dos 10°C</b> , com mínima de 6,6°C e máxima de 11,9°C	Ampl. geralmente <b>acima dos 10°C</b> , com mínima por volta de 8,3°C e máxima de 13,5°C
Pluviosidade	Pluv. em média <b>acima de 100mm</b> , chegando da mínima de 2,2mm à máxima de 304,2mm	Pluv. geralmente <b>abaixo dos 100mm</b> , com mínima de 0,0mm e máxima de 226,2mm

Fonte: Silva, 2017.

Em relação à temperatura do ar, pode-se perceber, através do Gráfico 4, que no período seco são alcançadas as maiores temperaturas (de outubro a abril), sendo dezembro o mês mais quente, com máxima média de 33,2°C, enquanto no período úmido são registradas as menores temperaturas (entre maio e setembro), com o mês de agosto sendo o mais frio, apresentando temperatura mínima média de 18,6°C (SILVA, 2019).

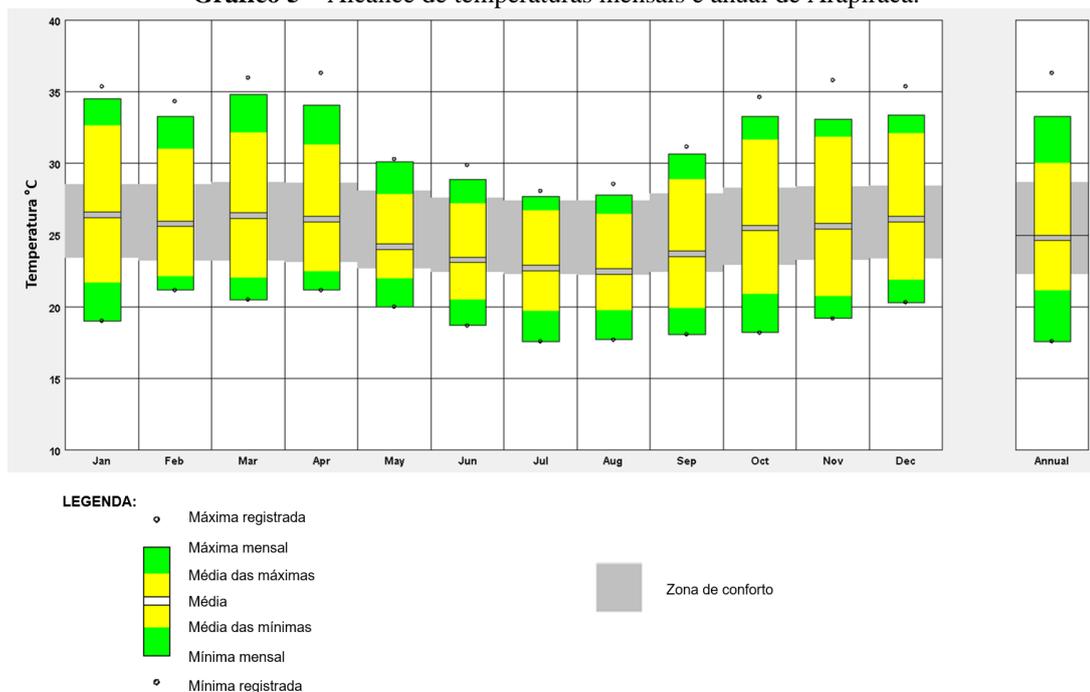
**Gráfico 4 – Temperatura média mensal do ar de Arapiraca.**



Fonte: SILVA, 2019.

Neste sentido, o Gráfico 5 mostra que todas as temperaturas máximas registradas e máximas mensais encontram-se acima do limite de conforto, bem como as mínimas registradas e mensais são inferiores ao limite, tanto no período quente e seco quanto no quente e úmido. No entanto, é perceptível que as temperaturas máximas são muito maiores que o estabelecido pelos limites de conforto, principalmente no período quente e seco, chegando a atingir aproximadamente 7°C de diferença no mês de março, enquanto as temperaturas mínimas divergem menos do limite estabelecido, sendo 3°C, aproximadamente, a maior diferença, registrada em setembro.

**Gráfico 5 – Alcance de temperaturas mensais e anual de Arapiraca.**

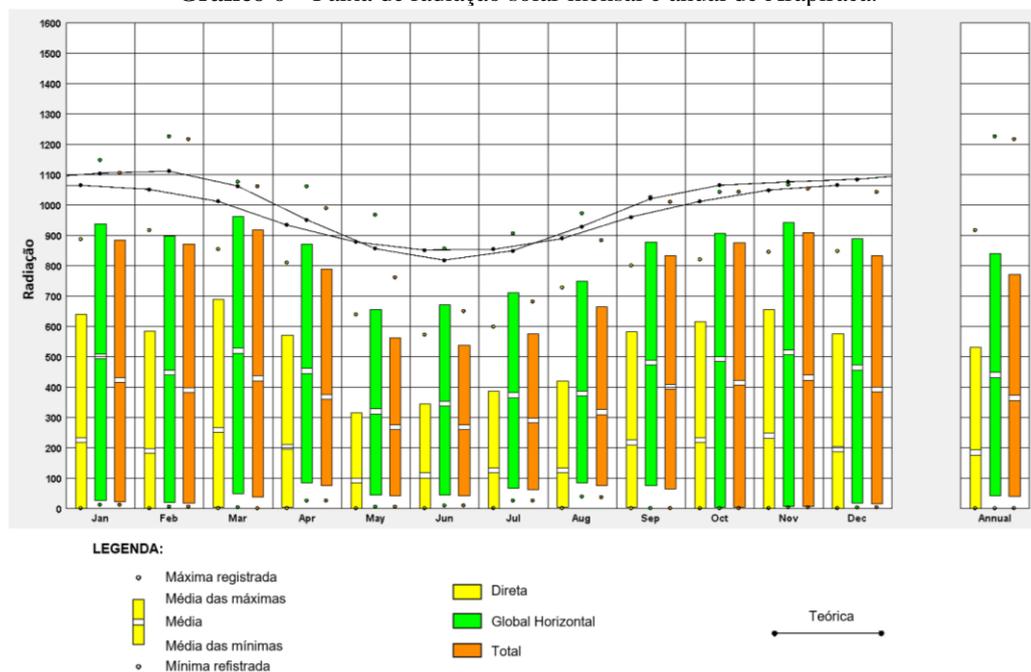


Fonte: Adaptado de *Software Climate Consultant 6.0*<sup>18</sup> (UCLA, 2020).

<sup>18</sup> Dados obtidos pelo modelo de conforto *Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010* do *Software Climate Consultant 6.0*, no qual considera-se que em espaços com ventilação natural, onde os ocupantes podem abrir e fechar janelas, sua resposta térmica dependerá, em parte, do clima externo e pode ter uma faixa de conforto mais ampla do que em edifícios com sistemas de climatização centralizados. Este modelo pressupõe que os

Quanto à incidência de radiação solar, pode-se perceber no Gráfico 6, níveis mais elevados no período seco, sendo o mês de março o que registra os maiores índices, enquanto no período úmido, estes níveis sofrem decréscimos consideráveis, principalmente da radiação direta devido à maior nebulosidade. O mês de maio apresenta os menores registros de radiação direta e global horizontal, enquanto a menor radiação total é registrada no mês posterior (junho).

**Gráfico 6** – Faixa de radiação solar mensal e anual de Arapiraca.



Fonte: Adaptado de *Software Climate Consultant 6.0* (UCLA, 2020).

A amplitude térmica, caracterizada pela diferença entre a maior e a menor temperatura do ar registrada em um determinado período, para a cidade de Arapiraca, é mostrada no Gráfico 7. Nota-se um acréscimo em seu valor a partir do mês de julho, enquanto, a partir de março, os valores decrescem (SILVA, 2017).

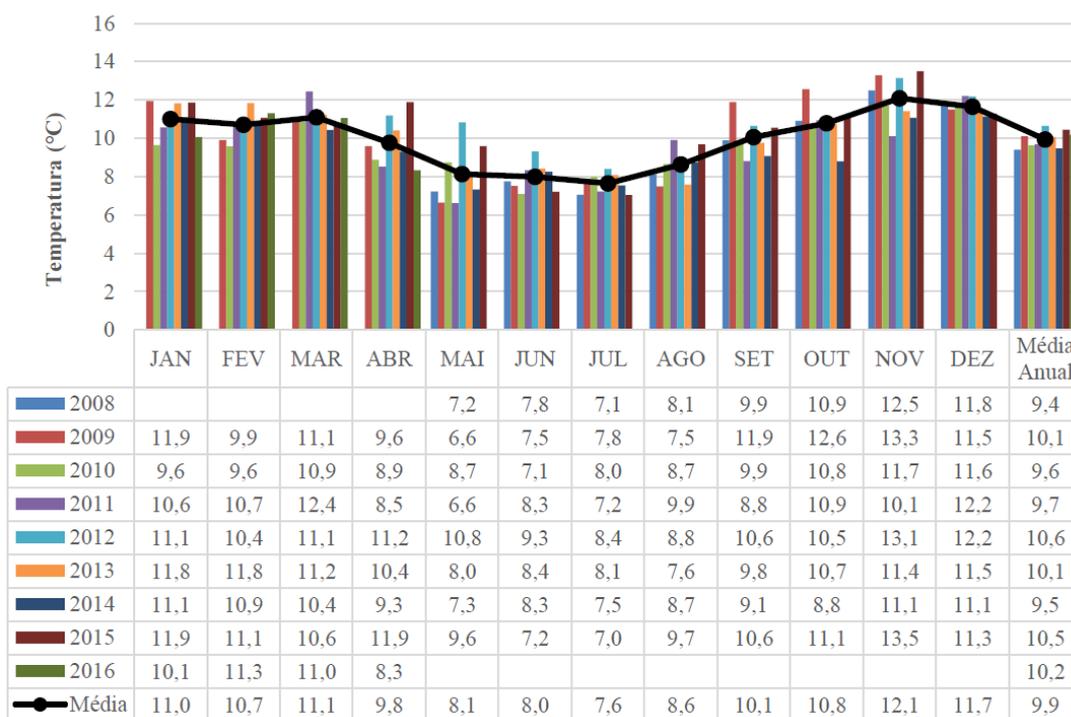
A umidade relativa do ar na cidade apresentou comportamento inversamente proporcional ao da temperatura do ar ao longo do ano. Os menores valores foram registrados durante o período quente e seco (de outubro a março), e os maiores, durante o período quente e úmido (de abril a setembro), como ilustra o Gráfico 8 (SILVA, 2019).

---

ocupantes adaptem suas roupas às condições térmicas e sejam sedentários (1,0 a 1,3 atendidos). Não deve haver sistema de refrigeração mecânica, mas esse método não se aplica se um sistema de aquecimento mecânico estiver em operação.

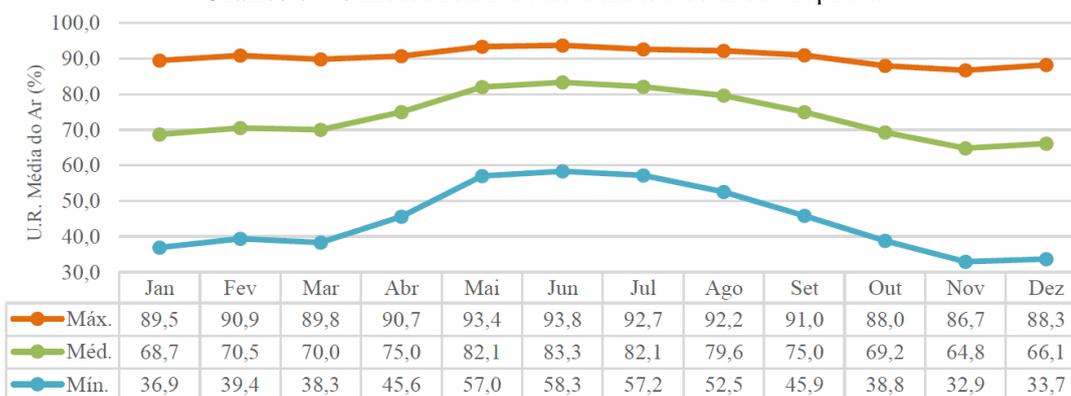
Os dados fornecidos ao programa foram obtidos por meio do arquivo climático EPW disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2016).

**Gráfico 7 – Variação da amplitude térmica de Arapiraca.**



Fonte: SILVA, 2017.

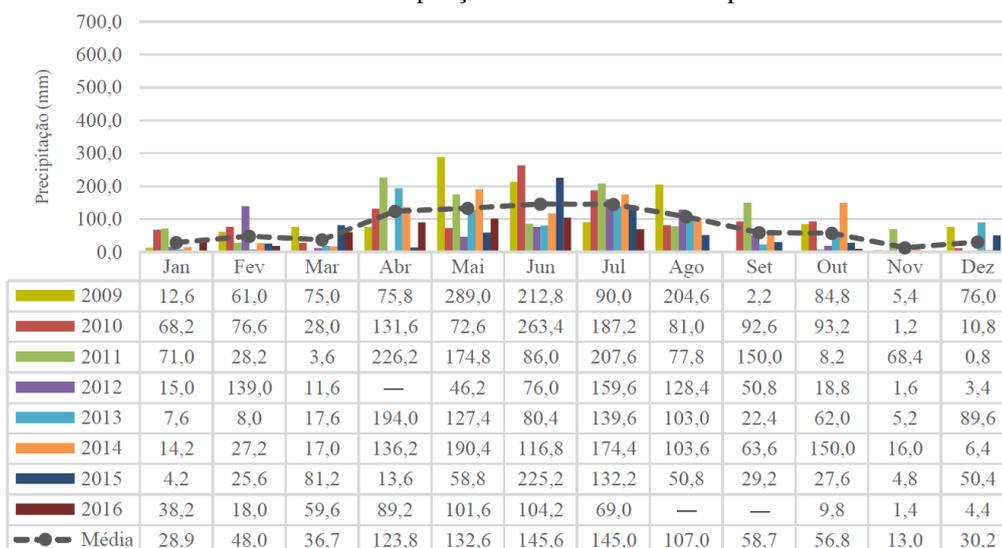
**Gráfico 8 – Umidade relativa média mensal do ar de Arapiraca.**



Fonte: SILVA, 2019.

Ao longo dos anos analisados por Silva (2019), a precipitação em Arapiraca apresentou comportamento irregular, com períodos chuvosos mais longos, como no ano de 2009 que registrou um total anual de 1189,2mm, e mais secos, como em 2015, com total anual de 703,6mm. No Gráfico 9 pode-se perceber que a ocorrência de chuvas ao longo dos meses aconteceu de maneira semelhante, de modo que o período chuvoso se inicia em meados de abril e se encerra entre agosto e setembro. Nota-se também que o período de chuvas coincide com os meses de maior umidade relativa do ar e menores temperaturas e amplitudes térmicas do ar.

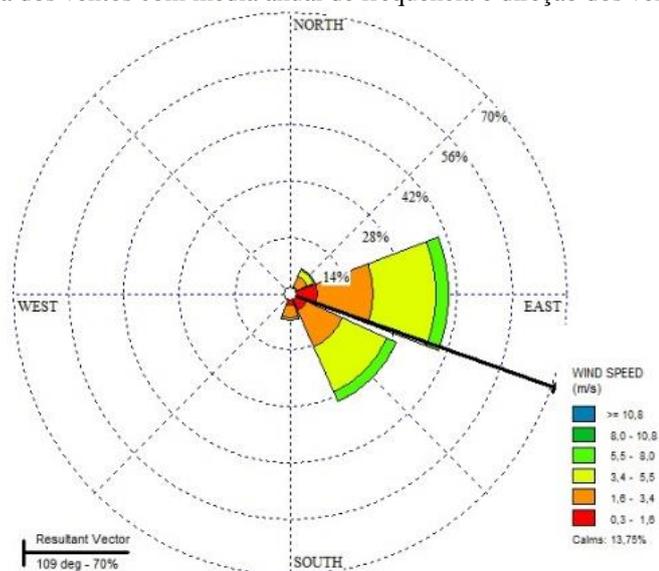
**Gráfico 9** – Precipitação média mensal de Arapiraca.



Fonte: SILVA, 2019.

A análise da ventilação da cidade de Arapiraca realizada por Nunes *et al.* (2019) mostrou que a direção predominante dos ventos é a leste, enquanto a secundária é a sudeste. A velocidade do vento que ocorre predominantemente é fraca (entre 1,6 a 3,4m/s)<sup>19</sup> e a secundária, bonançosa (entre 3,4 a 5,5m/s), porém observa-se que em 13,75% do ano a velocidade do vento é insignificante (períodos de calmaria, quando a velocidade dos ventos é inferior a 0,3m/s), como pode ser visto no Gráfico 10.

**Gráfico 10** – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Arapiraca.



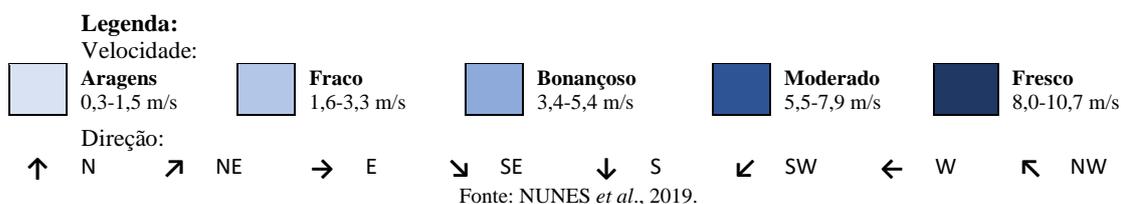
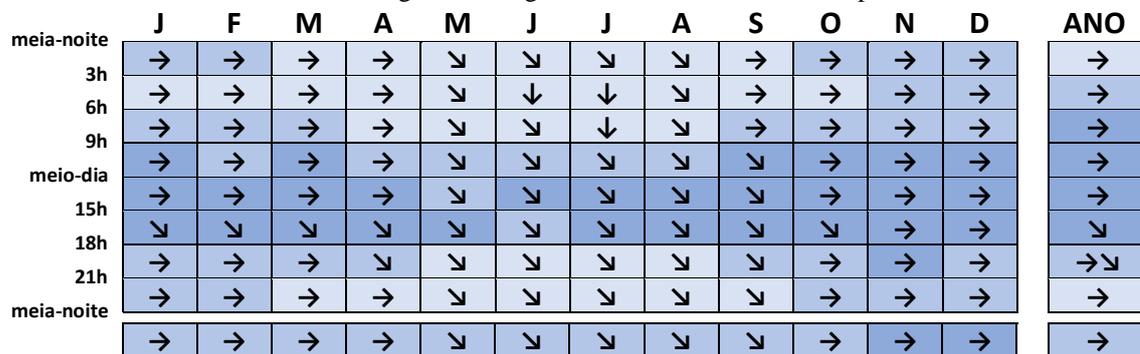
Fonte: NUNES *et al.*, 2019.

Nunes *et al.* (2019) mostra ainda que o comportamento dos ventos sofre alterações de

<sup>19</sup> Esta denominação foi baseada na Escala de Beaufort, que classifica os ventos de acordo com as velocidades de atingem.

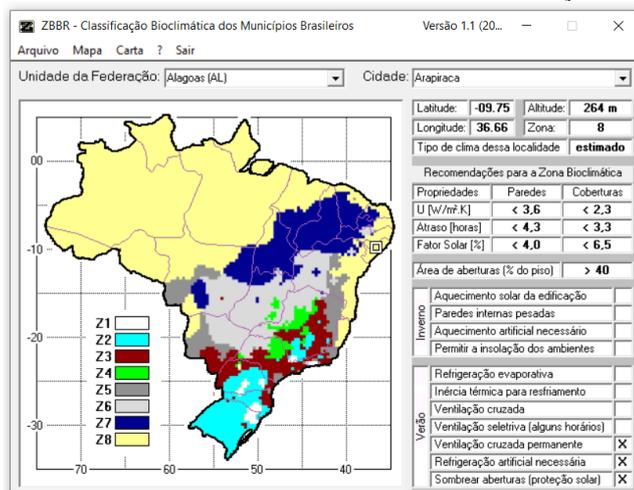
acordo com o período do dia. Entre as 15h e 18h, durante quase todo o ano, a direção predominante dos ventos foi a sudeste. Além disso, a velocidade do vento foi maior entre 9h e 18h, como mostra o Gráfico 11.

Gráfico 11 – Diagrama de regime de ventos horário em Arapiraca.



Em relação ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecido na NBR 15220/2005, Arapiraca está inserida na Zona Bioclimática 8. Sabendo-se que o mapa do zoneamento apontado na Norma não permite análises precisas devido à baixa resolução da imagem disponibilizada<sup>20</sup> (AMORIM; CARLO, 2017), a constatação de que o município está inserido nesta Zona foi feita com o auxílio do programa ZBBR – Zoneamento Bioclimático do Brasil (RORIZ, 2004), ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Zoneamento bioclimático brasileiro com marcação dos Estados.



Fonte: Roriz (2004).

<sup>20</sup> A resolução da imagem não é suficiente para definir a zona bioclimática a que pertence uma cidade ou área localizada próxima às transições de zonas.

### 3.1.1. Estratégias bioclimáticas indicadas

Sabe-se que as revisões do ZBB ainda demandam muitos estudos e análises, e não contemplam sugestões de diretrizes projetuais e bioclimáticas para as zonas propostas. Neste sentido, discute-se aqui acerca das estratégias bioclimáticas indicadas pelas normas em vigor e pelos estudos locais.

O Quadro 14 expõe as diretrizes apontadas para a Zona Bioclimática 8, onde Arapiraca está inserida. Pode-se perceber a relevância do uso da ventilação, tanto na indicação como estratégia de condicionamento térmico passivo, quanto no tamanho indicado para abertura, onde recomenda-se que ocupe uma área relativa maior que 40% da área do piso. A questão da redução da temperatura no ambiente interno também se mostra relevante, uma vez que o sombreamento das aberturas é indicado durante todo o ano e o uso de paredes e coberturas leves refletoras indica que as vedações devem combinar maior reflexão da radiação com baixo atraso térmico.

**Quadro 14** – Estratégias bioclimáticas indicadas para a Zona 8.

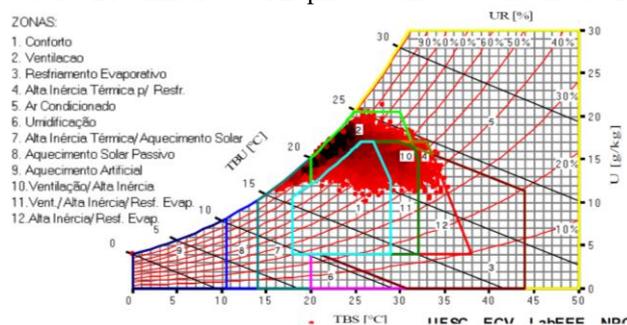
Estratégia	Indicação
<b>Aberturas para ventilação</b>	Grandes ( $A > 40\%$ )
<b>Sombreamento das aberturas</b>	Sombrear aberturas
<b>Vedações externas</b>	Parede: Leve refletora Cobertura: Leve refletora
<b>Condicionamento térmico passivo</b>	Ventilação cruzada permanente

Fonte: ABNT, 2005.

Silva (2019) também apresentam indicações de estratégias bioclimáticas para Arapiraca usando duas metodologias: Carta de Givoni e Método de Mahoney Nebuloso (MMN).

A primeira metodologia se deu pela inserção dos dados horários do Ano Climático de Referência (TRY) da cidade<sup>21</sup> no programa *Analysis BIO*, que gerou a Carta Bioclimática exibida na Figura 16, na qual são exibidas graficamente as estratégias indicadas para a cidade.

**Figura 16** – Carta Bioclimática de Arapiraca com dados do ano de 2010 (TRY).



Fonte: Silva, 2019.

<sup>21</sup> 2010: Ano Climático de Referência (TRY) segundo a metodologia adotada por Silva (2019).

O programa também gerou um relatório onde pode-se obter os períodos e as frequências em que cada estratégia é recomendada, como mostra a Tabela 5. A cidade se encontra em situação de conforto térmico em 17,7% do ano apenas, enquanto nos outros 82,3% do período, ocorre desconforto gerado por frio em 6,2% o ano e por calor em 76,1% (SILVA, 2019).

**Tabela 5** – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Arapiraca-AL.

Estratégia	Período					Ano	
	Primavera	Verão	Outono	Inverno			
<b>Conforto</b>	21,6%	12,2%	7,02%	30,2%	<b>17,7%</b>		
<b>Desconforto</b>	Calor	Sombreamento	96,3%	100,0%	99,6%	79,3%	<b>93,8%</b>
		Ventilação	71,5%	81,1%	91,1%	49,1%	<b>73,2%</b>
	Alta Inércia p/ Resfriamento	Alta Inércia p/ Resfriamento	24,5%	29,4%	14,8%	0,2%	<b>17,1%</b>
		Resfriamento Evaporativo	24,4%	28,6%	13,9%	0,2%	<b>16,7%</b>
		Ar Condicionado	0,0%	0,3%	0,4%	0,0%	<b>0,2%</b>
	Frio	Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar	3,6%	0,0%	0,3%	20,7%	<b>6,2%</b>

Fonte: Silva, 2019.

A segunda metodologia (Método de Mahoney Nebuloso), analisou: (a) os dados climáticos e seus graus de pertinência à classificação adotada; (b) a classificação de rigor térmico diurno e noturno; e (c) a inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos. Os resultados estão expostos no Quadro 15, onde 1,00 indica que há pertinência no uso da estratégia.

**Quadro 15** – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do Método de Mahoney Nebuloso para Arapiraca-AL.

Pertinência		Recomendação
<b>Traçado</b>		
1,00	<b>R1</b>	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	<b>R2</b>	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
<b>Espaçamento</b>		
0,00	<b>R3</b>	Espaço aberto para penetração de brisa
1,00	<b>R4</b>	Espaço aberto com proteção contra o vento frio/quente
0,00	<b>R5</b>	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
<b>Movimento do ar</b>		
1,00	<b>R6</b>	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	<b>R7</b>	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	<b>R8</b>	Não é necessário o movimento do ar
<b>Aberturas</b>		
0,00	<b>R9</b>	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	<b>R10</b>	Aberturas muito pequenas, 10-20%
1,00	<b>R11</b>	Aberturas medianas, 20-40%
<b>Paredes</b>		
0,00	<b>R12</b>	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
1,00	<b>R13</b>	Paredes pesadas; interiores e exteriores
<b>Coberturas</b>		
1,00	<b>R14</b>	Coberturas isoladas leves
0,00	<b>R15</b>	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
<b>Espaço para dormir ao ar livre</b>		
1,00	<b>R16</b>	Espaço necessário para dormir ao ar livre
<b>Proteção contra chuvas pesadas</b>		
0,32	<b>R17</b>	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Silva, 2019.

A ventilação cruzada também aparece entre as mais indicadas nas três diretrizes, sendo fundamental para as trocas de ar entre o edifício e o ambiente. No entanto, é necessário analisar o tipo de abertura a ser utilizada<sup>22</sup>, pois alguns períodos tornam o movimento do ar indesejável por causar ganhos térmicos por convecção, isto acontece quando a temperatura do ar excede 32°C (GIVONI, 1998). Torres (2017) acrescenta, ainda, que para que haja uma boa distribuição do movimento do ar, os espaços livres que cercam as edificações devem ser amplos, principalmente em relação aos ventos predominantes locais.

Silva (2019) ressalta que, embora o método de Givoni seja o único a requerer o uso do resfriamento evaporativo como opção de estratégia, alguns meses do ano são categorizados como secos pelo Método de Mahoney Nebuloso, o que indica a necessidade de incremento de umidade no ar. Segundo Torres (2017), esta incrementação auxilia na redução da temperatura do ar e pode ser feita através da evaporação da água ou da evapotranspiração de superfícies vegetadas.

Por fim, vale ressaltar que as demais estratégias indicadas, como sombreamento e alta inércia térmica, são válidas e passíveis de análise e aplicação, uma vez que foram obtidas por meio de métodos conceituados e que contam com a análise dos condicionantes climáticos locais, uma vez que faz-se necessário ponderar seus usos para atingir um equilíbrio ao longo das diferentes estações, pois, embora recomendada, uma estratégia benéfica numa estação do ano pode prejudicar o desempenho térmico da edificação em outra. É importante ponderar, também, que a pertinência do uso de cada estratégia deve ser analisada em relação ao edifício, com base na orientação das fachadas, seu entorno, entre outros aspectos como limitações orçamentárias e pertinência à realidade cultural local.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Nesta seção, o objeto de estudo é caracterizado em três etapas, iniciando por uma descrição da tipologia projetual escolhida (Centro de Educação Infantil – Projeto Tipo B do Proinfância), seguida pelos critérios que levaram à escolha do objeto a ser estudado em meio ao cenário local, e finalizada com as características deste.

Ressalta-se que, mesmo tratando-se de um edifício construído por meio de projeto padrão, seu comportamento térmico será variável em meio ao clima local e à orientação a qual está posicionado.

---

<sup>22</sup> É aconselhável o uso de esquadrias que permitam o controle da penetração dos ventos.

### 3.2.1. Descrição do Projeto Tipo B

O Projeto Padrão Tipo B do Proinfância, tem capacidade para atender até 224 crianças, em dois turnos (matutino e vespertino), e 112 crianças em período integral (MVC, 2015<sup>23</sup>). Este tipo de instituição, de educação infantil, é destinado a crianças na faixa etária de 0 a 5 anos e 11 meses, distribuídos da seguinte forma:

- Creche I – 0 até 18 meses
- Creche II – 18 meses até 3 anos
- Creche III – 3 anos até 4 anos
- Pré-escola – para crianças de 4 até 5 anos e 11 meses

Os ambientes que compõem o programa de necessidades do projeto estão setorizados por blocos, como mostram a Figura 17 e a Tabela 6. Além disto, o projeto possui um pátio coberto – com função de integrar as atividades realizadas pelas crianças das diversas faixas etárias, onde se localiza o refeitório, próximo ao buffet –, um pátio descoberto, e uma área para playground.

Figura 17 – Setorização e distribuição dos ambientes no projeto Tipo B.



<sup>23</sup> Ano estimado. O documento não informa o ano de publicação.

**Tabela 6** – Descrição dos ambientes do Projeto Padrão Tipo B.

Número	Ambiente	Número	Ambiente	Número	Ambiente
1	Hall	14	Vestiário	27	S.I. (rack)
2	Recepção	15	DML	28	Telefone
3	Secretaria	16	Lavanderia	29	Elétrica
4	Diretoria	17	Rouparia	30	Solário
5	Circulação	18	Repouso	31	Castelo D'água
6	Sala de Professores	19	Fraldário	32	Área de Serviço
7	Almoxarifado	20	Alimentação	33	Playground
8	Banheiro	21	Creche I	34	Passarela
9	Estacionamento	22	Creche II	35	Pátio Descoberto
10	Buffet	23	Creche III	36	Pátio Coberto
11	Lactário	24	Pré-Escola	37	Jardim
12	Cozinha	25	Sala Multiuso	38	Central GLP
13	Despensa	26	Banheiro para PNE		

Fonte: Adaptado de MVC, 2015.

As edificações utilizam o sistema construtivo *Wall System*, que, de acordo com a construtora responsável, apresenta vantagens em relação ao convencional: maior velocidade na construção; insumos de produção de origem nacional; processo de produção industrializado e automatizado; possibilidade de utilização de mão de obra da região para a montagem dos painéis; tecnologia inovadora no mercado brasileiro; desempenho comprovado, cuja fonte não especifica qual o tipo; alta durabilidade, proporcionando redução de patologias custos de manutenção; baixa necessidade de manutenção; prazos de garantia superiores às construções convencionais (MVC, 2015).

Por tratar-se de um sistema não convencional, os demais elementos construtivos utilizados são, também, diferenciados para adaptar-se ao modelo. Os principais elementos aplicados às construções desta tipologia estão sintetizados no Quadro 43, do ANEXO A.

A Figura 18 exhibe as fachadas do projeto Tipo B. Nela, pode-se perceber que, quanto às cores aplicadas, o projeto conta com detalhes nas cores primárias: amarelo, azul e vermelho. No entanto, a maior parte das vedações é pintada na cor bege.

**Figura 18** – Fachadas do projeto Tipo B.**Fachada Frontal**

(continua)

Fachada Posterior



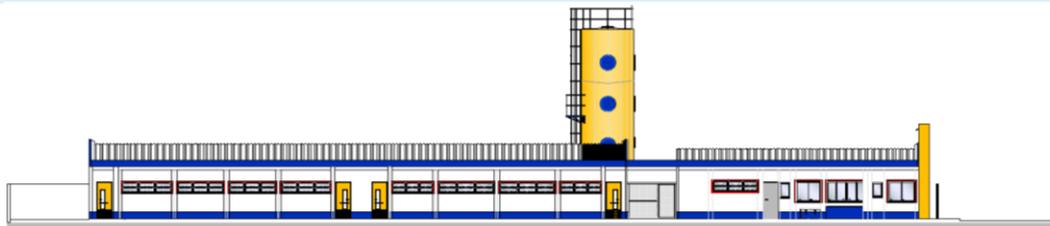
Fachada Lateral Direita Externa



Fachada Lateral Esquerda Externa



Fachada Lateral Direita Interna



Fachada Lateral Esquerda Interna



Fonte: Adaptado de MVC, 2015.

### 3.2.2. Escolha do objeto de estudo

Para viabilizar a escolha do objeto de estudo, foi consultado o Sistema Integrado de Monitoramento, Execução e Controle (SIMEC), que disponibiliza informações das obras executadas pelo FNDE. Através dele, pôde-se verificar as edificações das Metodologias Inovadoras executadas no município de Arapiraca, e a condição em que se encontram<sup>24</sup>. As informações dos Centros de Educação Infantil (CEI) do Proinfância pelas MI que constam no

<sup>24</sup> As Metodologias Inovadoras geraram graves problemas para prefeitos, pois, a atraente oferta recebida do FNDE pelos municípios – licitação pronta, com o dinheiro disponível, cabendo ao gestor municipal apenas viabilizar o terreno para a construtora, que entregaria a obra 8 meses após seu início – não correspondeu aos resultados esperados, uma vez que a construtora abandonou as obras (MATOS, 2018).

SIMEC para a cidade se Arapiraca estão sintetizadas no Quadro 16.

**Quadro 16** – Centros de Educação Infantil do Proinfância construídos através das Metodologias Inovadoras, na cidade de Arapiraca-AL.

Bairro	Situação Atual	Inserção Urbana
<b>Planalto</b>	Concluída	
<b>João Paulo II</b>	Cancelada	Obra cancelada antes do início da execução.
<b>Verdes Campos</b>	82,04% Executada	
<b>Canafístula</b>	88,12% Executada	

Fonte: Adaptado de Google Maps<sup>25</sup> e MEC<sup>26</sup>, 2019.

Diante dos dados expostos, optou-se pelo uso do CEI do bairro Planalto, denominado Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto, uma vez que é o único concluído e em funcionamento dentre os existentes no município no período de início desta pesquisa.

<sup>25</sup> Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 10 jan. 2019.

<sup>26</sup> Disponível em: <http://simec.mec.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2019.

### 3.2.3. Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto

O Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto está localizado no bairro Planalto, pertencente à zona urbana do município de Arapiraca – Alagoas. A Figura 19 expõe registros deste CEI.

**Figura 19** - Centro de Educação Infantil Professora Berenice Miranda Neto.



Fonte: Autora, 2019.

Foi instalado em um terreno de propriedade da Prefeitura Municipal de Arapiraca, onde ocupa aproximadamente 50% da área disponível e a área restante encontra-se sem ocupação edificada. Como mostra a Figura 20, a edificação possui três fachadas voltadas para a rua – fachada frontal para a Rua Professora Claudenice Oliveira Pimentel, fachada lateral esquerda para a Rua Anadia e fachada posterior para a Avenida Ibatiguara – e uma (lateral direita) para o terreno supracitado.

Quanto ao funcionamento do CEI, sabe-se que acomoda 179 alunos, sendo 89 em período integral (creche) e 90 em período parcial (pré-escola: duas turmas de 45 alunos), acompanhados por 10 professores. As atividades desenvolvidas no CEI são realizadas conforme o Quadro 17.

Conhecer as atividades realizadas e seus respectivos horários fez-se necessário para compreender a dinâmica do objeto de estudo, bem como definir os horários em que o bom desempenho térmico dos ambientes se faz mais importante e, posteriormente, os horários para o monitoramento climático da edificação.

**Figura 20** – Implantação da edificação no terreno e sua situação no contexto do tecido urbano do bairro Planalto, de Arapiraca-AL.



Fonte: Adaptada de Google Earth, 2019.

**Quadro 17** – Horários das atividades de funcionamento do CEI.

Creche		Pré-escola	
Horário	Atividade	Horário	Atividade
8:00	Café da manhã	8:00	Café da manhã
8:30	Atividade recreativa	8:30	Atividade recreativa
9:30	Lanche	9:30	Lanche
10:00	Banho	10:30	Atividade recreativa
10:30	Atividade recreativa	11:00	Almoço
11:30	Almoço	11:30	Saída
12:00	Descanso	13:00	Entrada
14:00	Lanche	14:00	Lanche
14:30	Atividade recreativa	15:15	Intervalo
15:15	Banho	15:40	Retorno do intervalo
16:00	Jantar	16:00	Jantar
16:45 <sup>27</sup>	Saída	16:45	Saída

Fonte: Autora, 2019<sup>28</sup>.

Da mesma maneira, a caracterização deste objeto foi necessária para apoiar a análise projetual realizada, de modo que a verificação da implantação do terreno foi relevante para analisar a atuação dos condicionantes climáticos no edifício, e entender o que o projeto propõe foi importante para averiguar se o edifício em questão atende ao que foi anunciado.

<sup>27</sup> O horário oficial de saída é 17:00, porém, o CEI encontra-se em uma área de risco (violência urbana) e as crianças começam a ser liberadas 15 minutos mais cedo.

<sup>28</sup> Dados obtidos em conversa com a Coordenadora do CEI.

### 3.3. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DO OBJETO DE ESTUDO

Esta avaliação foi realizada com base nas diretrizes construtivas estabelecidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), e pela NBR 15575 (ABNT, 2013)<sup>29</sup>. Para verificar se em uma edificação as diretrizes encontram-se de acordo com as pré-estabelecidas para a zona bioclimática 8<sup>30</sup>, fazem-se necessárias análises das variáveis projetuais designadas: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas; e estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005; ABNT, 2013).

#### 3.3.1. Diagnóstico do tamanho das aberturas para ventilação

No quesito referente à ventilação natural, a NBR 15220 estabelece, para cada zona bioclimática, uma porcentagem mínima de área efetiva das aberturas de um ambiente em relação à área do piso. Os tamanhos das aberturas são classificados em pequenas, médias e grandes e variam de acordo com a faixa de porcentagem de abertura, como pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7** - Aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso) NBR 15.220/2005	A (em % da área de piso) NBR 15.575/2013
Pequenas	10% < A < 15%	A ≥ 8 %
Médias	15% < A < 25%	
Grandes	A > 40%	

Fonte: ABNT, 2005 e ABNT, 2013.

Vale ressaltar que, para os padrões normativos brasileiros, a abordagem da ventilação natural em ambientes edificados está mais relacionada aos aspectos sanitários e de higiene deste do que aos de conforto térmico do usuário, uma vez que a circulação de ar e as trocas com o meio externo, promovem a dissipação de poeiras e outros poluentes do ambiente.

Para conhecer a porcentagem equivalente das aberturas dos ambientes estudados, foram

<sup>29</sup> Como mencionado anteriormente, estas normas foram elaboradas para avaliar o desempenho térmico de edificações habitacionais. Entretanto, neste trabalho, são aplicadas à avaliação de um edifício institucional, por não haver ainda outras metodologias consistentes que permitam a realização deste tipo de avaliação.

É importante mencionar a existência do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), cujo objetivo é estabelecer condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (INMETRO, 2010). Porém, a aplicação do mesmo foi considerada inviável para este trabalho, uma vez que trata de um edifício naturalmente ventilado, e, de acordo com INMETRO (2017), é indicado o método de simulação computacional para edifícios não condicionados, e o objetivo previamente definido aqui foi de monitorar a edificação, uma vez que o processo de adaptação ao software de simulação demandaria uma quantidade de tempo maior que o disponibilizado para a realização da pesquisa. Vale ressaltar, ainda, que este Regulamento se baseia na NBR 15220.

<sup>30</sup> Ver Quadro 14 – Estratégias bioclimáticas indicadas para a Zona 8. p. 67.

calculadas as áreas efetivas das esquadrias em relação a área do piso, utilizando a Equação (1):

$$A = \frac{A_j}{A_p} \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

$A$  é a área em porcentagem da área de piso;

$A_j$  é a área efetiva da esquadria;

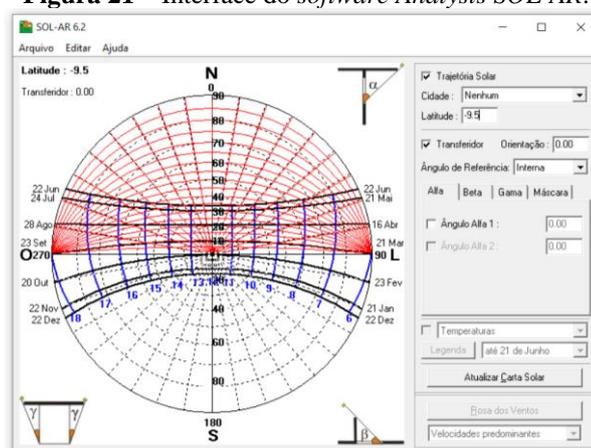
$A_p$  é a área de piso.

### 3.3.2. Estudo das proteções das aberturas

Quanto ao sombreamento das aberturas, a Norma se refere de maneira genérica, indicando apenas que as aberturas devem ser sombreadas em algumas zonas bioclimáticas enquanto em outras devem permitir a entrada do sol em determinados períodos do ano.

Na análise das aberturas foi utilizado o *software Analysis SOL-AR* (Figura 21), que possui opções de cartas solares que podem variar de acordo com a localização inserida. Nele, utilizou-se a carta solar de Arapiraca que, mesmo não estando nas opções pré-configuradas do *software*, pôde ser obtida por meio da inserção da latitude da cidade, onde foram introduzidos os dados de cada esquadria (orientação e dimensões de proteção) e obteve-se as máscaras de sombra.

**Figura 21** – Interface do *software Analysis SOL-AR*.



Fonte: LabEEE<sup>31</sup>.

A análise das proteções das aberturas considerou todas as horas do dia durante todo o ano, visto que o sombreamento é requisito para os diferentes períodos que caracterizam o ano climático da cidade (quente e seco e quente e úmido). As imagens e os ângulos considerados

<sup>31</sup> Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>. Acesso em: 25 jul. 2019.

são exibidos no APÊNDICE A.

### 3.3.3. Análise das vedações externas (paredes e coberturas)

Sabendo-se da importância das propriedades térmicas dos elementos e componentes de edificações, os valores das mesmas foram calculados para os materiais utilizados no objeto de estudo deste trabalho, com a finalidade de averiguar se se encontram de acordo com o que a NBR 15220 e a NBR 15575 estabelecem como adequado para a Zona Bioclimática 8. Estes critérios são exibidos no Quadro 18.

**Quadro 18** – Propriedades térmicas dos materiais das vedações verticais externas para a Zona Bioclimática 8.

Critério	Propriedade	Parede		Cobertura	
NBR 15220	Transmitância Térmica	U ≤ 3,60		U ≤ 2,30.FT	
	Atraso térmico	φ < 4,30		φ ≤ 3,30	
	Fator solar	FS <sub>o</sub> ≤ 4,00		FS <sub>o</sub> ≤ 6,50	
NBR 15575	Transmitância Térmica	U ≤ 3,70	U ≤ 2,50	U ≤ 2,30.FT	U ≤ 1,50.FT
	Absortância	α ≤ 0,60	α > 0,60	α ≤ 0,40	α > 0,40

Fonte: ABNT, 2005 e ABNT, 2013.

As propriedades foram calculadas para as vedações verticais (paredes) e horizontais (cobertura), tomando como referência os valores de espessura, densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais, contidos no ANEXO B.

### Resistência Térmica

No cálculo da Resistência Térmica (R) dos materiais, considerando a vedação com camadas homogêneas, utilizou-se a Equação (2),

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Onde:

R é a resistência térmica do material;

e é a espessura da camada;

λ é a condutividade térmica do material.

No caso aqui analisado, tem-se um componente com 5 camadas<sup>32</sup> – plástico reforçado de fibra de vidro, gesso acartonado, poliestireno expandido (EPS), gesso acartonado e plástico reforçado de fibra de vidro, respectivamente. Deste modo, para obter a resistência térmica total do componente, foi utilizada a Equação (5):

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

<sup>32</sup> Não existem câmaras de ar nas paredes, apenas na cobertura.

Onde:

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas na NBR 15220<sup>33</sup> (ABNT, 2005);

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela Equação (4):

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} \quad (4)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$  são as resistências térmicas das  $n$  camadas homogêneas, determinadas pela Equação (2).

### Transmitância Térmica

A Transmitância Térmica ( $U$ ) dos materiais foi encontrada a partir da Equação (5):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

### Capacidade Térmica

A Capacidade Térmica ( $C_T$ ) dos componentes foi estabelecida por meio da Equação (6):

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (6)$$

Onde:

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada;

$R_i$  é a resistência térmica da camada;

$e_i$  é a espessura da camada;

$c_i$  é o calor específico do material;

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material.

### Atraso Térmico

Para obter-se o tempo de Atraso Térmico ( $\varphi$ ), foi utilizada a Equação (7), por se tratar de um elemento heterogêneo, “formado por diferentes materiais superpostos em “n” camadas

---

<sup>33</sup> Para os cálculos das paredes, adotou-se 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W para  $R_{se}$  e 0,13 (m<sup>2</sup>.K)/W para  $R_{si}$  (direção do fluxo de calor horizontal). Para a cobertura, adotou-se 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W para  $R_{se}$  (direção do fluxo de calor descendente) e 0,10 (m<sup>2</sup>.K)/W para  $R_{si}$  (direção do fluxo de calor ascendente).

paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor)” (ABNT, 2005, p. 7).

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (7)$$

Onde:

$\varphi$  é o atraso térmico;

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$B_1$  é dado pela Equação (8);

$B_2$  é dado pela Equação (9).<sup>34</sup>

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad (8)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (9)$$

Onde:

$B_0$  é dado pela Equação (10)<sup>35</sup>.

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (10)$$

Onde:

$C_T$  é a capacidade térmica total do componente;

$C_{T_{ext}}$  é a capacidade térmica da camada externa do componente.

### Fator Solar

O Fator solar foi alcançado por meio da Equação (11),

$$FS_0 = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad (11)$$

Onde:

$FS_0$  é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorvância à radiação solar – função da cor<sup>36</sup>.

<sup>34</sup> Considerar  $B_2$  nulo caso seja negativo (ABNT, 2005).

<sup>35</sup> Nas equações acima, o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa (ABNT, 2005).

<sup>36</sup> Utilizou-se  $\alpha = 0,3$  para as paredes, de acordo com indicação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 25): “parede: assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor: cor clara:  $\alpha = 0,3$ ; cor média:  $\alpha = 0,5$ ; cor escura:  $\alpha = 0,7$ ”.

### 3.3.4. Estudo das estratégias de condicionamento térmico passivo

Para análise do uso de estratégias de condicionamento térmico passivo na edificação, primeiramente, foram investigadas as estratégias indicadas pelas NBRs consideradas. Em seguida, as indicadas para a Zona Bioclimática em questão foram confrontadas com as que utilizadas no projeto.

As estratégias de condicionamento térmico passivo são indicadas pela NBR 15220 para favorecer o desempenho térmico das edificações, sendo a ventilação cruzada a única indicada pela Norma para a Zona Bioclimática 8. A NBR 15575 não estabelece este tipo de estratégia, mas requer que o edifício localizado na ZB8 apresente o nível de desempenho Mínimo, e para que seja atingido, é necessário que atenda aos requisitos apresentados no Quadro 19.

**Quadro 19** – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (NBR 15575).

Zona Bioclimática	Critério de avaliação	Nível de Desempenho
ZB8	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	Mínimo (M)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$	Intermediário (I)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	Superior (S)

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

Ao serem avaliadas as pertinências das características aos critérios apresentados, os resultados encontrados foram comparados no intuito de verificar se apenas o atendimento a estes requisitos é suficiente para que o edifício apresente desempenho térmico adequado, uma vez que a metodologia adotada pela norma apresenta limitações. Quando uma abertura, por exemplo, é muito grande, atendendo ao critério mínimo ou intermediário, é possível que este tamanho seja prejudicial ao conforto do usuário em temperaturas extremas, quando o ar, ao entrar no ambiente, leva consigo parte da carga térmica do exterior. É importante ressaltar, ainda, que os critérios adotados não consideram o usuário nem os ganhos de calor da edificação por ele.

### 3.3.5. Ficha Bioclimática do CEI

Com o intuito de sintetizar graficamente alguns dos dados obtidos na análise das variáveis projetuais, foi elaborada a Ficha Bioclimática do CEI, cujo modelo utilizado se deu pela adaptação do modelo de Costa (2012). A ficha (Quadro 20) aborda aspectos do projeto referentes ao entorno, implantação, atuação dos condicionantes climáticos e soluções adotadas para o aproveitamento destes.

**Quadro 20** – Modelo de Ficha Bioclimática para análise do CEI.

<b>Ficha Bioclimática do CEI</b>	
<b>Entorno</b>	<i>Descrição da localização e do entorno imediato Local, Terreno, Construção, Coberta.</i>
<b>Implantação no terreno</b>	<i>Descrição da área do terreno e área construída da edificação, além dos recuos</i>
<b>Orientação solar<sup>37</sup></b>	<i>Descrição da insolação nas fachadas</i>
<b>Ventos dominantes</b>	<i>Descrição da incidência dos ventos dominantes, Sudeste e Leste, nos ambientes</i>
<b>Solução em planta</b>	<i>Descrição das áreas de uso da edificação</i>
<b>Distribuição de aberturas</b>	<i>Descrição das aberturas</i>

Fonte: Adaptado de COSTA, 2012.

### 3.4. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DO OBJETO DE ESTUDO

A avaliação quantitativa de conforto na edificação estudada se deu por meio do monitoramento das variáveis climáticas em seu interior e exterior e, posteriormente, pela análise e interpretação dos resultados obtidos.

#### 3.4.1. Recorte do objeto de estudo

A pesquisa visou analisar ambientes de permanência prolongada ocupados pelos alunos. Dessa forma, foram excluídos os ambientes pertencentes aos setores administrativo, de serviços e recreativo, optando-se pelos ambientes do setor pedagógico.

As salas a serem monitoradas foram escolhidas a partir de dois critérios: orientação (com base na insolação direta e incidência dos ventos predominantes); e localização (na extremidade, por apresentarem três faces expostas aos condicionantes climáticos externos, ou centralizada no bloco, por ter duas faces protegidas dos condicionantes externos por outras salas). A adoção desse critério resultou na escolha de 4 zonas térmicas, conforme indicadas na Figura 22.

É importante ressaltar que as zonas possuem dimensões e configurações diferentes entre si, deste modo, para a escolha das zonas, considerou-se apenas a situação delas dentro do projeto, relacionando-a à exposição à radiação solar direta e direção dos ventos predominantes. Considerando que algumas das zonas escolhidas possuem mais que um ambiente, optou-se por realizar as medições também apenas nos ambientes de permanência prolongada dentro delas, que são apresentados no Quadro 21.

<sup>37</sup> O equinócio e os solstícios foram analisados segundo os dias representativos adotados na carta solar no software Anisys SOL-AR: Solstício de Verão – 22 de dezembro; Equinócio: 23 de setembro e/ou 21 de março; e Solstício de Inverno: 22 de junho.

Figura 22 – Zonas térmicas escolhidas para o monitoramento climático.



Fonte: Autora, 2020.

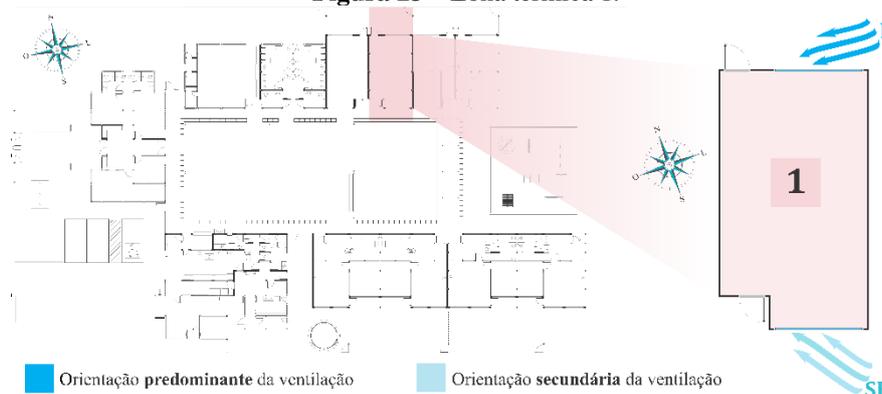
Quadro 21 – Ambientes monitorados, por zona.

Zona	Sigla	Ambientes
1	-	Sala de atividades
2	A	Sala de atividades
	B	Repouso
3	A	Sala de atividades
	B	Repouso
4	A	Sala de atividades
	B	Repouso

Fonte: Autora, 2020.

A Zona 1, sala da Pré-escola (Figura 23), recebe insolação direta em duas fachadas, advindas do Leste e do Oeste, enquanto as outras são cercadas por ambientes internos nas duas laterais. Quanto à incidência da ventilação, as duas aberturas estão voltadas para as orientações predominantes de vento.

Figura 23 – Zona térmica 1.



Fonte: Autora, 2020.

A Zona 2 (Figura 24) é composta por dois ambientes: a Creche III para a realização das

atividades e o Repouso para o descanso dos alunos. Recebe insolação direta em mais de uma fachada, advinda do Leste e do Oeste tendo apenas uma face ligada a outro ambiente. Quanto à ventilação, incidem sobre ela ventos oriundos do Leste e do Sudeste, porém, cada sala possui apenas uma abertura, ambas voltadas para as orientações predominantes de vento.

**Figura 24** – Zona térmica 2.



Fonte: Autora, 2020.

A Zona 3 (Figura 25) é constituída por três ambientes – Creche III para atividades das crianças, Repouso e Banheiro Infantil. A Sala 3A recebe insolação direta em duas fachadas e ventilação das duas direções predominantes, mas não possui aberturas de saída de ventos. A Sala 3B possui apenas uma fachada voltada para o exterior da edificação, que recebe insolação Oeste e ventilação apenas da direção secundária (Sudeste), também sem possuir aberturas de saída de vento.

**Figura 25** – Zona térmica 3.



Fonte: Autora, 2020.

A Zona 4 (Figura 26) é ligada a ambientes internos nas duas laterais e a face interna é voltada ao pátio descoberto, recebendo insolação e ventilação do Leste, já a face externa, recebe insolação do Oeste e ventos advindos do Sudeste. Esta zona conta com quatro ambientes: Creche I, Repouso, Alimentação e Fraldário, ambientes necessários ao uso das crianças. As duas salas possuem aberturas (duas na Sala 4A e uma na Sala 4B), ambas voltadas para Sudeste, favorável a entrada de ventos, porém, nenhuma apresenta abertura para saída da ventilação. A

Sala 4B possui apenas uma fachada voltada para o exterior da edificação, que recebe insolação Oeste, enquanto na Sala 4A o sol incide em duas fachadas, advindo do Leste e do Oeste.



Fonte: Autora, 2020.

### 3.4.2. Monitoramento climático da edificação

O monitoramento climático do CEI ocorreu através de medições das diversas variáveis climáticas em intervalos de tempo representativos dos períodos quente e úmido e quente e seco. As medições seguiram o método mais pertinente para cada variável, de acordo com a dinâmica espacial e a disponibilidade de equipamentos. Algumas variáveis foram medidas no ambiente interno e no meio externo (temperatura e umidade relativa do ar), de modo que pudessem ser comparadas as variações que ocorreram entre ambos. As demais, apenas internamente: velocidade do ar e temperaturas superficial e de globo.

Estes procedimentos foram realizados de duas maneiras: contínuas e pontuais. Para as medições contínuas (temperatura e umidade relativa do ar), os equipamentos foram programados para registro das variáveis em intervalos horários, totalizando 24 registros por dia nos seguintes intervalos de tempo: (a) no período quente e úmido, os equipamentos foram instalados no dia 10 de agosto de 2019 e retirados no dia 26 do mesmo mês, viabilizando o uso dos dados registrados no período de 11 a 25 de agosto de 2019, e (b) no período quente e seco, foram instalados no dia 27 de dezembro de 2019 e retirados no dia 05 de fevereiro de 2020, sendo assim, utilizados os dados registrados entre o dia 28 de dezembro de 2019 e 04 de fevereiro de 2020. As medições pontuais (velocidade do ar e temperaturas superficial e de globo) ocorreram nos dias 20<sup>38</sup> e 21 de agosto de 2019 para o período quente e úmido, e no dia 21 de janeiro de 2020 para o quente e seco, e, em ambos os períodos as medições foram

<sup>38</sup> Os dados obtidos no dia 20 de agosto de 2019 foram descartados, pois o objetivo das medições deste dia foi testar o método que fora previamente definido.

realizadas em intervalos de 2 (duas) horas entre as 8h e 18h, com as janelas das salas abertas.

Para ambos os intervalos, optou-se por realizar o monitoramento nos períodos de recesso do CEI, de forma que os *dataloggers* (utilizados no monitoramento contínuo) fossem instalados no centro geométrico de cada ambiente a uma altura de 0,60m para registro contínuo. Assim, o monitoramento do comportamento térmico de cada sala só poderia ser feito sem a presença das crianças.

Nesta seção são expostos os procedimentos por meio dos quais foram realizadas as medições de cada variável monitorada.

### Período de monitoramento contínuo

O monitoramento contínuo se deu para as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar interno e externo à edificação. Durante estes períodos, as esquadrias foram mantidas fechadas. Esta condição de experimento divergiu da condição real de uso da edificação, quando as janelas são mantidas abertas, porém, foi necessário devido a questões de segurança da edificação e do equipamento.

Para medir estas variáveis internas, foram utilizados termohigrômetros digitais com *datalogger* (armazenamento de dados), modelo HOBO UX100-003 (*datalogger* interno), da marca Onset (Figura 27). As especificações técnicas dos equipamentos são apresentadas no Quadro 22.

**Figura 27** – Equipamento utilizado nas medições internas, modelo HOBO UX100-003, da marca Onset.



Fonte: Autora, 2020.

**Quadro 22** – Especificações técnicas do equipamento utilizado nas medições internas, modelo HOBO UX100-003, da marca Onset.

	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar
<b>Faixa de medição</b>	-20°C a 70°C	15% a 95% (sem condensação)
<b>Precisão</b>	±0,21°C de 0°C a 50°C	±3,5% (de 25% a 85%); ±5% (abaixo de 25% e acima de 85%)
<b>Resolução</b>	0,024°C a 25°C	0,07% a 25°C e HR de 30%
<b>Tempo de resposta</b>	4 minutos no ar em movimento 1 m/s	43 segundos a 90% no fluxo de ar de 1 m/s
<b>Desvio</b>	<0,1°C por ano	<1% ao ano típico

Fonte: ONSET<sup>39</sup>.

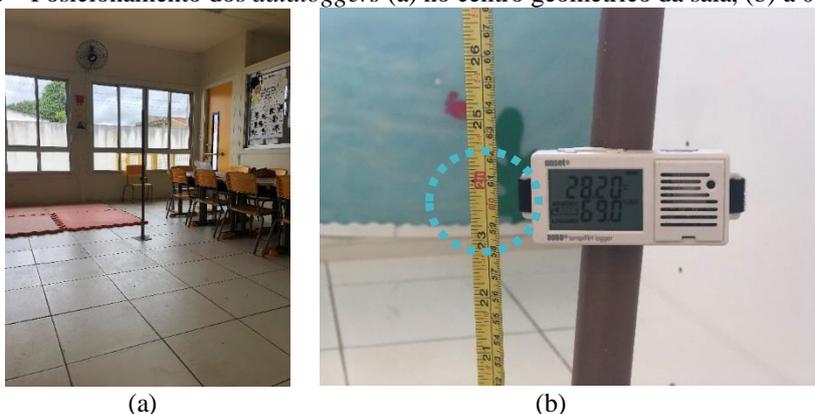
<sup>39</sup> Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ux100-003>. Acesso em: 14 jul. 2019.

Foram utilizados sete *dataloggers* internos<sup>40</sup> em cada período, um para cada sala analisada. Antes da instalação dos equipamentos, foi realizada a aferição dos mesmos, a fim de certificar se a precisão entre eles estava de acordo com a indicada pelo fabricante ( $\pm 0,21^\circ\text{C}$  para temperatura e  $\pm 3,5\%$  para umidades relativas entre 25% e 85%).

Os equipamentos foram posicionados no centro geométrico das salas escolhidas, a uma altura de 0,60m. Segundo Lamberts et al (2016a), deve-se adotar a altura do abdômen do usuário, que neste caso, está sentado na maior parte do tempo em que permanece no ambiente, assim, altura foi definida considerando uma altura média do abdômen de uma criança de sentada. As Normas NHO-06 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2017) e ISO 7726 (INTERNACIONAL STANDARD, 1998), que abordam assuntos relativos ao monitoramento climático de edificações, foram consultadas, mas não expõem diretrizes para ambientes voltados a crianças.

O posicionamento dos *dataloggers* internos em cada sala avaliada pode ser visualizado no APÊNDICE C. A Figura 28 ilustra como os equipamentos foram posicionados nas salas.

**Figura 28** – Posicionamento dos *dataloggers* (a) no centro geométrico da sala, (b) a 0,60m me altura.



Fonte: Autora, 2019,

As variáveis externas foram monitoradas com a utilização de um registrador de dados à prova de intempéries, modelo HOBO U23-001 Pro v2 (*datalogger* externo), da marca Onset,

---

<sup>40</sup> A aferição dos equipamentos foi realizada da seguinte maneira: primeiramente, os *dataloggers* foram programados para registrar os dados de temperatura e umidade relativa do ar por três dias seguidos, juntos em um mesmo local, expostos às mesmas condições térmicas; após isto, os resultados foram analisados de modo que foram coletadas as mínimas, médias e máximas das variáveis registradas de cada equipamento; e, posteriormente, foi calculado o desvio padrão entre os resultados de cada *datalogger* e comparados com a precisão do equipamento indicado pelo fabricante.

Este procedimento foi realizado para cada monitoramento, pois alguns dos equipamentos utilizados no período quente e úmido não estavam disponíveis no quente e seco. Os resultados de ambos podem ser visualizados no APÊNDICE B. Nos dois períodos, os equipamentos apresentaram desvio padrão dentro da precisão do equipamento, excluindo a necessidade de correção nos dados registrados.

ilustrado na Figura 29, cujas especificações técnicas do podem ser visualizadas no Quadro 23.

**Figura 29** – Equipamento utilizado nas medições externas, modelo HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset.



Fonte: Autora, 2020.

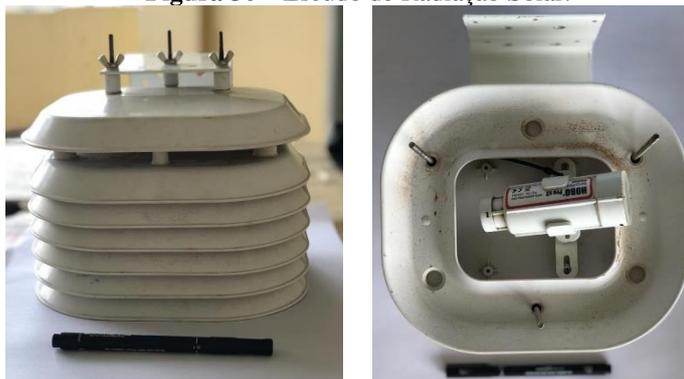
**Quadro 23** – Especificações técnicas do equipamento utilizado nas medições externas, modelo HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset.

	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar
<b>Faixa de medição</b>	-40°C a 70°C	0-100% UR, -40°C a 70°C
<b>Precisão</b>	±0,21°C de 0°C a 50°C	± 2.5% de 10% a 90% UR (típico), até um máximo de ± 3.5% incluindo histerese a 25°C; abaixo de 10% e acima de 90% ± 5% típico
<b>Resolução</b>	0,02°C a 25°C	0,05%
<b>Tempo de resposta</b>	40 minutos no ar em movimento 1 m/seg	0 minutos no ar movendo-se 1 m/s com tampa protetora
<b>Desvio</b>	<0,1°C por ano	<1% ao ano típica

Fonte: ONSET<sup>41</sup>.

O equipamento foi protegido por um Escudo de Radiação Solar, indicado pelo fabricante para este tipo de monitoramento (Figura 30).

**Figura 30** – Escudo de Radiação Solar.



Fonte: Autora, 2020.

O *datalogger* externo foi posicionado no poste de energia, localizado na parte externa da fachada posterior da CEI, como mostra a Figura 31.

<sup>41</sup> Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-002>. Acesso em: 14 jul. 2019b.

**Figura 31** – Posicionamento do HOBO U23-001 Pro v2, da marca Onset, utilizado nas medições externas.



Fonte: Autora, 2019; 2020.

### Período de monitoramento pontual

Os monitoramentos pontuais se deram para as variáveis de temperatura superficial, ventilação e temperatura de globo:

#### *Temperatura superficial das vedações verticais*

No período quente e úmido, a temperatura superficial interna das paredes dos ambientes foi medida utilizando uma câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada para capturar imagens térmicas internas das vedações (paredes) dos ambientes. A câmera termográfica, bem como suas especificações técnicas, podem ser conferidas na Figura 32 e no Quadro 24, respectivamente.

Estas medições foram realizadas de acordo com o coeficiente de distância do equipamento<sup>42</sup>, como ilustrado no APÊNDICE D.

**Figura 32** – Câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição.



Fonte: Autora, 2019.

<sup>42</sup> O Coeficiente de distância representa a relação da distância entre o equipamento e a superfície com a área da superfície capturada pelo campo de visão do equipamento. O valor adotado para este equipamento foi 1:0,44, que foi medido antes do monitoramento, uma vez que o manual do equipamento não dispunha esta informação.

**Quadro 24** – Especificações técnicas da câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição.

	Imagem térmica
<b>Campo de visão</b>	25° x 25°
<b>Distância de focagem mínima</b>	0,6m
<b>Resolução espacial</b>	3,71 mrad
<b>Sensibilidade térmica/NETD</b>	< 0,1°C
<b>Frequência de imagens</b>	9 Hz
<b>Focagem</b>	Focagem livre

Fonte: Eletropeças<sup>43</sup>.

No período quente e seco, a utilização do equipamento citado anteriormente foi inviabilizada pela indisponibilidade do equipamento no período<sup>44</sup>. Assim, foi utilizado um termômetro digital portátil infravermelho a laser, modelo TI-550, da marca Instrutherm, cujo modelo pode ser visualizado na Figura 33 e, suas especificações técnicas, no Quadro 25.

**Figura 33** – Termômetro digital portátil infravermelho a laser modelo TI-550, marca Instrutherm, utilizado na medição.

Fonte: Autora, 2020.

**Quadro 25** – Especificações técnicas do termômetro digital portátil infravermelho a laser modelo TI-550, marca Instrutherm, utilizado na medição.

	Temperatura superficial
<b>Display</b>	Cristal líquido (LCD) de 3 ½ dígitos (2000 contagens) com iluminação
<b>Escala</b>	-50°C ~ 550°C
<b>Precisão</b>	±3°C (na faixa de -50°C~0°C) / ±1,5°C + 1,5% (na faixa de 0 ~ 550°C)
<b>Resolução</b>	0,1°C
<b>Taxa de amostragem</b>	300 ms
<b>Coefficiente de distância</b>	12:1
<b>Laser</b>	Classe 2, 1mW com forma de onda de 630 ~ 670 nm
<b>Resposta espectral</b>	6 ~ 14µm
<b>Temperatura de operação</b>	0 ~ 50°C
<b>Temperatura de armazenagem</b>	-20 ~ 60°C
<b>Umidade de operação</b>	10 ~ 90% RH
<b>Umidade de armazenagem</b>	< 80% RH

Fonte: Instrutherm<sup>45</sup>.

<sup>43</sup> Disponível em: <https://www.eletopecas.com/Produto/termovisor-flir-i3>. Acesso em: 27 ago. 2019.

<sup>44</sup> Anteriormente, foi realizada aferição dos equipamentos e os resultados mostraram-se equivalentes.

<sup>45</sup> Disponível em: <https://www.instrutherm.net.br/termometro-digital-infravermelho-mod-ti-550-escala-50-a->

Nestas medições, a mira do laser foi apontada para o centro geométrico<sup>46</sup> de cada parede das salas avaliadas.

### *Velocidade do ar interno*

No período quente e úmido, a velocidade do ar foi medida com o auxílio de um medidor ambiental 4 em 1, da marca Extech, modelo 45170 (Figura 34), cujas especificações técnicas são exibidas no Quadro 26.

**Figura 34** – Medidor ambiental, modelo 45170, da marca Extech, utilizado nas medições.



Fonte: Manual do usuário<sup>47</sup>.

**Quadro 26** – Especificações técnicas do Medidor ambiental, modelo 45170, da marca Extech, utilizado nas medições.

Medição	Alcance	Precisão
Ventilação	0,4 a 30,0 m/s	0,1 m/s

Fonte: Manual do usuário<sup>48</sup>.

Neste período, apenas nas Salas 1, 2A, 3A e 4A este procedimento foi realizado, uma vez que nas demais (salas de repouso) o movimento do ar, quando existia, era insuficiente para que o equipamento registrasse<sup>49</sup>. Este fato pode ser atribuído a falta de abertura da sala para uma área de saída do ar<sup>50</sup>.

No período quente e seco, as medições foram realizadas com o auxílio de um anemômetro, modelo LCA 6000, da marca Davis (Figura 35). Suas especificações técnicas são

---

550-c.html#product\_tabs\_especificacoes. Acesso em: 14 jul. 2019.

<sup>46</sup> Não foram adotados mais pontos, pois em teste prévio, confirmou-se que a média das temperaturas pontuais de toda a parede era semelhante ao valor de sua temperatura central, e, a diferença entre elas, inferior à precisão do equipamento.

<sup>47</sup> Disponível em: <http://www.extech.com.br/instruments/product.asp?catid=1&prodid=564>. Acesso em: 14 jul. 2019.

<sup>48</sup> Disponível em: <http://www.extech.com.br/instruments/product.asp?catid=1&prodid=564>. Acesso em: 14 jul. 2019.

<sup>49</sup> Este monitoramento foi um teste, pois os dados de velocidade do ar foram coletados com o objetivo de serem empregados na avaliação dos índices de conforto pelo modelo adaptativo, que só foi realizado no período quente e seco.

<sup>50</sup> Nas salas em que o registro aconteceu, as portas foram abertas no momento da medição e consideradas aberturas de saída do ar. Nas salas de repouso, isto não pode acontecer, pois as portas são voltadas para as salas de atividades.

apresentadas no Quadro 27.

**Figura 35** – Anemômetro, modelo LCA 6000, da marca Davis.



Fonte: Autora, 2020.

**Quadro 27** – Especificações técnicas do anemômetro, modelo LCA 6000, da marca Davis.

Medição	Alcance	Precisão
Ventilação	0,25 a 30,0 m/s	0,01 m/s

Fonte: Manual de instruções do instrumento.

Nos dois períodos as medições foram realizadas no centro geométrico das salas, a 0,60m do piso, próximo aos *dataloggers* internos. Este monitoramento pontual se deu de forma instantânea, a cada 2 horas, das 8h às 18h. Os equipamentos foram posicionados e, após 5 minutos de estabilização, foram realizados os registros.

### *Temperatura de globo*

A temperatura de globo foi medida com a utilização do medidor de stress térmico (termômetro de globo) portátil digital, modelo WBGT-8778 (Figura 36), cujas especificações técnicas são exibidas no Quadro 28. O instrumento registrou, além dos dados citados, a temperatura do ar<sup>51</sup>. Estes dados foram monitorados apenas no período quente e seco.

**Figura 36** – Medidor de stress térmico (termômetro de globo) portátil digital, modelo WBGT-8778.

<sup>51</sup> A temperatura do ar registrada pelo termômetro de globo foi utilizada para o cálculo dos níveis de conforto adaptativo, uma vez que foi medida no mesmo momento que a temperatura de globo, enquanto a temperatura do ar horária, registrada pelos *dataloggers*, corresponde à média das temperaturas registradas durante a referida hora.



Fonte: Autora, 2020.

**Quadro 28** – Especificações técnicas do medidor de stress térmico (termômetro de globo) portátil digital, modelo WBGT-8778.

Variável	Faixa de medição	Resolução	Precisão
Temperatura do ar	0 a 50°C	0.1 °C	±0.6°C
Temperatura de globo	0 a 80°C	0.1 °C	±1°C (15 a 45°C) ±1.5°C (restante)
Stress Térmico IBUTG	0 a 50°C	0.1 °C	Ambientes Internos ±1°C (15 a 40°C) ±1.5°C (restante)
			Ambientes Externos ±1.5°C (15 a 40°C) ±2°C (restante)
Umidade relativa	0 a 100%UR	0.1 °C	±3%UR

Fonte: Manual de instruções do instrumento.

#### 3.4.2.1. Tratamento dos dados

Os dados coletados foram organizados, de modo que pudesse facilitar a interpretação para a realização das análises. Posteriormente, as análises foram definidas de acordo com os resultados obtidos dentro dos períodos em que a edificação foi monitorada, diante do volume de dados obtidos em função das variáveis e do espaço amostral.

Com uma quantidade significativa de dias de monitoramento do ar nos períodos (15 dias no quente e úmido e 39 no quente e seco) tornou-se inviável a análise diária da temperatura do ar. Assim, de forma a otimizar a análise do comportamento térmico das salas monitoradas, optou-se por estabelecer um dia médio para cada período analisado, constituídos pelas médias horárias das temperaturas do ar dos dias monitorados. A partir do dia médio de cada período, foram analisados os desempenhos térmicos das salas frente às variações da temperatura do ar externo.

O dia médio é composto pela temperatura média de cada hora diária, calculada por meio da Equação (12):

$$T_{(h)} = \frac{T_{(h1)} + T_{(h2)} + T_{(h3)} + \dots + T_{(hn)}}{n} \quad (12)$$

Onde:

$T_{(h1)}, T_{(h2)}, T_{(h3)}, \dots, T_{(hn)}$  são as temperaturas registradas na  $h$  hora dos  $n$  dias.

Para maior detalhamento do estudo, optou-se, ainda, por analisar o dia com extremo rigor térmico em cada período monitorado, caracterizado pela temperatura do ar mais elevada a fim de verificar se o comportamento térmico das salas segue o mesmo padrão dos dias médios.

As análises exploratórias foram complementadas com análises estatísticas a partir do método de regressão linear múltipla, através das quais obteve-se diagramas de dispersão que ajudaram a compreender a correlação do comportamento térmico com algumas características físicas dos ambientes: área de parede exposta ao exterior, volume da sala e área envidraçada. O coeficiente de correlação linear ( $r$ ) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foram obtidos pelo o programa Excel. Para a análise do coeficiente de correlação linear adotou-se a classificação exposta na Tabela 8.

**Tabela 8** – Coeficiente de correlação estatística.

<b>r</b>	<b>Definição</b>
<b>0,00 a 0,19</b>	Correlação bem fraca
<b>0,20 a 0,39</b>	Correlação fraca
<b>0,40 a 0,69</b>	Correlação moderada
<b>0,70 a 0,89</b>	Correlação forte
<b>0,90 a 1,00</b>	Correlação muito forte

Fonte: Devore, 2006.

O conforto e desconforto obtidos nas salas foram quantificados através da inserção dos dados horários de temperatura e umidade relativa do ar dos dois períodos no programa Analysis Bio 2.2.

Primeiramente, os dados foram inseridos em uma planilha no programa Excel e salvos na extensão “.txt” para entrada no programa Analysis Bio, onde foram geradas as cartas psicrométricas de cada sala, com a plotagem dos dados, e os indicando o percentual de horas de conforto e desconforto correspondentes a cada período de monitoramento, bem como as estratégias bioclimáticas indicadas.

Neste estudo, também foi analisado, por meio do monitoramento da temperatura superficial das vedações, o comportamento térmico das vedações como elemento de troca de calor. Para tanto, foram analisados os posicionamentos das paredes (divisão entre salas ou divisão com o exterior) nas salas monitoradas. Por fim, as demais variáveis coletadas (velocidade do vento e temperatura de globo) foram utilizadas na análise de conforto adaptativo

avaliado pelo método da ASHRAE *Standard 55*<sup>52</sup>.

Além da temperatura operativa, para plotagem do gráfico da Zona de Conforto, a ASHRAE 55 utiliza a temperatura média prevalente do ar no exterior, cujo cálculo é baseado na média aritmética das temperaturas exteriores médias diárias (NASCIMENTO, 2016). O cálculo da temperatura média prevalente se deu conforme a Equação (13).

$$T_{pmo} = (1 - \alpha) \times Te_{(n-1)} + \alpha \times T_{rm(n-1)} \quad (13)$$

Onde:

$T_{pmo}$  = Temperatura média prevalente do ar no exterior;

$Te_{(n-1)}$  = Temperatura média do ar no exterior, para o dia anterior;

$T_{rm(n-1)}$  = Temperatura média corrente do ar no exterior, para o dia anterior;

$\alpha$  = Constante entre 0 e 1<sup>53</sup>.

A Zona de conforto se dá através do cálculo dos limites superior e inferior de temperatura, considerando o nível de aceitabilidade de 80% para o conforto térmico, dado pelas Equações (14) e (15):

$$To_s = 0,31 \times T_{pmo} + 21,3 \quad (14)$$

$$To_i = 0,31 \times T_{pmo} + 14,3 \quad (15)$$

Onde:

$To_s$  = Limite superior da temperatura operativa do ambiente interior;

$To_i$  = Limite inferior da temperatura operativa do ambiente interior.

Por fim, a temperatura operativa foi calculada para o dia 21 de janeiro de 2020, em que foram realizadas as medições pontuais, por meio da Equação (16):

$$t_o = A \times t_a + (1 - A) \times \bar{t}_r \quad (16)$$

Onde:

$t_o$  = temperatura operativa;

---

<sup>52</sup> Ressalta-se que este procedimento foi realizado apenas no período quente e seco, pois, no período quente e úmido, não foi realizado monitoramento da temperatura de globo.

<sup>53</sup> Aqui, será utilizado 0,8, como adotado por Nascimento (2016), por se enquadrar tanto nas recomendações da ASHRAE 55 quanto em outras diretrizes.

$t_a$  = temperatura média do ar;

$A$  = valor dado em função da velocidade relativa do ar, de acordo com a Tabela 9;

$t_r$  = temperatura radiante média, calculada pela Equação (17):

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + (0,4 \times 10^8) x \sqrt{|t_g - t_a|} x (t_g - t_a) - 273} \quad (17)$$

Onde:

$t_g$  = temperatura de globo.

**Tabela 9** – Valores de  $A$  para a Equação (16).

Velocidade do ar	< 0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
<b>A</b>	0,5	0,6	0,7

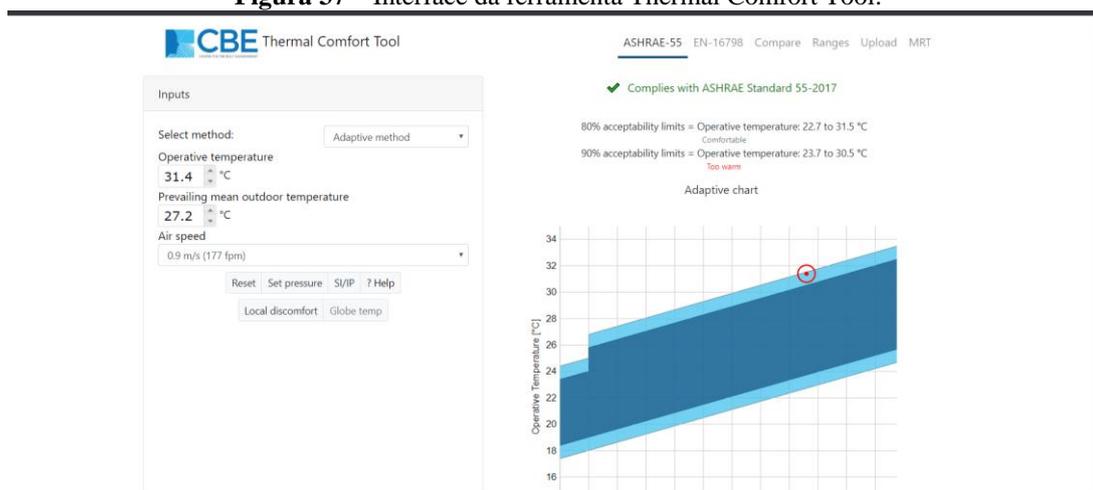
Fonte: Nascimento (2016) adaptado de ASHRAE (2013).

Posteriormente, os dados foram plotados em gráficos, de modo a viabilizar a compreensão visual dos níveis de aceitabilidade da temperatura operativa nos ambientes naturalmente ventilados monitorados.

Para analisar a ventilação, foi utilizada a ferramenta virtual Thermal Comfort Tool<sup>54</sup> – através do método adaptativo da ASHRAE 55 –, na qual foram inseridos os dados de temperatura prevalente média externa do dia em que foram realizadas as medições pontuais do período quente e seco e temperaturas operativas dos ambientes interiores para os intervalos de monitoramento neste dia. Em seguida, foram feitas alterações nos registros de velocidade dos ventos (utilizando-se 0,3m/s, 0,6m/s, 0,9m/s e 1,2m/s) com o objetivo de averiguar a interferência da ventilação natural na aceitabilidade do conforto térmico nas salas de acordo com as temperaturas registradas, como exhibe a Figura 37.

<sup>54</sup> Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 27 abr. 2020.

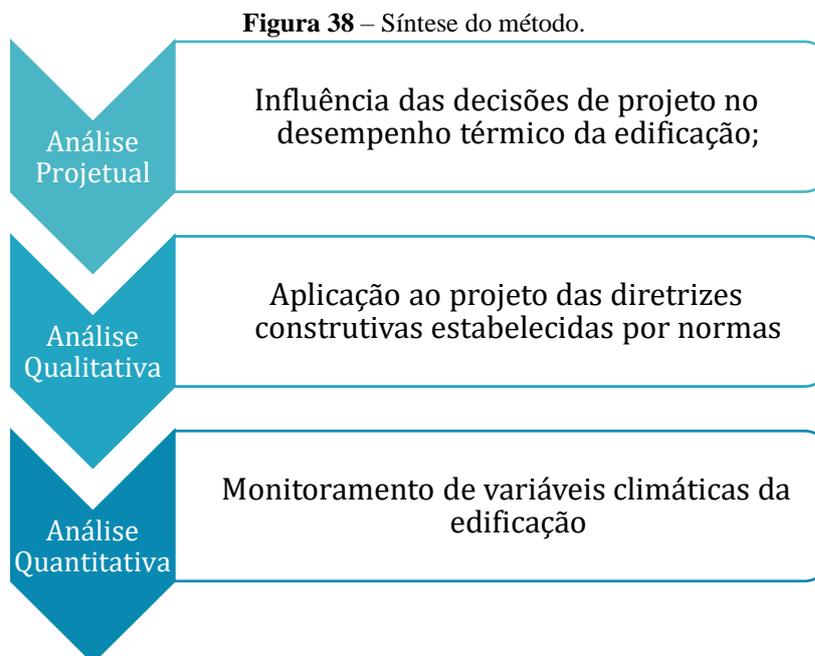
**Figura 37** – Interface da ferramenta Thermal Comfort Tool.



Fonte: Thermal Comfort Tool<sup>55</sup>.

### 3.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Diante do volume de procedimentos metodológicos apresentados anteriormente, a Figura 38 os sintetiza, expondo o que cada método adotado apresentará no próximo capítulo.



Fonte: Autora, 2020.

<sup>55</sup> Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 27 abr. 2020.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aplicação dos procedimentos metodológicos, os resultados foram analisados e, neste capítulo, são apresentados e discutidos. Por meio deles, pôde-se entender as interferências climáticas no desempenho térmico da edificação.

### 4.1. ANÁLISE PROJETUAL

Este item aborda aspectos referentes ao processo de tomada de decisões de projeto que influenciaram diretamente no desempenho térmico da edificação diante do contexto climático no qual está inserida. Deste modo, a análise compreende questões relativas à implantação, orientação e tecnologias construtivas do objeto de estudo.

#### Implantação

A edificação foi implantada no terreno obedecendo os critérios de dimensionamento e localização de espaços fornecidos pelo projeto padrão. Porém, o CEI em questão possui algumas particularidades que divergem do projeto original: o projeto de paisagismo existente não contempla espécies de pequeno, médio e grande porte, apenas forrações, e ainda assim, não foi executado; o espaço destinado ao playground encontra-se vazio, contém a areia especificada no projeto, mas, por não conter os equipamentos necessários, a manutenção da área não é realizada corretamente e, devido a isto, a vegetação nativa se desenvolveu e transformou a área em um local impróprio para utilização dos alunos como espaço livre (Figura 39); e a sala multiuso é destinada a uma brinquedoteca, uma vez que não existem outras áreas para atividades de lazer.

**Figura 39** – Localização da área destinada ao playground.

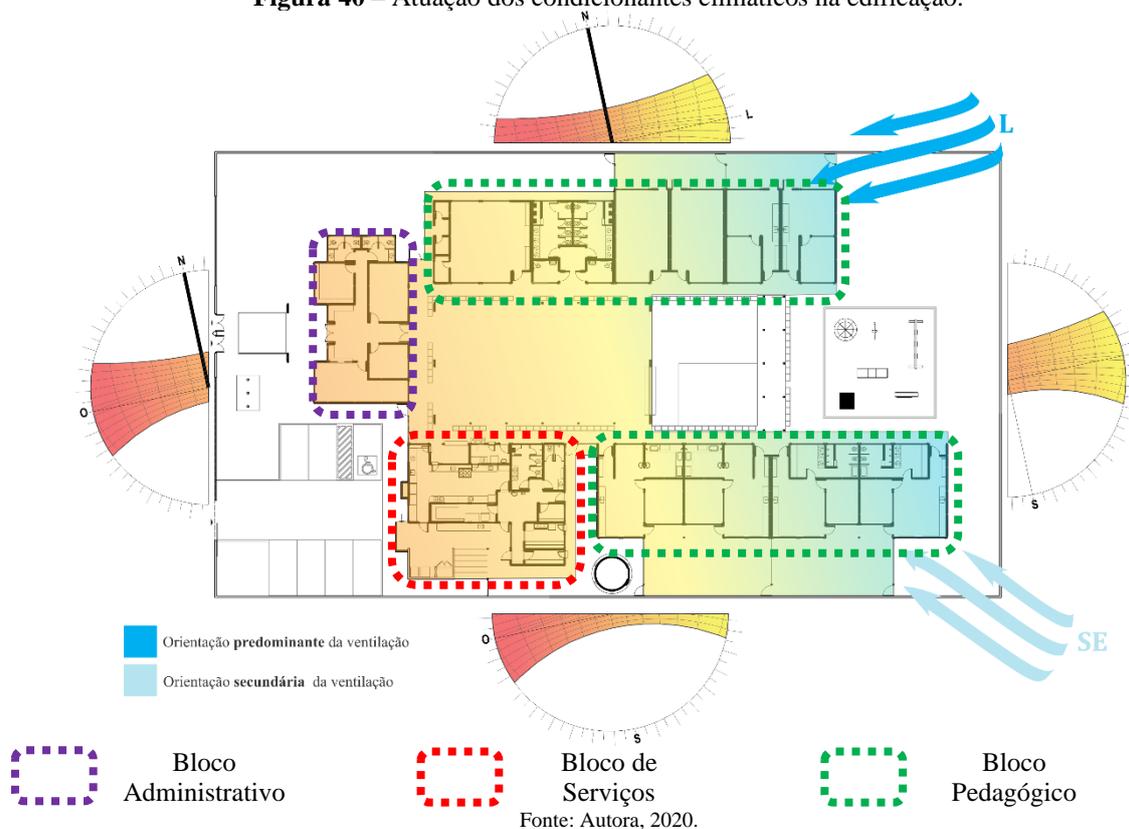


Fonte: Autora, 2019.

## Orientação quanto à incidência solar e de ventilação

Ao que se refere à orientação, a Figura 40 permite observar que o posicionamento dos blocos administrativo e de serviços recebem maior carga térmica proveniente da radiação solar direta, que incide sobre eles no período vespertino, durante todo o ano para o administrativo e de agosto a abril para o de serviços. As faces desses blocos que receberiam insolação nos demais meses não a recebem pois são protegidas pela cobertura do pátio.

**Figura 40** – Atuação dos condicionantes climáticos na edificação.



Já os blocos pedagógicos, apesar de estarem parcialmente orientados para Leste, de onde advém a radiação matutina, possuem aberturas de todas as salas de aula na orientação Norte/Sul, que viabiliza a incidência solar nestas paredes durante todo o dia, do nascer ao pôr do sol. Porém o bloco pedagógico situado a Sul apresenta uma situação mais crítica, pois recebe insolação durante parte dos meses de verão e todo o solstício de verão, o que acarreta maiores ganhos térmicos para as salas deste bloco em relação ao anterior. Esta situação pode ser visualizada na Figura 41 e na Figura 42.

A Figura 41 mostra a incidência de radiação solar nas salas por meio das janelas no período quente e úmido<sup>56</sup>. As imagens Figura 41a e Figura 41b são de salas e janelas do bloco

<sup>56</sup> Registros feitos na manhã do dia 10 de agosto de 2019.

pedagógico voltadas para Norte, onde observa-se que a iluminação natural incide no piso de forma direta. Mas na Figura 41c e Figura 41d, situadas no bloco pedagógico voltado para Sul, nota-se que a iluminação natural incide no ambiente<sup>57</sup>, porém, de forma difusa.

**Figura 41** – Incidência da radiação solar nas salas (a) 1, (b) 2A, (c) 3A e (d) 4A através das janelas, no período quente e úmido.



Fonte: Autora, 2020.

Já no período quente e seco, registrado na Figura 42, ocorre o contrário: as salas voltadas para Norte (Figura 42a e Figura 42b) recebem iluminação difusa pelas janelas, enquanto as salas voltadas para Sul (Figura 42c e Figura 42d) recebem iluminação direta<sup>58</sup>.

<sup>57</sup> As imagens foram registradas apenas com a iluminação natural. As luminárias mantiveram-se desligadas no momento da fotografia, bem como durante os períodos de monitoramento.

<sup>58</sup> Registros feitos na tarde do dia 26 de dezembro de 2019.

**Figura 42** – Incidência da radiação solar nas salas através das janelas, no período quente e seco.



Fonte: Autora, 2020.

A incidência solar direta nas salas demonstra que os beirais utilizados nas fachadas são insuficientes para proteger as aberturas contra a radiação solar direta.

### Tecnologia construtiva

Quanto à tecnologia construtiva, pôde-se verificar problemas de desgaste dos painéis *Wall System*, embora a construtora assegurasse alta durabilidade, redução de patologias e baixa necessidade de manutenção (MVC, 2015). Observou-se que em agosto de 2019 (período de monitoramento quente e úmido) havia a deterioração em uma das paredes da Sala 4A (Figura 43a). Em janeiro de 2020 (período de monitoramento quente e seco), cinco meses depois, observou-se o desprendimento do painel de uma chapa de PRFV, do lado externo da Sala 2A (Figura 43b), a qual estava visualmente intacta no período anterior. Cabe destacar que o CEI tem apenas 4 anos de uso.

**Figura 43** – Desprendimento de Painéis *Wall System*, na face externa da envoltória das Salas: (a) 4A, no período quente e úmido, e (b) 2A, no período quente e seco.



Fonte: Autora, 2020.

Ainda no período quente e seco, observou-se o agravamento da deterioração na parte inferior dos painéis da Sala 4A, com o início do desprendimento das camadas externas de gesso acartonado, como registrado na Figura 44.

**Figura 44** – Painéis *Wall System* da Sala 4A no período quente e seco, com destaque para o desprendimento de partes da camada externa de gesso acartonado.



Fonte: Autora, 2020.

Neste sentido, cabe ressaltar que o desgaste da vedação acarreta na mudança da cor da superfície externa do ambiente, bem como o acúmulo de fungos e patologias, que interferem diretamente na absorção do componente.

Outros aspectos e características das vedações da edificação serão apresentados e discutidos no item a seguir

#### 4.2. ANÁLISE QUALITATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DO OBJETO DE ESTUDO

A avaliação qualitativa do desempenho térmico nos ambientes analisados do Centro de Educação Infantil apresenta os dados obtidos para os parâmetros referentes ao tamanho e insolação das aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo.

#### 4.2.1. Diagnóstico do tamanho das aberturas para ventilação

A NBR 15220 (ABNT, 2005) estabelece que, para a Zona Bioclimática 8, são requisitadas aberturas grandes – com áreas maiores que 40% da área do piso. A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que as áreas de tais aberturas devem corresponder a 8% ou mais da área do piso.

O Quadro 29 mostra a relação entre as áreas citadas para as salas analisadas. Nela, é possível perceber que, exceto a sala 2A, os demais ambientes avaliados atendem à NBR 15575/2013, enquanto as diretrizes da NBR 15220/2005 não são atendidas por nenhuma sala. Esta deficiência afeta de forma direta o desempenho térmico da edificação e a sensação de conforto no interior dos ambientes, uma vez que, quanto maior a área efetiva de ventilação, maiores as possibilidades de entrada de ventilação natural nos ambientes, o que viabiliza as trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação.

**Quadro 29** – Tamanho<sup>59</sup> das aberturas para ventilação.

Ambiente	Área efetiva de ventilação (m <sup>2</sup> )	Área de piso (m <sup>2</sup> )	Área efetiva de ventilação (em % da área de piso)	Atendimento à NBR 15220/2005 (≥ 40%)	Atendimento à NBR 15575/2013 (≥ 8%)
Sala 1	3,40	37,36	9,10	Não	Sim
Sala 2A	1,70	24,02	7,08	Não	Não
Sala 2B	1,73	12,72	13,60	Não	Sim
Sala 3A	3,49	31,77	10,98	Não	Sim
Sala 3B	1,92	13,77	13,94	Não	Sim
Sala 4A	2,46	27,60	8,91	Não	Sim
Sala 4B	1,61	11,67	13,79	Não	Sim

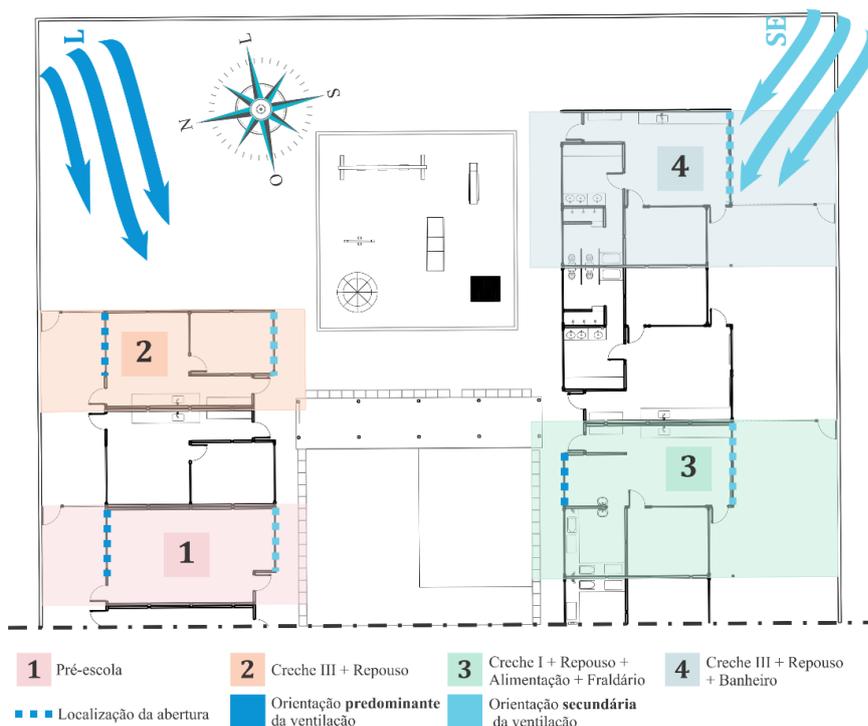
Fonte: Autora, 2019

Porém, é importante salientar que avaliar apenas o tamanho da abertura não é suficiente para afirmar que um ambiente apresentará ou não um bom desempenho da ventilação, bem como ofertará conforto térmico ao usuário. Aspectos como orientação e disposição das aberturas, com aberturas para entrada e saída do vento, presença de obstruções no entorno da edificação e potencial de ventilação do local demonstram altos níveis de influência na atuação dos ventos no interior dos ambientes.

A sala que constitui a zona 1 (sala de atividades) possui duas aberturas, ambas voltadas para a direção predominante dos ventos, dificultando a presença da ventilação cruzada no ambiente. As duas salas da zona 2 (atividades e repouso) não possuem aberturas em fachadas opostas à ventilação predominante, o que impossibilita a saída de ar, deixando o vento estagnado no ambiente. O mesmo acontece nos ambientes das zonas 3 e 4 (Figura 45).

<sup>59</sup> O APÊNDICE E apresenta as vistas frontais, dimensões, quantidades e aberturas das janelas em cada sala.

**Figura 45** –Salas escolhidas com destaque para a localização das aberturas e orientações predominante e secundária dos ventos.



Fonte: Autora, 2020.

#### 4.2.2. Estudo de insolação das aberturas

Embora as áreas efetivas para ventilação das salas de aula – salas 1, 2A, 3A e 4A – sejam pequenas, as esquadrias possuem grandes dimensões, sendo que as maiores parcelas são compostas por folhas fixas em vidro comum transparente, que possibilita entrada da radiação solar direta no ambiente. A Tabela 10 exhibe as dimensões das aberturas e áreas envidraçadas existentes em cada sala analisada.

**Tabela 10** – Tamanho<sup>60</sup> das janelas.

Ambiente	Área de piso (m <sup>2</sup> )	Área efetiva de ventilação		Área envidraçada fixa <sup>61</sup>		Área total da Janela	
		m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
Sala 1	37,36	3,40	9,10	3,22	8,62	6,62	17,72
Sala 2A	24,02	1,70	7,08	2,91	12,11	4,61	19,19
Sala 2B	12,72	1,73	13,60	-	-	1,73	13,60
Sala 3A	31,77	3,49	10,98	3,53	11,11	7,02	22,10
Sala 3B	13,77	1,92	13,94	-	-	1,92	13,94
Sala 4A	27,60	2,46	8,91	4,20	15,22	6,66	24,13
Sala 4B	11,67	1,61	13,79	-	-	1,61	13,79

Fonte: Autora, 2019.

Imagens das aberturas, bem como posicionamento dos ângulos e locação das salas em

<sup>60</sup> O APÊNDICE E apresenta as vistas frontais, dimensões, quantidades e aberturas das janelas em cada sala.

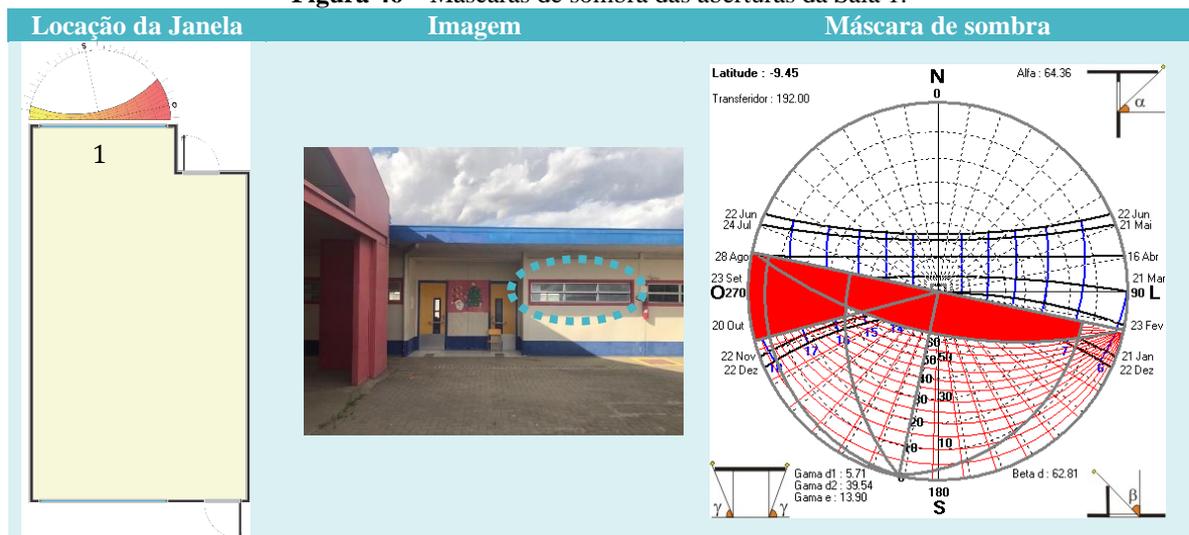
<sup>61</sup> As Salas 2B, 3B e 4B não possuem área envidraçada fixa, pois são do tipo basculante e todas as suas partes podem ser abertas.

planta podem ser visualizados no APÊNDICE A.

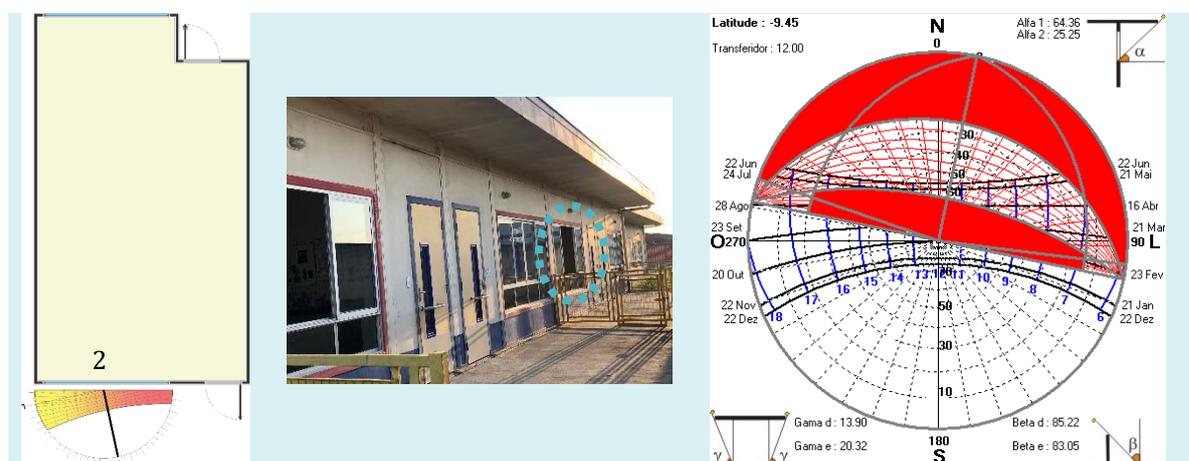
A Sala 1 conta com duas janelas: uma voltada para Sul, que recebe insolação entre os meses de outubro e fevereiro no período matutino e, entre agosto e fevereiro, no período vespertino; e, uma voltada para Norte, que recebe insolação entre os meses de fevereiro a outubro no período matutino e, entre agosto e fevereiro no período vespertino.

A Figura 46 apresenta as máscaras de sombra das duas aberturas, mostrando que os elementos construtivos da edificação – beirais e muro – produzem sombreamento sobre elas e obstruem a insolação direta em determinados períodos do dia e do ano.

Figura 46 – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 1.



- Sombreada durante grande parte do período diurno, ficando desprotegida apenas nos intervalos do nascer do sol até antes das 7h entre os meses de outubro e fevereiro, e de após as 14h até o pôr do sol entre os meses de novembro e janeiro.

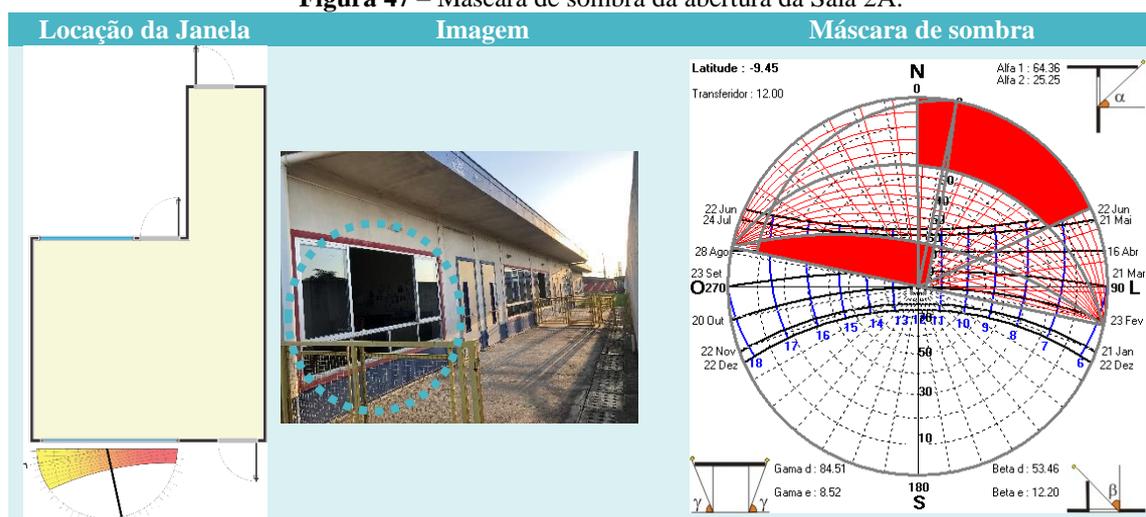


- Sombreada pelo beiral por volta das 7h até cerca das 16:30h. O pátio coberto produz sombreamento sobre a abertura no início da manhã durante todo o inverno, e no final da tarde, nos meses de maio a julho.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A Sala 2A (Figura 47) possui uma janela, orientada para Nordeste, que recebe insolação de fevereiro a setembro durante o turno matutino e, no vespertino, de março a agosto.

Figura 47 – Máscara de sombra da abertura da Sala 2A.

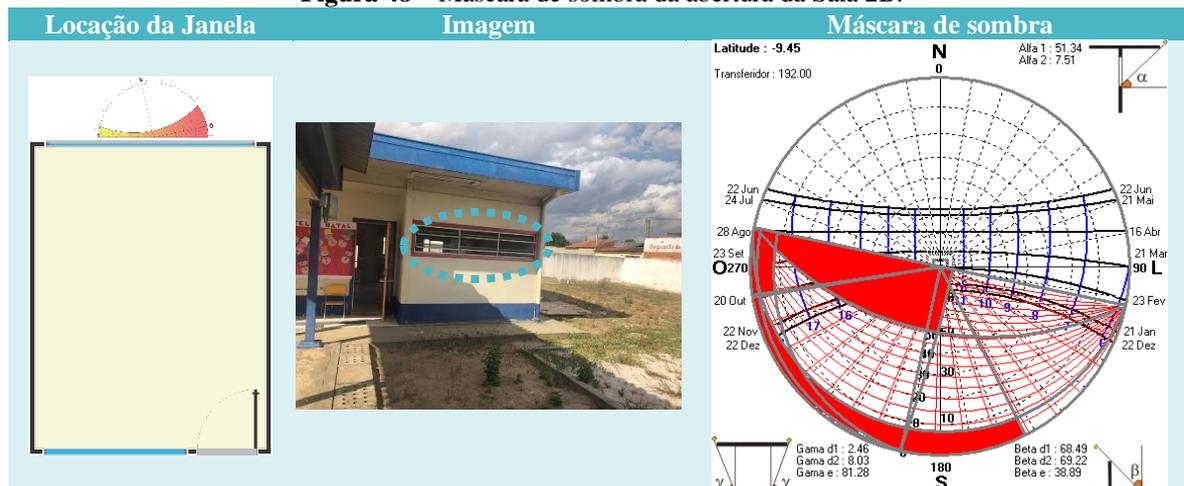


- Sombreada pelo beiral durante a tarde, desde o final da manhã até pouco antes do pôr do sol nos meses de julho e agosto, e pelo muro durante o solstício de inverno, do nascer do sol a pouco antes das 8h.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A Sala 2B (Figura 48) possui uma janela alta voltada para Sudoeste que recebe insolação durante o verão, durante os meses de dezembro a fevereiro do nascer do sol ao meio-dia, e de agosto a dezembro durante toda a tarde.

Figura 48 – Máscara de sombra da abertura da Sala 2B.

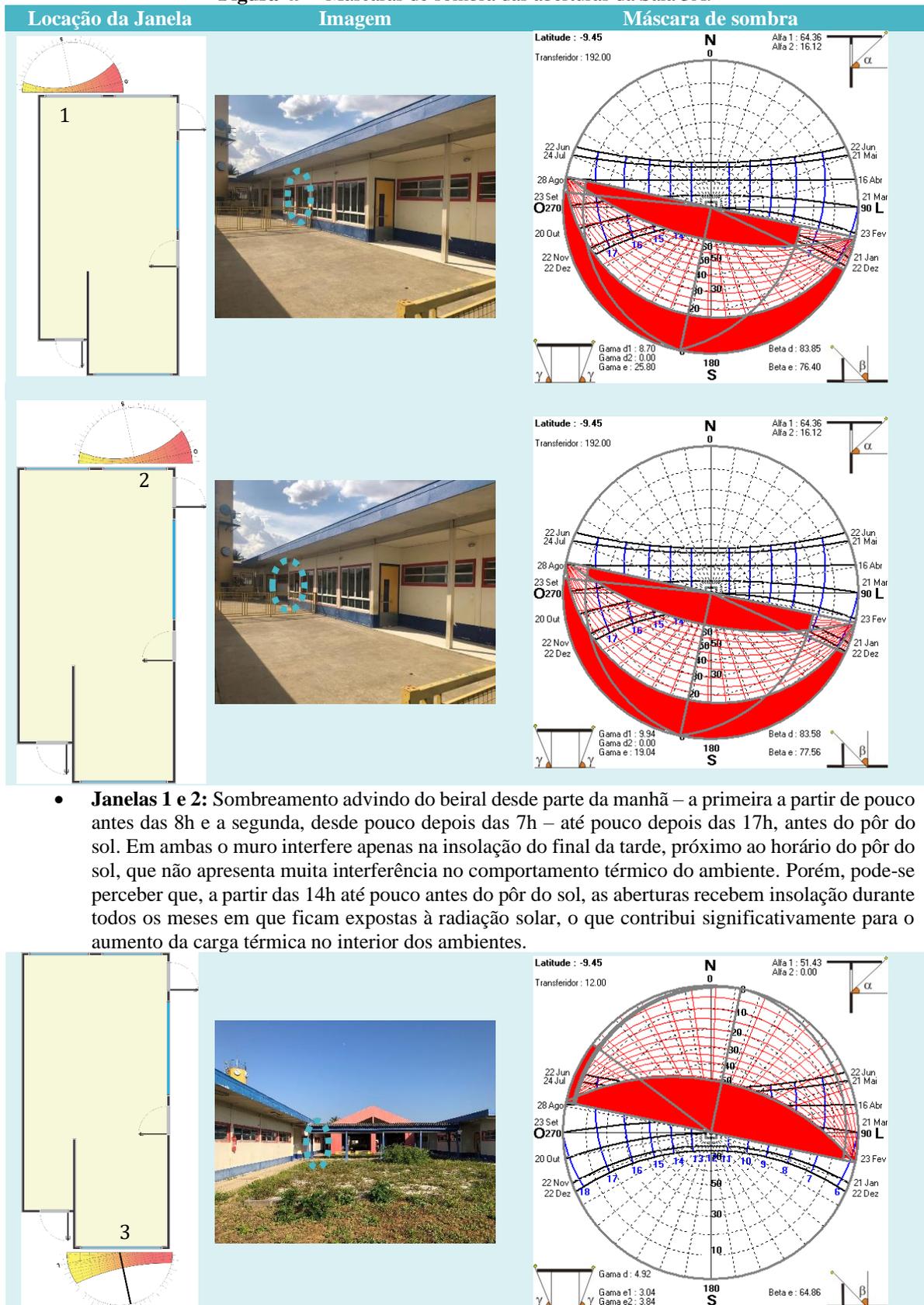


- Recebe sombreamento de pouco antes do meio-dia até por volta das 16h, provocado pela barreira causada pelo beiral, enquanto o pátio coberto impede a incidência solar das 17:30h até o pôr do sol entre os meses de agosto e outubro e fevereiro e abril, enquanto o bloco pedagógico, localizado em frente, sombreia apenas no final da tarde, ambos quando a temperatura do ar encontra-se mais amena.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A Figura 49 apresenta a insolação e o sombreamento das três esquadrias presentes na Sala 3A, duas voltadas para Sudoeste, recebendo insolação durante o verão e final do inverno e uma voltada para Nordeste, recebendo insolação no inverno e final do verão.

Figura 49 – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 3A.



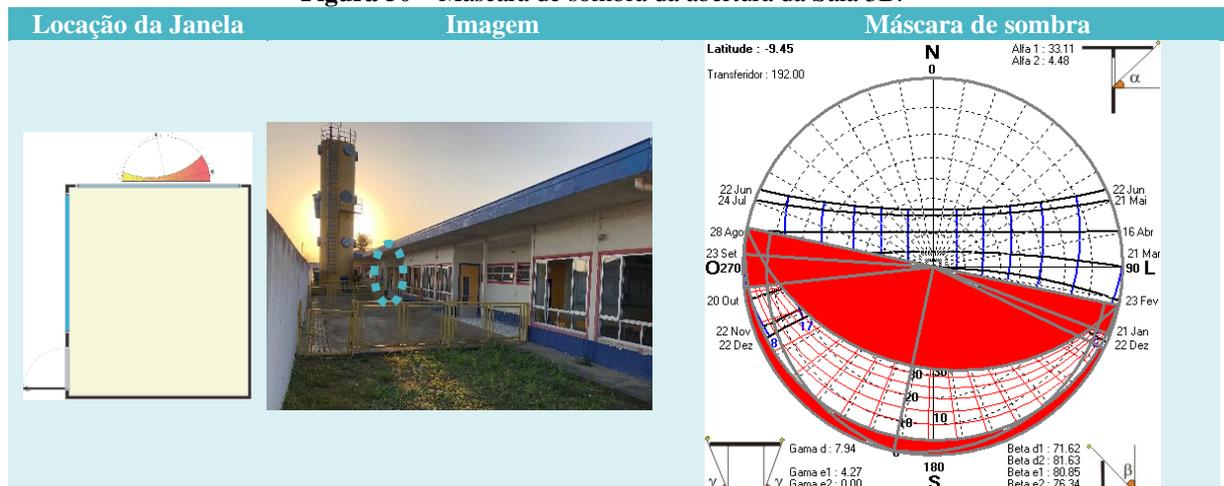
- Janelas 1 e 2:** Sombreamento advindo do beiral desde parte da manhã – a primeira a partir de pouco antes das 8h e a segunda, desde pouco depois das 7h – até pouco depois das 17h, antes do pôr do sol. Em ambas o muro interfere apenas na insolação do final da tarde, próximo ao horário do pôr do sol, que não apresenta muita interferência no comportamento térmico do ambiente. Porém, pode-se perceber que, a partir das 14h até pouco antes do pôr do sol, as aberturas recebem insolação durante todos os meses em que ficam expostas à radiação solar, o que contribui significativamente para o aumento da carga térmica no interior dos ambientes.

- Sombreada pelo beiral durante a maior parte do tempo em que ocorre insolação e fica desprotegida no período da manhã e final da tarde, o que não acarreta grandes problemas, uma vez que a radiação solar é recebida apenas durante o inverno.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A Figura 50 mostra a máscara de sombra da única janela existente na sala 3B, que está voltada para Sudoeste e recebe insolação no período de verão durante o dia inteiro.

**Figura 50** – Máscara de sombra da abertura da Sala 3B.

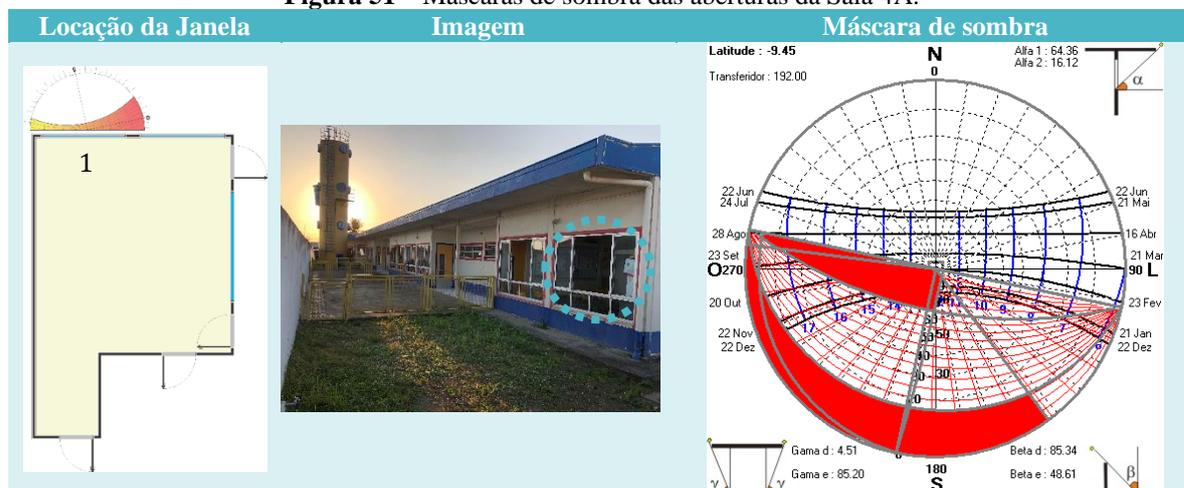


- O sombreamento, é influenciado pelo beiral da cobertura e pelo muro que cerca a edificação, sombreando quase todo período em que a abertura está exposta à incidência solar, sem contemplar apenas o intervalo entre as 17h e 18h dos meses de setembro a fevereiro – o que não acarreta grandes ganhos térmicos no ambiente, pelo fato de a temperatura do ar encontrar-se mais amena neste horário – e durante menos de uma hora a partir do nascer do sol no solstício de verão – período em que o ar ainda não atingiu altas temperaturas.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

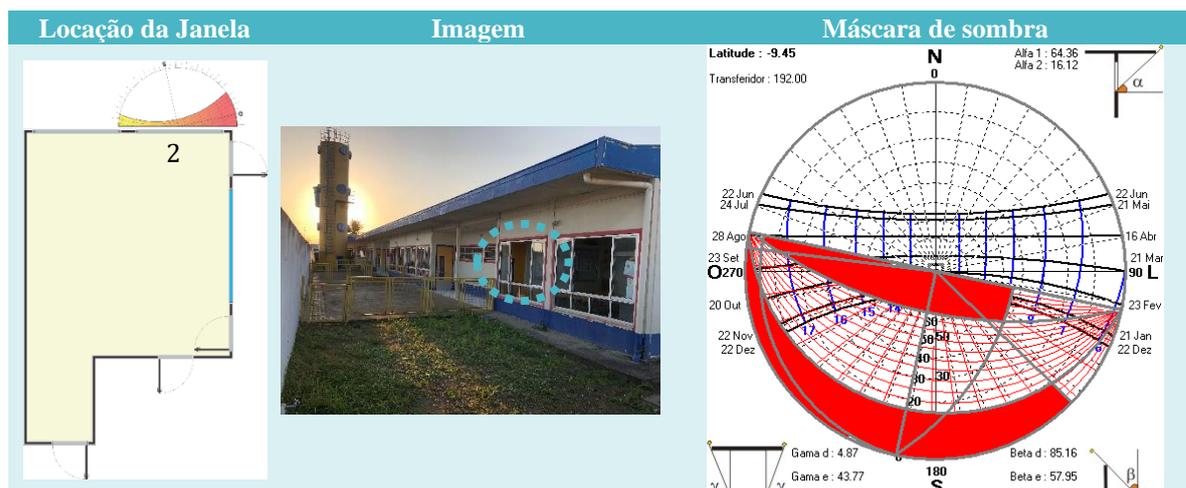
A sala 4A possui duas janelas voltadas para Sudoeste, cujas máscaras de sombra são apresentadas na Figura 51. Ambas recebem incidência dos raios solares durante o verão e contam com o sombreamento produzido pelo beiral da cobertura e pelo muro.

**Figura 51** – Máscaras de sombra das aberturas da Sala 4A.



- O beiral a protege de pouco antes do meio-dia ao final da tarde (entre outubro e fevereiro), enquanto o muro a sombreia de pouco depois das 17h até o pôr do sol, um intervalo de tempo em que o sombreamento não é tão necessário quanto durante o final da manhã e início da tarde, período em que a abertura encontra-se completamente desprotegida e permite a entrada da radiação solar direta.

(continua)

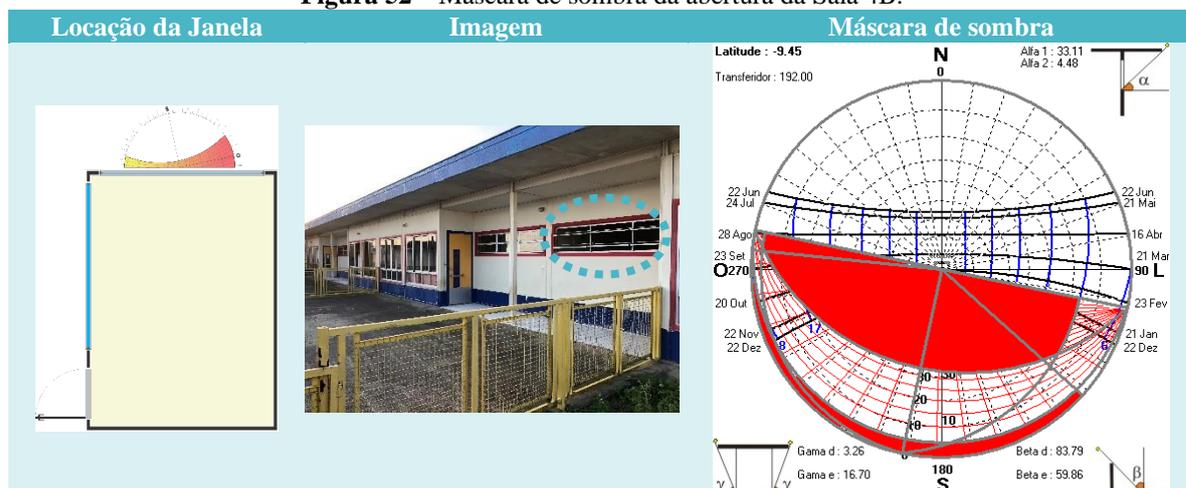


- Possui comportamento semelhante ao da anterior, apresentando uma única diferença: o sombreamento do beiral iniciado por volta das 10h, fato que contribui para um melhor desempenho térmico do ambiente.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A Figura 52 refere-se à sala 4B, que possui apenas uma janela, voltada para Sudoeste, mostra também sua máscara de sombra onde percebe-se a existência de sombreamento no período de verão, desde as 7h até as 17h.

Figura 52 – Máscara de sombra da abertura da Sala 4B.



- O sombreamento é eficiente, protegendo a abertura nos horários em que o ar atinge as maiores temperaturas do dia (das 9h às 15h). Apenas nos horários do nascer do sol até as 7h e das 17h até o pôr do sol a abertura se encontra desprotegida, porém, nestes intervalos, o ar não ainda não tem alcançado altas temperaturas.

Fonte: Adaptado de SOL-AR, 2019.

A partir desta análise, pode-se perceber que as salas 3B e 4B (salas de repouso) apresentam sombreamento mais eficiente que as demais, mesmo estando voltadas para orientações expostas ao sol da tarde. Tal fato, deve-se ao posicionamento de ambas: mais recuadas em relação às vizinhas (salas 3A e 4A), o que acarreta no aumento de tamanho do beiral.

### 4.2.3. Análise das vedações externas (paredes e coberturas)

O Quadro 30 mostra as propriedades térmicas das paredes do CEI Tipo B e os limites estabelecidos para a Zona Bioclimática 8 pela NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013).

**Quadro 30** – Propriedades térmicas das paredes<sup>62</sup> e cobertura<sup>63</sup>.

	Propriedade	Edificação	NBR 15220	NBR 15575
Paredes	Transmitância Térmica	0,52 W/(m <sup>2</sup> .K)	≤ 3,60 W/(m <sup>2</sup> .K)	≤ 3,70 W/(m <sup>2</sup> .K) <sup>64</sup>
	Atraso Térmico <sup>65</sup>	4,70 horas	≤ 4,30 horas	-
	Fator Solar	0,62	≤ 4,00	-
Cobertas	Transmitância Térmica	0,61 W/(m <sup>2</sup> .K)	≤ 2,30FT <sup>66</sup>	≤ 1,50FT W/(m <sup>2</sup> .K) <sup>67</sup>
	Atraso Térmico	4,36 horas	≤ 3,30 horas	-
	Fator Solar	1,47	≤ 6,52	-

Fonte: Adaptado de ABNT (2005) e ABNT (2013).

Nota-se que a Transmitância Térmica e o Fator Solar das paredes e coberturas estão dentro dos limites estabelecidos pelas Normas em questão, apresentando valores significativamente menores que os limites máximos estabelecidos, enquanto o Atraso Térmico das paredes e o da cobertura ultrapassam os valores recomendados pelas normas. Os resultados encontrados são atribuídos às características térmicas dos materiais construtivos do CEI<sup>68</sup>.

Os painéis *Wall System* que compõem as paredes são exibidos na Figura 53, através da qual pode-se observar as camadas e posições de cada componente. As propriedades térmicas dos materiais são apresentadas no ANEXO B.

<sup>62</sup> Compostas por duas camadas de Poliestireno Revestido com Fibra de Vidro (PRFV), duas camadas de gesso acartonado e uma de isopor (EPS). Ver mais detalhes no ANEXO B e no APÊNDICE F.

<sup>63</sup> Composta por duas camadas de PRFV, uma de gesso acartonado e uma de isopor. Ver mais detalhes no ANEXO B e no APÊNDICE F.

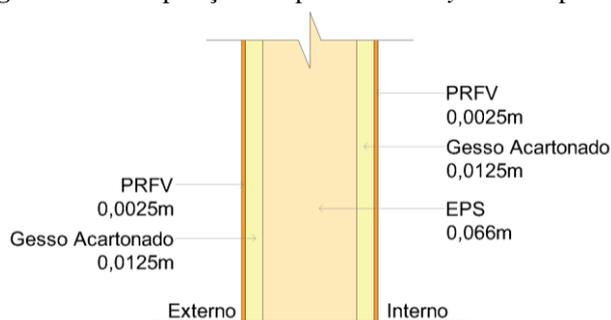
<sup>64</sup> De acordo com ABNT (2013), deve-se considerar  $U \leq 3,70 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  quando  $\alpha \leq 0,6$ . Nas paredes do CEI, considerou-se  $\alpha = 0,3$ . Ver mais detalhes no ANEXO B e no APÊNDICE F.

<sup>65</sup> Atraso Térmico e Fator solar não são critérios considerados pela NBR 15575/2013.

<sup>66</sup> Conforme a NBR 15220-3, para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, considera-se  $FT = 1$ . Assim, tem-se que a Transmitância Térmica recomendada é igual a  $2,30 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ .

<sup>67</sup> De acordo com ABNT (2013), deve-se considerar  $U \leq 1,50.FT \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  quando  $\alpha > 0,4$ . Nas coberturas do CEI, considerou-se  $\alpha = 0,6$ . Ver mais detalhes no ANEXO B e no APÊNDICE F.

<sup>68</sup> Ver ANEXO B.

**Figura 53** – Composição dos painéis *Wall System* das paredes.

Fonte: Autora, 2020.

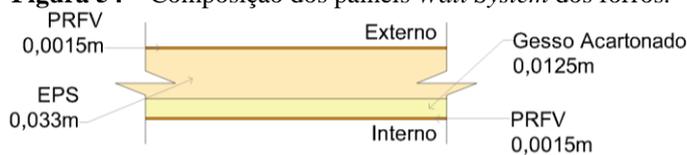
Por meio desta análise, compreende-se que as vedações verticais aplicadas ao projeto são significativamente isolantes<sup>69</sup>, o que, de acordo com os estudos abordados acerca do clima de Arapiraca-AL, pode ser considerado desfavorável ao desempenho térmico desejável a uma edificação situada nesta localidade, quando utilizado em conjunto com grandes quantidades de área envidraçada (NUNES *et al*, 2019; SILVA; NUNES; BARBOSA, 2017; NUNES; SILVA; BARBOSA, 2017; PEREIRA; BARBOSA, 2017; ROCHA; BARBOSA, 2016; TORRES *et al*, 2013).

Devido aos materiais mais externos (PRFV e gesso acartonado) possuírem maior condutividade térmica do que o mais interno (EPS), espera-se que as trocas se deem de fora até o EPS e de dentro até o EPS, dificultando a travessia do calor de uma extremidade para a outra. Deste modo, da mesma forma que é dificultada a passagem de calor do exterior para o interior dos ambientes, também é prejudicada a perda das cargas térmicas interiores para o exterior, o que, somado às áreas envidraçadas existentes, apresentam um quadro em que os ganhos térmicos são facilitados enquanto as perdas são inviabilizadas.

Quanto às coberturas, o sistema é composto por telhas de fibrocimento e forro com painéis *Wall System*, com composição diferente dos painéis usados nas paredes. Além disso, deve-se considerar a câmara de ar não ventilada, situada entre as telhas e o forro. Ao analisar as propriedades dos materiais construtivos em questão<sup>70</sup>, notou-se que o forro (Figura 54), apresenta comportamento semelhante ao das paredes, uma vez que são constituídos pelos mesmos materiais, diferindo o fato de não estar voltado diretamente para o exterior, o que acontece com as paredes externas, e por possuir somente uma camada de gesso acartonado.

<sup>69</sup> Com base nas propriedades térmicas apresentadas para os materiais, no Quadro 44 do ANEXO B e seus respectivos conceitos abordados no Quadro 3.

<sup>70</sup> Ver Quadro 45 do ANEXO B.

**Figura 54** – Composição dos painéis *Wall System* dos forros.

Fonte: Autora, 2020.

A telha de fibrocimento apresenta alta condutividade térmica ( $\lambda = 0,95 \text{ W}/(\text{m.K})$ ), se comparada a dos demais materiais da cobertura (PRFV:  $\lambda = 0,33 \text{ W}/(\text{m.K})$ ; EPS:  $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m.K})$ ; gesso acartonado:  $\lambda = 0,35 \text{ W}/(\text{m.K})$ ), a maior densidade de massa aparente ( $\rho = 2000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) e o menor calor específico ( $c = 0,84 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$ , o mesmo que o gesso acartonado). O fato de o telhado estar exposto à radiação solar direta e alta condutividade térmica do material, facilitam ganhos de carga térmica para o interior da edificação.

Deste modo, compreendida a questão da influência dos materiais no desempenho térmico da edificação, é importante avaliar se os elementos do entorno criam um microclima favorável para a adequação térmica da edificação.

#### 4.2.4. Estudo das estratégias de condicionamento térmico passivo

Para a Zona Bioclimática 8, a NBR 15220 indica apenas uma estratégia de condicionamento térmico passivo: J) Ventilação cruzada permanente (ABNT, 2005). Ao conduzir esta diretriz ao contexto climático de Arapiraca, pode-se afirmar que o uso constante da ventilação não é desejado, uma vez que, no período quente e seco (meses de setembro a março), são registradas temperaturas do ar acima dos  $32^\circ\text{C}$ , que tornam indesejável o uso da ventilação pela carga térmica que adentra os ambientes.

Ao analisar as aberturas para ventilação existentes na edificação, pôde-se perceber que a maior parte das salas analisadas não possui aberturas para saída de ar, necessárias para que a ventilação que entra pela direção predominante possa sair do ambiente, possibilitando as trocas de ar entre o exterior e interior. Estas trocas podem ser viabilizadas quando as portas estiverem abertas. Porém, isto não acontece neste tipo de edificação, uma vez que há riscos de as crianças saírem da sala desacompanhadas e sem o conhecimento do professor. Questões referentes ao conforto acústico também influenciam o fechamento contínuo da porta, uma vez que há momentos em que o pátio é utilizado para atividades de recreação enquanto algumas salas estão em atividades.

As salas 1 e 3A possuem aberturas em faces opostas, porém, em ambas, trata-se de janela alta do tipo basculante, que direciona o vento e dificulta aproveitamento da ventilação

cruzada<sup>71</sup>.

Silva (2019) recomenda, além do uso da ventilação natural, o sombreamento e o resfriamento evaporativo como estratégias de condicionamento térmico, para o clima de Arapiraca. No CEI avaliado, pôde-se observar, quanto à proteção das aberturas (Item 4.2.2 - Estudo de insolação das aberturas), ao sombreamento, apenas as Salas 3B e 4B apresentaram proteção suficiente contra às horas de radiação incidente na fachada.

Quanto ao resfriamento evaporativo, não foram encontradas estratégias bioclimáticas que o favorecessem. Sabendo-se que uma das principais formas de obtê-lo é por meio de vegetação, que permitem que as temperaturas externas do ar sofram decréscimos significativos, pode-se dizer que o CEI apresenta grande potencial para usar esta estratégia, uma vez que possui grandes espaços abertos não edificados, como ilustra a Figura 55, que poderiam ser utilizados para inserção de espécies arbóreas<sup>72</sup>. A vegetação arbórea seria eficiente por promover sombreamento (inclusive nas paredes expostas à radiação) e também resfriamento evaporativo.

**Figura 55** – Área externa da edificação com potencial para implantação de vegetação.



Área posterior



Área frontal

Fonte: Autora, 2019.

<sup>71</sup> Isto será abordado com maiores discussões nos resultados do monitoramento da ventilação natural da avaliação quantitativa do desempenho térmico do CEI.

<sup>72</sup> Apresentam vegetação nativa local, por falta de manutenção, que impossibilitam o uso da área pelas crianças.

Diante destes e dos demais aspectos abordados nesta etapa, vale condensar as informações relatadas de maneira resumida. Para isto, foi elaborada uma Ficha Bioclimática do objeto de estudo.

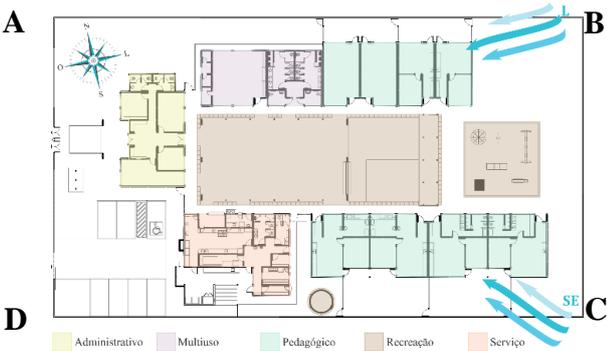
#### 4.2.5. Ficha Bioclimática do CEI

O Quadro 31 apresenta a Ficha Bioclimática do objeto de estudo, onde são explanados de forma gráfica e sintetizada os dados relativos ao seu entorno, implantação, orientação solar, ventilação, setorização e análise das aberturas.

**Quadro 31** – Ficha Bioclimática da CEI.



(continua)

<p><b>Ventos dominantes</b></p>	<p>Os ventos Leste e Sudeste são os mais recorrentes em Arapiraca. Os ventos Sudeste favorecem os setores administrativo, de serviço e o bloco pedagógico da fachada CD, enquanto os ventos advindos do Leste, alcança os setores de serviço e pedagógico, penetrando o de recreação e atingindo o bloco pedagógico da fachada AB e o setor multiuso.</p> 
<p><b>Solução em planta</b></p>	<p>O CEI estudado apresenta setorização bem definida, com separação física dos blocos de uso distintos, dividida nos seguintes blocos: administrativo; de serviços; pedagógico 1 (Creches I e II); pedagógico 2 (Creche III e pré-escola); multiuso; e espaços abertos.</p>
<p><b>Distribuição de aberturas</b></p>	<p>As áreas das janelas variam entre os ambientes de 0,54 a 4,61 m<sup>2</sup>, individualmente, uma vez que a maior parte dos ambientes apresenta mais de uma unidade. As aberturas das salas do bloco pedagógico, pela posição que ocupam, possuem orientação Norte/Sul.</p>

Fonte: Autora, 2019.

De acordo com este levantamento, a implantação da edificação deve proporcionar o aproveitamento dos condicionantes climáticos nas salas de aula, uma vez que a setorização do projeto favoreceu à disposição dos ambientes à adaptação ao terreno.

#### 4.3. ANÁLISE QUANTITATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DO OBJETO DE ESTUDO

A análise foi realizada a partir dos dados obtidos nas duas etapas em que ocorreram os monitoramentos climáticos da edificação (no período quente e úmido e no quente e seco), nas quais foram medidas as variáveis climáticas que exercem influência no desempenho térmico do ambiente.

A exposição dos resultados neste item está organizada da seguinte forma:

- Análise do comportamento térmico das salas monitoradas a partir das médias horárias dos registros dos dois intervalos monitorados;
- Análise do comportamento térmico das salas monitoradas a partir de um dia com extremo rigor térmico nos dois períodos estudados;
- Análise de conforto térmico e demandas de uso de estratégias bioclimáticas nas salas nos dois períodos;
- Análise do desempenho térmico das paredes das salas em diferentes horários do dia, para os dois períodos, a partir dos dados de temperatura superficial;
- Estudo da velocidade dos ventos nas salas e sua influência na obtenção de conforto

térmico nos ambientes internos;

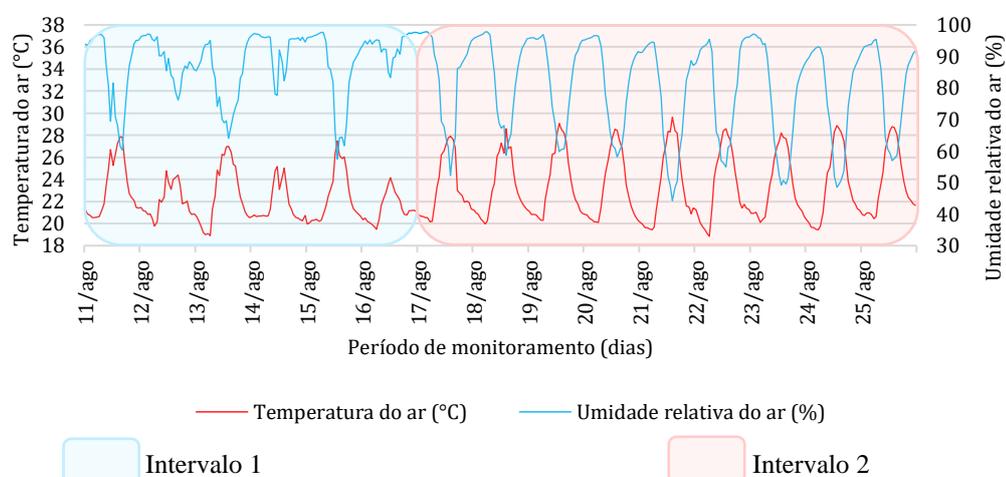
- f) Avaliação do conforto térmico dos usuários pelo modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55*: através da análise da temperatura operativa das salas frente aos limites de conforto proporcionados pela temperatura do ar externa.

#### 4.3.1. Panorama geral do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar nos períodos de monitoramento

Como discutido anteriormente, o clima de Arapiraca é caracterizado por dois períodos definidos como quente e úmido (de abril a setembro) e quente e seco (de outubro a março).

O Gráfico 12 expõe a plotagem dos dados externos de temperatura e umidade relativa do ar monitorados no período quente e úmido entre os dias 11 e 25 de agosto de 2019.

**Gráfico 12** – Variação da temperatura e umidade relativa do ar no exterior da edificação durante o monitoramento no período quente e úmido (11 a 25 de agosto de 2019).



Fonte: Autora, 2020.

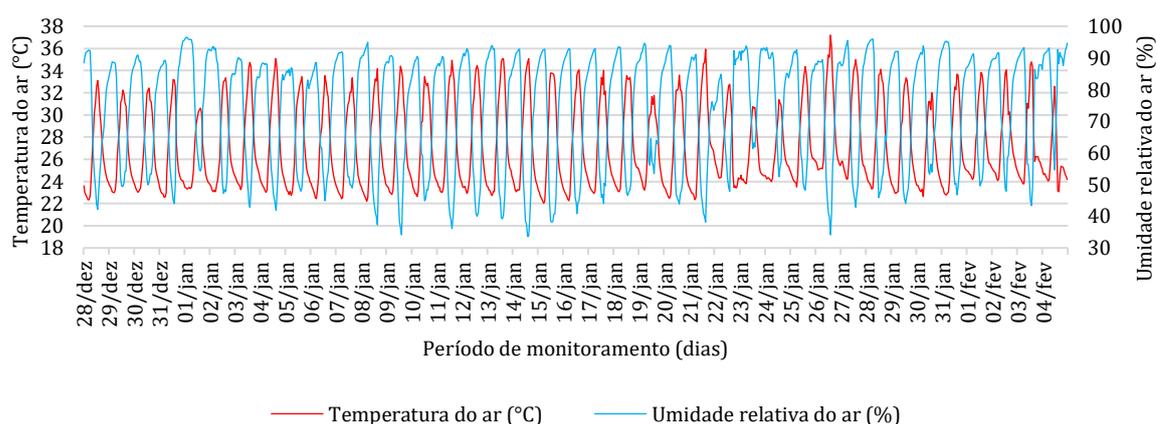
Nele, observa-se dois padrões de variação de temperatura do ar: o primeiro, do dia 11/08 ao dia 16/08, registra temperaturas mais baixas e variações descontínuas, apresentando picos de aumento e diminuição em curtos espaços de tempo; e o segundo, do dia 17/08 ao dia 25/08, apresenta temperaturas mais elevadas, com variações contínuas. Esta variação se deve ao fato de o monitoramento ter sido realizado em um intervalo de transição climática, quando diminuam-se as chuvas (primeiro intervalo) e iniciava-se o período mais seco antes do início do verão.

Quanto à umidade relativa do ar, constatou-se que, assim como a temperatura, apresentou períodos com padrões de comportamento distintos: o Intervalo 1 apresenta altos níveis de umidade com picos de aumento e diminuição em curtos espaços de tempo, no qual os menores registros, ainda que dos horários diurnos, foram significativos; e o Intervalo 2,

apresenta maior continuidade na variação e menores registros durante os períodos diurnos, resultando em uma amplitude maior que a do intervalo anterior.

Diferentemente, no monitoramento do período quente e seco, como pode-se atentar no Gráfico 13 (de 28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020), observa-se registros de temperatura do ar mais elevados e de umidade relativa do ar menores que os que ocorreram no período quente e úmido, por se tratar de um período caracterizado majoritariamente por aridez e poucos registros de precipitação, com ausência de nebulosidade, o que favorece a incidência da radiação direta nas superfícies da Terra.

**Gráfico 13** – Variação da temperatura e umidade relativa do ar no exterior da edificação durante o monitoramento no período quente e seco (28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020).



Fonte: Autora, 2020.

Neste sentido, destaca-se a diferença de comportamento climático entre os dois períodos quando os registros máximos de temperatura do ar do período quente e seco são superiores aos registros máximos do quente e úmido, e as umidades mínimas atingidas pelo período quente e seco apresentam-se inferiores às mínimas do período quente e úmido. A temperatura máxima atingida no período quente e seco foi 7,6°C maior que a do período quente e úmido e a mínima, 3,2°C<sup>73</sup>; a umidade relativa máxima no período quente e úmido variou +1,3% em relação ao período quente e seco e a mínima, +10,6%.

Considerando as variações apresentadas entre os dois períodos no meio externo, investiga-se a seguir o desempenho térmico das salas analisadas quando submetidas às supracitadas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

<sup>73</sup> Os dados de temperatura do ar média, mínima e máxima e amplitudes térmicas diárias para os dois períodos de monitoramento podem ser visualizados no APÊNDICE G.

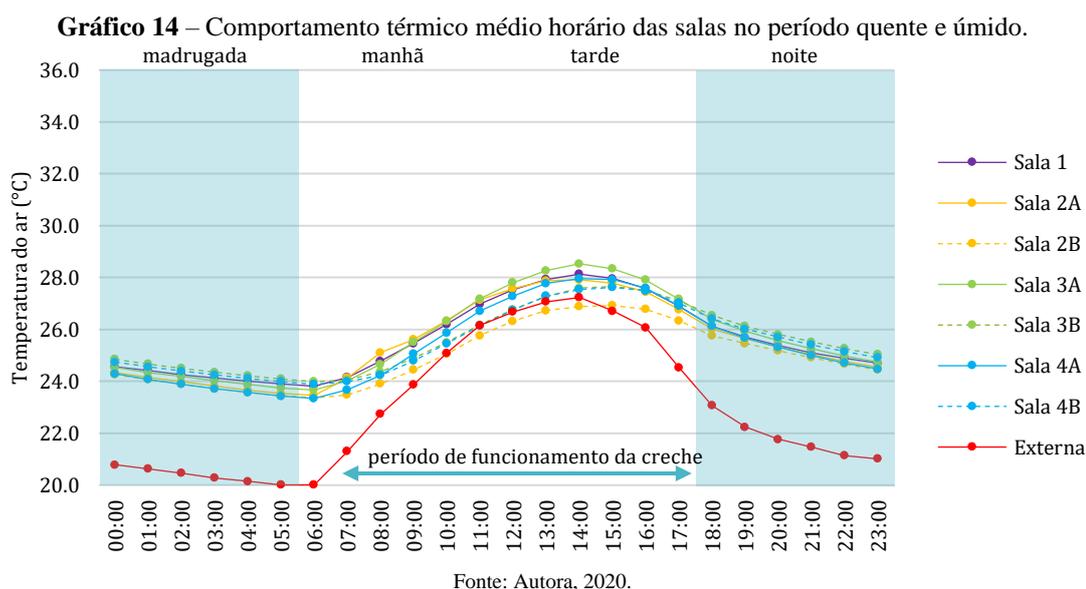
### 4.3.2. Análise do desempenho térmico das salas de aula quanto às condições de temperatura do ar

Este tópico está dividido por duas análises: exploratória e estatística. Na primeira, os dados foram descritos e analisados de acordo com as propriedades apresentadas pela temperatura do ar no interior das salas nos dias médio e extremo dos dois períodos monitorados. Na segunda, as hipóteses levantadas na análise exploratória foram analisadas estatisticamente, de modo a inferir a validade de tais resultados.

#### 4.3.2.1. Análise exploratória

Aqui, o desempenho térmico das salas foi analisado a partir da média dos valores horários de temperatura do ar registrados durante os dois períodos de monitoramento e dos dias que apresentaram o maior registro no meio externo de cada período, com o intuito de verificar o comportamento das salas quando submetidas à temperaturas extremas.

Para o período **quente e úmido** (abril a setembro), o Gráfico 14 dispõe do comportamento médio horário da temperatura do ar no ambiente externo e nas salas monitoradas.



A análise das temperaturas horárias médias durante o período de monitoramento permitiu observar que, durante a madrugada, as salas possuem comportamentos análogos, com reduzida diferença térmica entre si. As salas 2A, 2B e 4A apresentaram as menores temperaturas do ar, cuja diferença dos valores médios registrados nas demais salas não ultrapassou 0,7°C. O fato dessas salas possuírem mais de uma parede exposta ao exterior deve ter contribuído para este resultado. Entretanto, destaca-se que, durante a madrugada, todas as salas permaneceram

mais aquecidas do que a temperatura do ar externo, com diferença em torno de 3,5°C. Este comportamento pode ser compreendido pelo fato das aberturas (portas e janelas) terem permanecido fechadas durante o experimento, não permitindo, assim, a renovação do ar aquecido no dia anterior, dificultando também a perda de calor para o ambiente exterior, devido ao isolamento térmico proporcionado pelos materiais das paredes e forro.

No período da manhã, observou-se que a amplitude térmica da temperatura do ar no interior das salas ocorreu de forma mais lenta em relação à amplitude térmica da temperatura do ar externo, diferindo cerca de 2,0°C. As salas com maior área envidraçada registraram aquecimento mais acelerado, evidenciando a influência das áreas envidraçadas no aquecimento do ar interno. No período entre 7h e 12h, as salas 3A e 4A apresentaram aquecimento médio<sup>74</sup> de 3,8°C e 3,6°C, respectivamente, seguido pelas salas 1 e 2A com aquecimento médio de 3,4°C, ambas.

Entre as salas com menor aquecimento, a Sala 2B apresentou as menores médias de temperatura do ar neste período do dia, o que pode ser atribuído ao fato de ser a que, entre elas, possui menor área envidraçada e menor volume, além de as paredes voltadas ao exterior estarem orientadas para Leste e Sul, sendo a maior delas para Leste.

No período vespertino, as diferenças térmicas entre as salas foram evidenciadas. As maiores médias foram registradas às 14h, com exceção das salas 3B e 4B que apresentaram a média máxima às 15h<sup>75</sup>. Dentre as salas com maiores temperaturas do ar registradas, a Sala 3A apresentou a média com maior máxima, chegando a 28,5°C. Neste horário, a média da temperatura do ar externo foi de 27,2°C. A sala 2B apresentou a média com menor máxima, 26,9°C, sendo a única sala a registrar média máxima inferior à temperatura do ar externo. As salas 3B e 4B também apresentaram média máxima menor que as demais salas, com valores 27,7°C e 27,6°C, respectivamente, embora maior que a média da temperatura do ar exterior de 26,7°C, para o mesmo horário. Deste modo, observa-se que as salas menores (2B, 3B e 4B), registraram as menores médias no período vespertino, sendo as salas que possuem menores áreas envidraçadas, além disto, outro fator contribuinte é a posição delas, uma vez que a sala 2B, com posicionamento oposto à 3B e 4B, apresentou dados menores, ainda que não seja a que possui menor área envidraçada, amortecendo 0,3°C.

---

<sup>74</sup> O aquecimento médio entre 7h e 12h é o quanto a temperatura variou positivamente das 7h às 12h.

<sup>75</sup> As temperaturas do ar médias horárias das salas e externa do período quente e úmido podem ser verificadas na Tabela 24 do APÊNDICE I.

No início da noite, às 18h, as temperaturas do ar nas salas voltaram a ser semelhantes entre si, com diferenças térmicas média não superiores a 0,7°C. Esse comportamento é similar ao observado durante a madrugada e se manteve durante toda a noite. A Tabela 11 expõe, resumidamente, o comportamento térmico das salas analisadas no período.

**Tabela 11** – Dados médios das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo, no período quente e úmido.

Variáveis		Externa	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Temp. do ar	Máx.	27,2	28,1	27,9	26,9	28,5	27,7	28,0	27,6
	Mín.	20,0	23,8	23,5	23,4	23,7	24,0	23,3	23,9
	Méd.	23,2	25,7	25,6	25,1	25,8	25,7	25,5	25,6
Amplitude térmica		7,2	4,3	4,5	3,6	4,9	3,7	4,6	3,7

Fonte: Autora, 2020.

Nota-se que a amplitude térmica de todas as salas foi inferior à externa, ressaltando que a amplitude da temperatura do ar externo foi maior que o das salas. A Sala 3A a que apresentou maior aquecimento diário (2,3°C menor que a externa) e a 2B, menor (3,6°C a menos que a externa), havendo uma diferença de 1,3°C entre elas.

Tomando-se as salas com comportamentos extremos, observa-se clara divergência entre os desempenhos térmicos das Salas 2B e 3A: a Sala 2B, com a menor máxima (26,9°C); e a Sala 3A, que registrou a maior temperatura entre as salas (28,5°C), diferenciando-se +1,3°C da temperatura externa e +1,6°C da registrada pela Sala 2B.

Cinco critérios foram considerados responsáveis por estes comportamentos e atuam da seguinte forma: (a) a janela da Sala 2B é a segunda menor entre as demais<sup>76</sup>, enquanto a da Sala 3A é a maior<sup>77</sup>, resultando também na maior **área envidraçada**; (b) a **localização** da Sala 2B no bloco proporciona que duas paredes estejam voltadas ao meio externo, recebendo insolação direta; porém, (c) a **orientação** destas (Leste e Sul), favorece que a radiação incidente seja menor, pois é restrita apenas ao período matutino, e a Sala 3A está localizada entre outras salas, recebendo radiação direta também em duas paredes, mas com orientações mais críticas (Norte e Sul<sup>78</sup>); (d) o segundo menor **volume** é da Sala 2B e o maior, da 3A; e, (e) conseqüentemente, estas posições se repetem em relação à **área de vedações verticais**, que influenciam diretamente na temperatura do ar interno dos ambientes, principalmente tratando-se do material do qual são compostos os painéis que vedam o projeto.

A influência destes critérios foi sugerida também nos demais dias analisados a seguir,

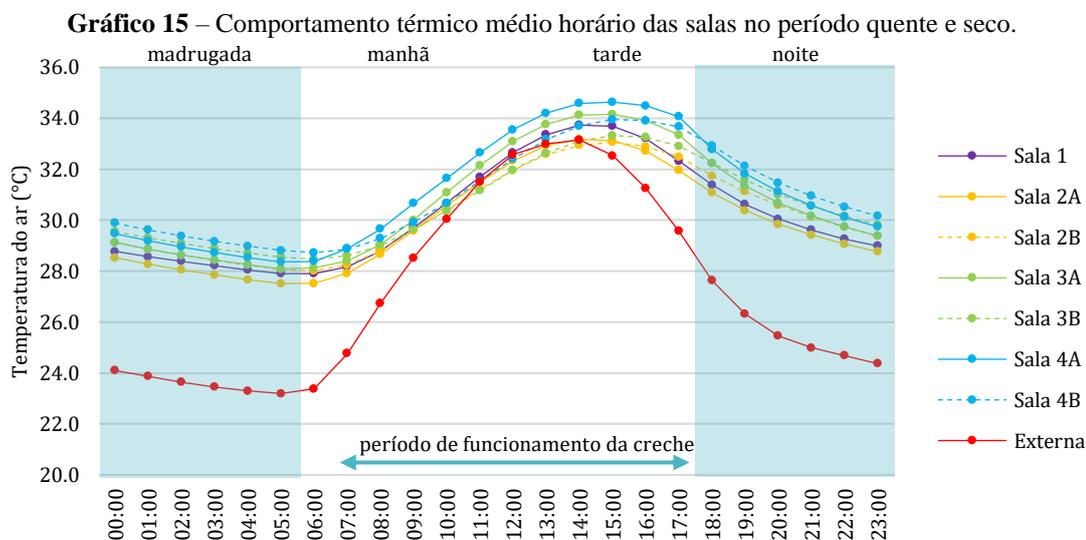
<sup>76</sup> Apesar de ser envidraçada, toda a sua área pode ser aberta e considerada efetiva para ventilação, porém, isto não pode ser considerado nesta análise, pois as janelas foram mantidas fechadas durante o monitoramento.

<sup>77</sup> De toda sua área envidraçada, menos da metade pode ser aberta para entrada de ar.

<sup>78</sup> A parede voltada para Sul tem uma leve inclinação para Oeste, recebendo insolação direta vespertina.

de modo que, na análise estatística, os dados possam atestar tais correlações.

Para o período **quente e seco** (outubro a março), o Gráfico 15 apresenta o comportamento médio horário da temperatura do ar no ambiente externo e nas salas.



A análise das temperaturas horárias médias durante o período de monitoramento permitiu observar que, durante a madrugada, as salas possuem comportamentos análogos, porém as diferenças térmicas entre as mesmas alcançaram 1,4°C, sendo maiores que as observadas no período quente e úmido. A sala 2A registrou as menores médias de temperatura do ar, ao tempo que a sala 4B manteve-se mais aquecida, seguida pelas salas 4A e 3B. Cabe salientar que estas salas possuem orientação Sul, portanto, mais expostas à incidência de radiação solar durante o verão.

Assim como no período quente e úmido, todas as salas permaneceram mais aquecidas do que a temperatura do ar externo durante a madrugada, com diferenças maiores que as observadas no período anterior, chegando a 4,4°C nas salas com orientação Sul.

No período da manhã, observou-se acentuado aquecimento da sala 4A, seguida pela sala 3A, com aumento de 4,7°C entre o período de 7h às 12h. Ambas as salas estão orientadas para Sul – o que as deixa sujeitas a maior insolação do que no período úmido – e possuem as maiores áreas envidraçadas entre todas as salas monitoradas: 6,66m<sup>2</sup> e 7,02m<sup>2</sup>, respectivamente. As salas 2B, 3B e 4B, por outro lado, registraram aquecimento menos intenso, com aumento de 3,7°C, 3,7°C e 3,5°C, respectivamente. Cabe destacar que estas salas possuem as menores áreas de janela envidraçada voltadas para o exterior, evidenciando que esta variável possui influência direta no aquecimento diurno das salas monitoradas, juntamente com as condições de sombreamento.

Assim como no período quente e úmido, à tarde, as diferenças térmicas entre as salas ficaram ainda mais evidenciadas. As maiores médias foram registradas às 14h nas salas orientadas para Norte, e às 15h nas salas orientadas para Sul<sup>79</sup>. Entre estes horários, as diferenças médias entre as temperaturas do ar nas salas chegaram a 1,7°C, registrado entre a sala 4A, mais aquecida (34,6°C), e a sala 2B, menos aquecida (32,9°C), às 14h. Entretanto, as maiores diferenças térmicas entre as salas ocorreram às 17h, quando foi observado resfriamento mais acelerado nas salas orientadas para o Norte, quando a diferença térmica em relação às salas orientadas para o Sul chegou a 2,1°C, entre as salas 4A, mais aquecida (34,1°C), e 2A, menos aquecida (32,0°C). Cabe destacar, ainda, que o ar interno de todas as salas registrou médias de temperaturas do ar próximas às médias registradas no ar externo.

Às 14:00 as salas tiveram comportamento diferente do período anterior. A Sala 2B, apesar de apresentar temperatura inferior à externa, 32,9°C, dista apenas 0,2°C, valor indiferente se comparado à precisão do equipamento; as Salas 2A e 3B apresentaram, tecnicamente, a mesma média do meio externo, 33,2°C e 33,1°C, respectivamente; as Salas 1 e 4B tiveram o mesmo comportamento médio, com registro de 33,7°C (acima do externo); a Sala 4A, diferentemente do período anterior, registrou temperatura maior que as demais salas, 34,6°C; e a Sala 3A, mais quente do período anterior, desta vez, apresentou um registro intermediário, 34,1°C, entre as Salas 1 e 4A.

No início da noite, às 18h, as temperaturas do ar nas salas voltaram a apresentar comportamento térmico seguindo o mesmo padrão observado durante a madrugada, com diferenças térmicas em torno de 4,4°C entre as salas e o exterior.

A Tabela 12 sintetiza os dados do dia médio do período quente e seco.

**Tabela 12** – Dados médios das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo, no período quente e seco.

Variáveis		Ext.	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Temperatura do ar	Máx.	33,1	33,7	33,2	33,1	34,2	33,3	34,6	34,0
	Mín.	23,2	27,9	27,5	28,0	28,1	28,5	28,4	28,7
	Méd.	27,5	30,4	30,1	30,4	30,8	30,7	31,3	31,1
Amplitude térmica		10,0	5,8	5,7	5,1	6,1	4,9	6,3	5,2

Fonte: Autora, 2020.

Quanto à amplitude térmica, seguiu o mesmo comportamento do período anterior, porém, com valores superiores, sendo a externa 2,8°C mais alta que no período quente e úmido e as salas, em média, +1,4°C.

<sup>79</sup> As temperaturas do ar médias horárias das salas e externa do período quente e seco podem ser verificadas na Tabela 25 do APÊNDICE I

Ao analisar tais dados, atenta-se que a temperatura máxima do ar externo no dia médio foi 5,9°C mais alta que a média máxima do período quente e úmido. A apresentação de médias superiores se repetiu ainda na mínima (+3,2°C) e na média (+4,3°C), deixando claro que os dois períodos apresentaram variações significativas de temperatura do ar, que caracterizam os dois períodos distintos<sup>80</sup>.

Nas salas, observou-se que o comportamento se repetiu, de modo que todas apresentaram temperaturas superiores aos registros do período quente e úmido, com destaque para as salas 4A e 4B, que tiveram os maiores aquecimentos em relação ao período anterior (6,6°C e 6,4°C, respectivamente), sendo a 4A a que apresentou as maiores diferenças. Ressalta-se que as paredes destas salas expostas ao exterior estão voltadas para Sul, recebendo maiores cargas térmicas que as demais. A sala 4A – que possui maior área de piso, duas paredes voltadas ao exterior, maior área envidraçada e menor sombreamento de aberturas que a 4B – apresentou diferença ainda maior. A sala 1 teve as menores diferenças em relação às temperaturas médias do período anterior, mesmo possuindo a maior área de piso entre as demais e área envidraçada maior que as Salas 2B, 3B e 4B.

Ao perceber as evidentes diferenças de comportamento das salas entre os períodos analisados – tendo em vista que, a partir do comportamento médio horário, o desempenho das salas foi semelhante: com temperaturas do ar médias acima da média externa – optou-se, ainda, pela análise deste comportamento em dias extremos<sup>81</sup>, quando foi atingida a maior temperatura do ar de cada intervalo de monitoramento.

O dia extremo adotado para análise no período **quente e úmido** foi o dia 19/08/2019, que apresentou o segundo maior registro de temperatura do ar<sup>82</sup> (29,1°C às 13h), cuja máxima foi 1,9°C mais elevada do que a média máxima para o período monitorado. A menor temperatura registrada foi de 20,3°C, 0,3°C a mais que a média mínima; com aumento de 1,5°C de amplitude térmica. A Tabela 13 apresenta os registros descritivos deste dia e o Gráfico 16, o comportamento da temperatura do ar nas salas e externa.

---

<sup>80</sup> Como discutido anteriormente na caracterização climática da cidade de Arapiraca.

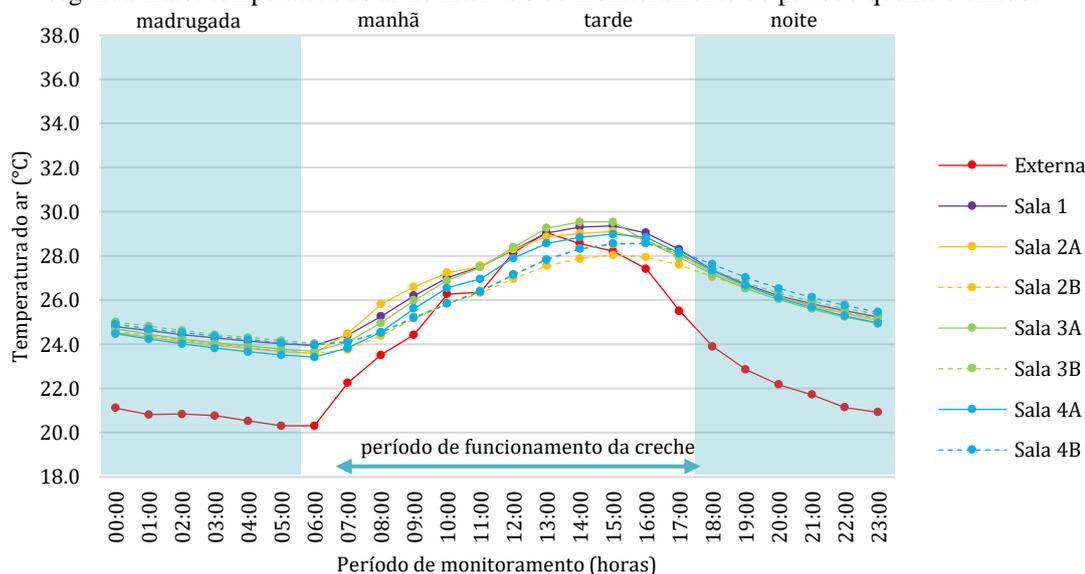
<sup>81</sup> O APÊNDICE G apresenta o desempenho térmico das salas e o APÊNDICE H, comportamento diário das temperaturas do ar externo nos dois períodos de monitoramento.

<sup>82</sup> O dia que registrou a maior temperatura não foi adotado nesta análise por ter sido o dia em que foram realizadas as medições pontuais do período (21/08/2019), quando as janelas permaneceram abertas durante o período diurno, o que influencia diretamente no comportamento da temperatura interna das salas.

**Tabela 13** – Dados das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo no dia 19 de agosto de 2019, que apresentou a segunda maior temperatura do ar no monitoramento do período quente e úmido.

Variáveis		Ext.	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Temperatura do ar	Máx.	29,1	29,4	29,1	28,1	29,5	28,6	29,0	28,6
	Mín.	20,3	24,0	23,6	23,6	23,7	24,1	23,4	24,0
	Méd.	23,6	26,3	26,2	25,7	26,1	26,0	25,9	26,0
Amplitude térmica		8,7	5,4	5,5	4,5	5,9	4,5	5,6	4,6

Fonte: Autora, 2020.

**Gráfico 16** – Variação da temperatura do ar interna das salas, durante o dia 19 de agosto, que apresentou a segunda maior temperatura do ar no intervalo de monitoramento do período quente e úmido.

Fonte: Autora, 2019.

Durante a madrugada, o comportamento das salas assemelhou-se ao que foi observado nas médias horárias do mesmo período: as salas 2A, 2B e 4A apresentaram as menores temperaturas do ar, com diferenças de até 0,5°C das demais; e todas as salas se mantiveram com temperatura do ar maior que a externa, com registros internos variando cerca de +3,5°C.

No período da manhã, a partir das 10h, o comportamento das salas passa a diferir do que aconteceu no dia médio, apresentando amortecimento térmico nas salas. Além da Sala 2B, as Salas 3B e 4B (as três menores e com as menores áreas envidraçadas entre as salas analisadas) apresentaram temperaturas inferiores à externa. Às 12h, as Sala 4A passa a apresentar o mesmo comportamento, e às 13h, as Salas 1 e 2A. Este amortecimento se repetiu ainda no período vespertino até às 15h, quando o comportamento passa a se assemelhar ao apresentado no dia médio: apenas a Sala 2B mantém o amortecimento e, na próxima hora, todas as salas param de acompanhar o ritmo de resfriamento do meio externo, voltando a repetir, no período noturno, desempenho semelhante ao da madrugada, chegando a diferir, em média, +4,0°C da temperatura externa.

Para o período **quente e seco**, observou-se que a temperatura do ar se apresentou

superior ao dia médio com máxima  $4,1^{\circ}\text{C}$  maior que a média máxima e a mínima, com  $1,8^{\circ}\text{C}$  acima da média mínima, em relação aos dados externos. Consequentemente, a amplitude térmica do dia foi maior que a resultante do dia médio, variando  $+2,2^{\circ}\text{C}$ .

Deste modo, assim como no período quente e úmido, no dia extremo do período quente e seco, o desempenho térmico das salas diferiu do apresentado pelo dia médio do mesmo período. O dia 26/01/2020, registrou a maior temperatura do ar externo deste intervalo de monitoramento, fato que refletiu nos registros internos das salas, conforme dados expostos na Tabela 14.

**Tabela 14** – Dados das variáveis climáticas das salas monitoradas e do meio externo no dia 26 de janeiro de 2020, que apresentou a maior temperatura no monitoramento do período quente e seco.

Variáveis		Ext.	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Temperatura do ar	Máx.	37,2	34,7	34,6	33,9	35,0	34,1	35,3	34,7
	Mín.	25,0	28,4	28,0	28,4	28,4	28,8	28,6	28,9
	Méd.	29,0	30,8	30,6	30,7	31,1	31,1	31,3	31,3
Amplitude térmica		12,2	6,3	6,6	5,5	6,6	5,3	6,6	5,7

Fonte: Autora, 2020.

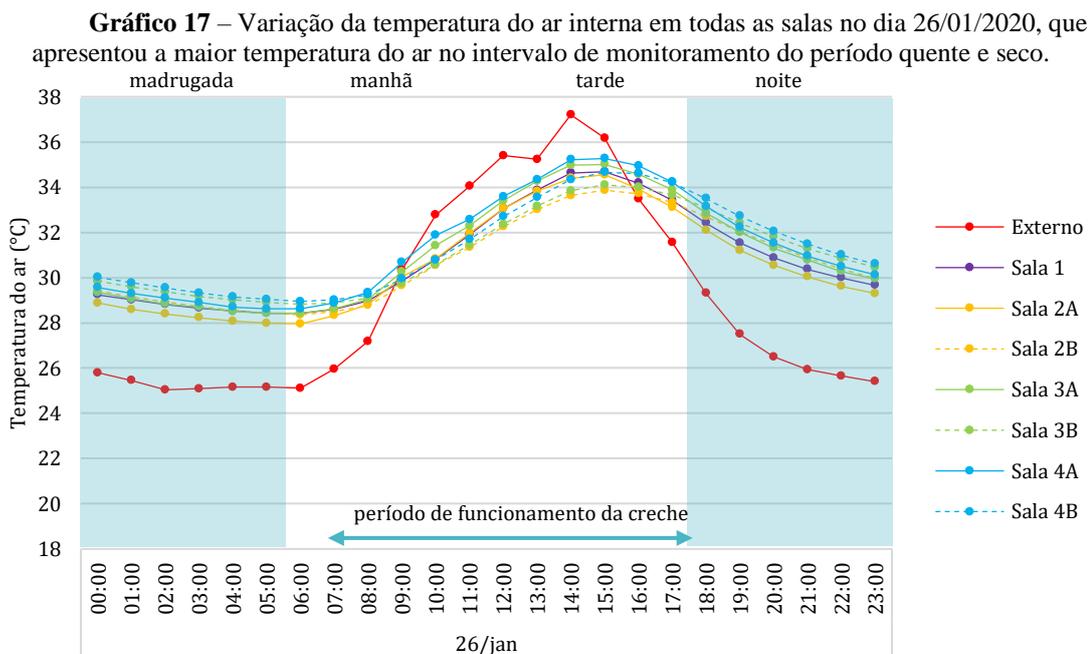
Todas as salas apresentaram temperatura do ar acima dos registros médios, sendo a sala 2A a que evidenciou maior diferença, com aumento de  $1,4^{\circ}\text{C}^{83}$ , enquanto as Salas 4A e 4B apontaram a menor diferença, ambas distando  $0,7^{\circ}\text{C}$  do valor médio.

O desempenho térmico das salas quanto à temperatura do ar é representado no Gráfico 17, no qual é possível observar que, na madrugada, o comportamento assemelha-se ao que ocorrera nas análises anteriores: acima do registro externo, com diferença média entre o ar externo e o das salas de  $3,7^{\circ}\text{C}$ . Porém, no intervalo das 9h às 15h, as temperaturas de todas as salas apresentam-se inferiores à temperatura do ar externo, o contrário do que ocorreu no dia médio. O maior amortecimento térmico se dá às 14h, quando o ar externo atinge a maior temperatura do dia e a Sala 2B apresenta temperatura  $3,6^{\circ}\text{C}$  a menos que a externa e a 4A,  $2,0^{\circ}\text{C}$  a menos.

Às 9h, apesar das temperaturas do ar nas salas continuarem aumentando, nota-se que a velocidade do aquecimento é inferior à do meio externo. Neste momento, apenas a Sala 4A, que teve o pior desempenho em todo o período quente e seco, apresenta registro acima do externo ( $+0,3^{\circ}\text{C}$ ), que não é significativo. A partir das 10h até as 15h, todas as salas apresentam amortecimento térmico. Às 16h, o ar externo e as salas já estão em processo de resfriamento, porém o das salas dá-se mais vagarosamente, fazendo com que voltem a apresentar temperaturas mais elevadas que a do exterior e, chegando à noite com comportamento térmico

<sup>83</sup> Valor referente à diferença entre os registros máximos.

semelhante ao da madrugada.



Deste modo, verifica-se que o comportamento da temperatura do ar nas salas em dias extremos diverge do comportamento médio dos períodos<sup>84</sup>, onde não há amortecimento térmico. A Tabela 15 expõe as diferenças de temperatura do ar e amplitude térmica entre os dias analisados.

**Tabela 15** – Síntese de temperatura do ar e amplitude térmica entre os dias médios e extremos analisados para os dois períodos.

	Variáveis	Ext.	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Dia médio do período quente e seco	T <sub>máx</sub>	33,1	33,7	33,2	33,1	34,2	33,3	34,6	34,0
	T <sub>med</sub>	27,5	30,4	30,1	30,4	30,8	30,7	31,3	31,1
	Amp.	10,0	5,8	5,7	5,1	6,1	4,9	6,3	5,2
Dia médio do período quente e úmido	T <sub>máx</sub>	27,2	28,1	27,9	26,9	28,5	27,7	28,0	27,6
	T <sub>med</sub>	23,2	25,7	25,6	25,1	25,8	25,7	25,5	25,6
	Amp.	7,2	4,3	4,5	3,6	4,9	3,7	4,6	3,7
Dia extremo do período quente e seco	T <sub>máx</sub>	37,2	34,7	34,6	33,9	35,0	34,1	35,3	34,7
	T <sub>med</sub>	29,0	30,8	30,6	30,7	31,1	31,1	31,3	31,3
	Amp.	12,2	6,3	6,6	5,5	6,6	5,3	6,6	5,7
Dia extremo do período quente e úmido	T <sub>máx</sub>	29,1	29,4	29,1	28,1	29,5	28,6	29,0	28,6
	T <sub>med</sub>	23,6	26,3	26,2	25,7	26,1	26,0	25,9	26,0
	Amp.	8,7	5,4	5,5	4,5	5,9	4,5	5,6	4,6

Fonte: Autora, 2020.

De modo geral, as maiores diferenças de comportamento das salas ocorreram entre o dia médio do período quente e seco e o dia médio do período quente e úmido, e as menores, entre os dias extremo e médio do período quente e seco.

<sup>84</sup> Com base na amostra de tempo em que foi realizado o monitoramento.

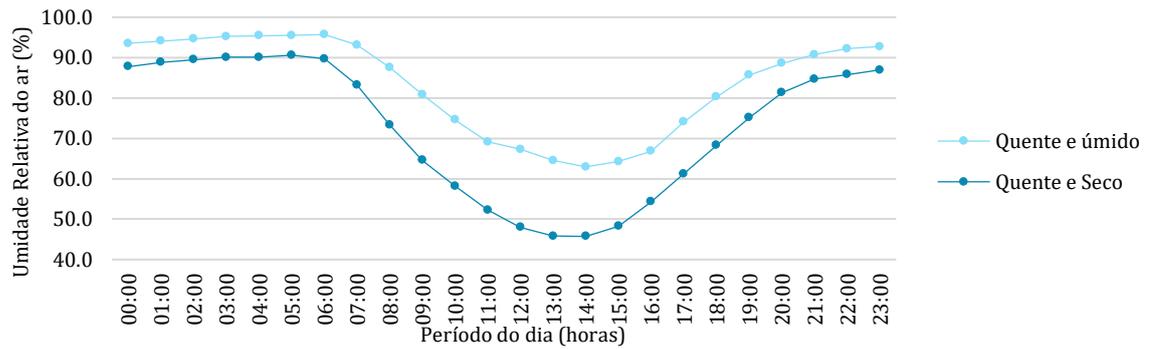
Ao tratar de diferenças entre os dois períodos, tanto entre dias extremos quanto entre dias médios, a Sala 4A apresentou as maiores diferenças de comportamento, enquanto a Sala 2A teve as menores. Ambas estão localizadas em orientações opostas, mas possuem configuração, áreas de piso e áreas envidraçadas semelhantes. Quanto às relações entre dia extremo e dia médio de mesmo período, a situação se inverteu: as maiores diferenças de comportamento aconteceram na Sala 2A, e a Sala 4A teve as menores. Isto é evidenciado pelo fato de a Sala 2A ter apresentado registros sempre menores que os da 4A nos dias analisados.

No período quente e úmido, identificou-se que: para o dia médio, com média máxima externa de  $27,2^{\circ}\text{C}$ , as salas analisadas, com exceção da 2B, apresentaram temperaturas médias do ar acima dos registros externos; e para o dia extremo (com temperatura máxima de  $29,1^{\circ}\text{C}$ ), as salas, exceto a 3A, apresentaram amortecimento. No período quente e seco, constatou-se que: no dia médio, a  $33,1^{\circ}\text{C}$  (máxima da temperatura do ar externo), apenas a Sala 2B teve temperatura máxima abaixo da externa; e, no dia extremo, todas as salas tiveram amortecimento significativo no período diurno, quando o registro externo chegou a  $37,2^{\circ}\text{C}$ . Analisando estas informações, pode-se perceber que o valor que a temperatura do ar atinge influencia no comportamento das Salas, mas não define a condição de amortecimento térmico, uma vez que ocorreu a  $29,1^{\circ}\text{C}$  no período quente e úmido, mas, a  $33,1^{\circ}\text{C}$  do período quente e seco, o comportamento das salas assemelhou-se ao que ocorre a  $27,2^{\circ}\text{C}$  do anterior, mostrando que, para máximas semelhantes, nem sempre ocorrem os mesmos amortecimentos.

Assim, pode-se compreender a influência de outras variáveis climáticas no desempenho térmico da edificação: (a) a umidade relativa do ar, característica do período quente e úmido, cuja influência direta na temperatura do ar já é de conhecimento consolidado, sendo, por definição, inversamente proporcional à esta; e (b) a radiação solar direta incidente na edificação, que contribui diretamente para as trocas de calor pelas vedações.

Neste sentido, observa-se que a umidade relativa do ar do período quente e úmido, significativamente maior que a do período quente e seco, como mostra o Gráfico 18, influencia na dessemelhança das temperaturas entre dia médio e dia extremo, de modo que, em dias mais quentes, a umidade do ar externo diminui, enquanto as umidades internas das salas permanecem as mesmas, uma vez que, as salas estavam completamente fechadas e não possuem estratégias de umidificação do ar. Quanto à radiação solar, sabe-se que no período quente e úmido, devido à maior presença de umidade, é possível verificar maior nebulosidade, que bloqueia parte da radiação solar, enquanto no quente e seco, os episódios de céu claro, sem nebulosidade, possibilitam a passagem de uma parcela maior de raios solares às superfícies incidentes.

**Gráfico 18** – Umidades dos dias médios de dos dois períodos de monitoramento climático da edificação.



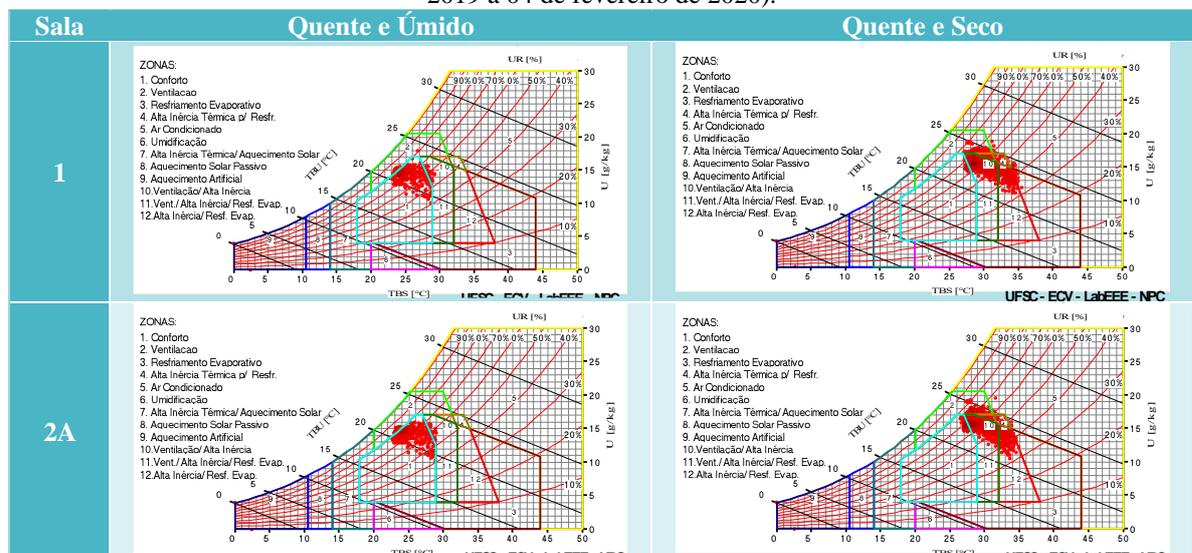
Fonte: Autora, 2020.

Sabendo-se da quantidade de áreas envidraçadas presentes nas salas e que o vidro comum é opaco à radiação de onda longa, entende-se que, em dias de alta nebulosidade – quando parte da radiação é dissipada pelas nuvens em forma de calor –, ainda que a temperatura esteja maior que a média, reduz-se a radiação direta, que é a principal responsável pelos ganhos de calor do ambiente.

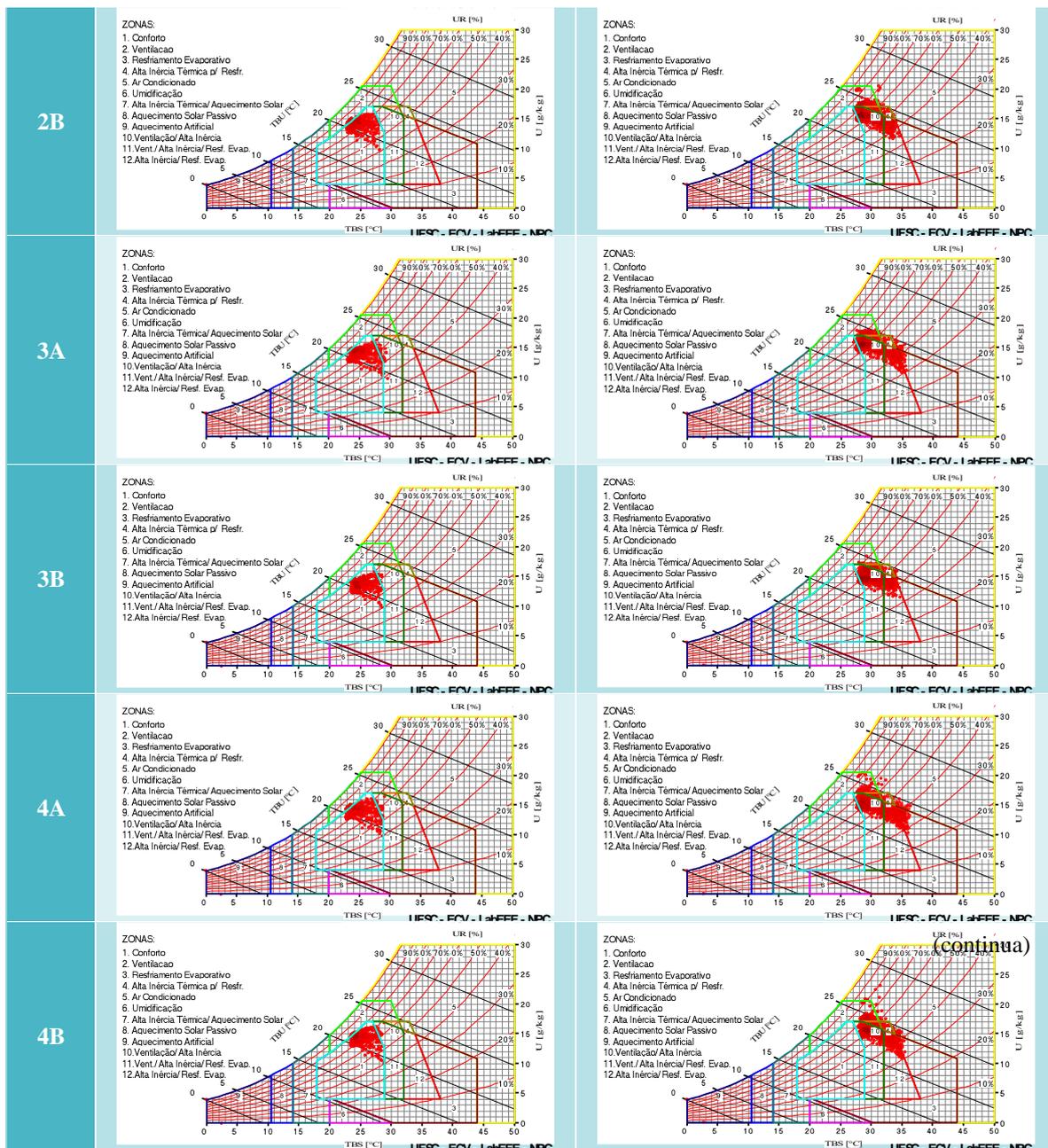
### Análise do conforto térmico

No intuito de compreender a atuação da temperatura e umidade relativa do ar no conforto térmico dos usuários das salas, foi realizada análise dos dados de todas as salas com plotagem na carta psicrométrica para os dois períodos analisados (quente e úmido e quente e seco), conforme Quadro 32.

**Quadro 32** – Cartas psicrométricas das salas analisadas com base nos dados de temperatura e umidade relativa do ar monitorados nos períodos quente e úmido (1 a 25 de agosto) e quente e seco (28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020).



(continua)



Fonte: Adaptado de Analysis BIO, 2020.

O Quadro 33 quantifica o percentual das horas de conforto e o desconforto nas salas analisadas, no qual observa-se que, no período quente e úmido, as salas apresentam-se confortáveis na maior parte do tempo em que os dados foram registrados, enquanto no período quente e seco, ocorre o inverso, com todas as salas apresentando desconforto em mais de 90% do período monitorado, chegando a atingir 100% na sala 4B.

É evidente o desconforto nas salas de aula no período quente e seco, destacando-se a necessidade de interferência arquitetônica por meio de estratégias bioclimáticas, com o objetivo de proporcionar melhores condições de conforto por mais tempo diário neste período.

**Quadro 33** – Síntese dos relatórios gerados pelo programa *AnalysisBIO* quanto ao conforto térmico nas salas analisadas (%).

Sala	Quente e Úmido		Quente e Seco	
	Conforto	Desconforto	Conforto	Desconforto
1	88,9	11,1	5,1	94,9
2A	92,2	7,8	9,3	90,7
2B	96,4	3,6	1,5	98,5
3A	91,1	8,9	2,7	97,3
3B	97,5	2,5	1,5	98,5
4A	93,6	6,4	1,7	98,3
4B	95,3	4,7	0,0	100,0

Fonte: Autora, 2020.

Quanto ao uso destas estratégias bioclimáticas (ver APÊNDICE J), bem como nos estudos de Silva (2019) para Arapiraca (ver Tabela 5, p. 70), tem-se como as mais indicadas o sombreamento, a ventilação, a alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo, sendo a ventilação a única aplicada ao projeto<sup>85</sup>, possuindo a menor porcentagem entre as mais indicadas ao projeto e sendo a mais indicada – após o sombreamento – para a cidade de Arapiraca. Entretanto, como observado na análise qualitativa, as aberturas para ventilação são insuficientes para o tamanho das salas e aproveitamento de ventilação cruzada de acordo com a NBR 15.220, enquanto a maioria atende ao dimensionamento mínimo da NBR 15.575, o que se leva a considerar que apenas o atendimento aos critérios normativos de dimensionamento é insuficiente para garantir o conforto térmico dos usuários.

O sombreamento é indicado na maior parte das horas analisadas (99,4% no período quente e úmido e 99,8% no período quente e seco), demonstrando que os beirais são insuficientes para proporcionar o sombreamento necessário à diminuição das temperaturas internas das salas.

Quanto ao resfriamento evaporativo, como discutido também na análise qualitativa, não é aplicado ao projeto, mas há potencial de aplicação com a disponibilidade de espaços onde podem ser plantados arbustos para promover este tipo de resfriamento. No entanto, para que tais espécies atinjam altura e copa de tamanhos suficientes para a promoção do resfriamento da edificação, demanda-se tempo considerável de alguns anos, a depender da espécie.

Já a alta inércia para resfriamento possui maiores complicações ao considerar sua aplicação, uma vez que, para isto, é necessário o uso de vedações verticais compostas por materiais com capacidade térmica elevada, como concreto e cerâmica, que possuem propriedades térmicas significativamente diferentes dos materiais utilizados na composição dos

<sup>85</sup> Ressalta-se que seu uso não foi considerado nesta análise, uma vez que as esquadrias foram mantidas fechadas durante os períodos de monitoramento.

painéis *Wall System*.

Uma elevada inércia térmica atua na diminuição das amplitudes térmicas no interior da edificação, absorvendo o calor e mantendo a edificação confortável (PROJETEEE<sup>86</sup>, 2020). No entanto, como pôde-se perceber nas análises dos dias médios e durante a maior parte dos dias monitorados (APÊNDICE G), na edificação analisada, pela quantidade existente de áreas envidraçadas associada ao isolamento das vedações, ocorre o contrário. Existe a diminuição da amplitude térmica em relação ao ar exterior, porém, as maiores temperaturas do ar externo são superadas pelo ar interno, e, quando o ar externo atinge os menores registros, o ambiente interno, ainda que diminua as temperaturas, continua mais aquecido, o que poderia ser melhorado com a utilização de estratégias de resfriamento noturno.

Com base nos dados expostos, observa-se que, ao tratar de desempenho térmico em edificações, é inviável indicar recomendações para um critério isoladamente, mas, faz-se necessária uma análise das diversas características que exercem influência sobre esta e articulá-las de modo que, juntas, possam promover o desempenho térmico desejável à edificação no cenário em que está ou será inserida e, conseqüentemente, conforto térmico aos seus usuários.

#### 4.3.2.2. Análise estatística

De acordo com as hipóteses levantadas, as variáveis área de parede exposta, volume da sala e área envidraçada (Tabela 16) exerceram influência sobre o aquecimento diário (amplitude térmica) das salas.

**Tabela 16** – Variáveis influentes no desempenho térmico das salas analisadas e amplitude térmica das médias para o período quente e úmido.

Variáveis	Salas						
	1	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Área de parede (m <sup>2</sup> )	20,96	22,55	18,15	16,81	7,66	31,00	6,51
Volume da sala (m <sup>3</sup> )	104,6	67,3	35,6	89,0	38,6	77,3	32,7
Á, Envidraçada (m <sup>2</sup> )	6,62	4,61	1,73	7,02	1,92	6,66	1,61

Fonte: Autora, 2019.

Constatou-se, ainda, que estes dados apresentaram variação de acordo com os dias analisados, como mostra a Tabela 17. A amplitude térmica foi escolhida como critério para demonstrar o quanto a sala aqueceu do momento em que atingiu sua menor temperatura até chegou ao maior registro do dia.

<sup>86</sup> Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/inercia-termica-para-resfriamento/>. Acesso em: 13 abr. 2020.

**Tabela 17** – Variação da amplitude térmica da temperatura do ar das salas monitoradas e do meio externo nos dias analisados.

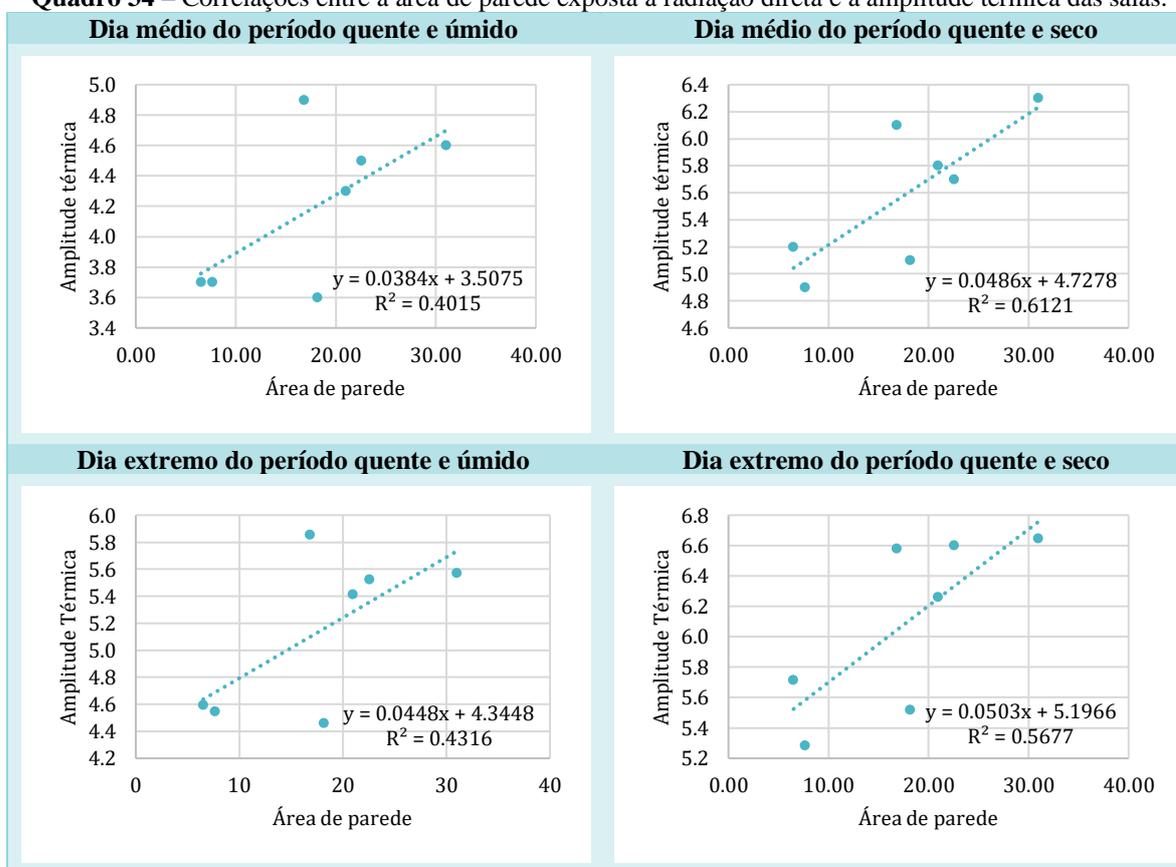
Período	Dia	Externa	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
Quente e Úmido	Médio	7,2	4,3	4,5	3,6	4,9	3,7	4,6	3,7
	Extremo	8,7	5,4	5,5	4,5	5,9	4,5	5,6	4,6
Quente e Seco	Médio	10,0	5,8	5,7	5,1	6,1	4,9	6,3	5,2
	Extremo	12,2	6,3	6,6	5,5	6,6	5,3	6,6	5,7

Fonte: Autora, 2020.

Deste modo, esta análise se dá com base nos métodos estatísticos explanados anteriormente: correlação e regressão linear, por meio dos quais será quantificada a influência das variáveis no aquecimento das salas.

Para a correlação, a primeira variável analisada foi a área de parede exposta à radiação solar direta, considerando os cenários dos dias médio e extremo de cada período de monitoramento discutidos na análise exploratória, conforme o Quadro 34.

**Quadro 34** – Correlações entre a área de parede exposta à radiação direta e a amplitude térmica das salas.



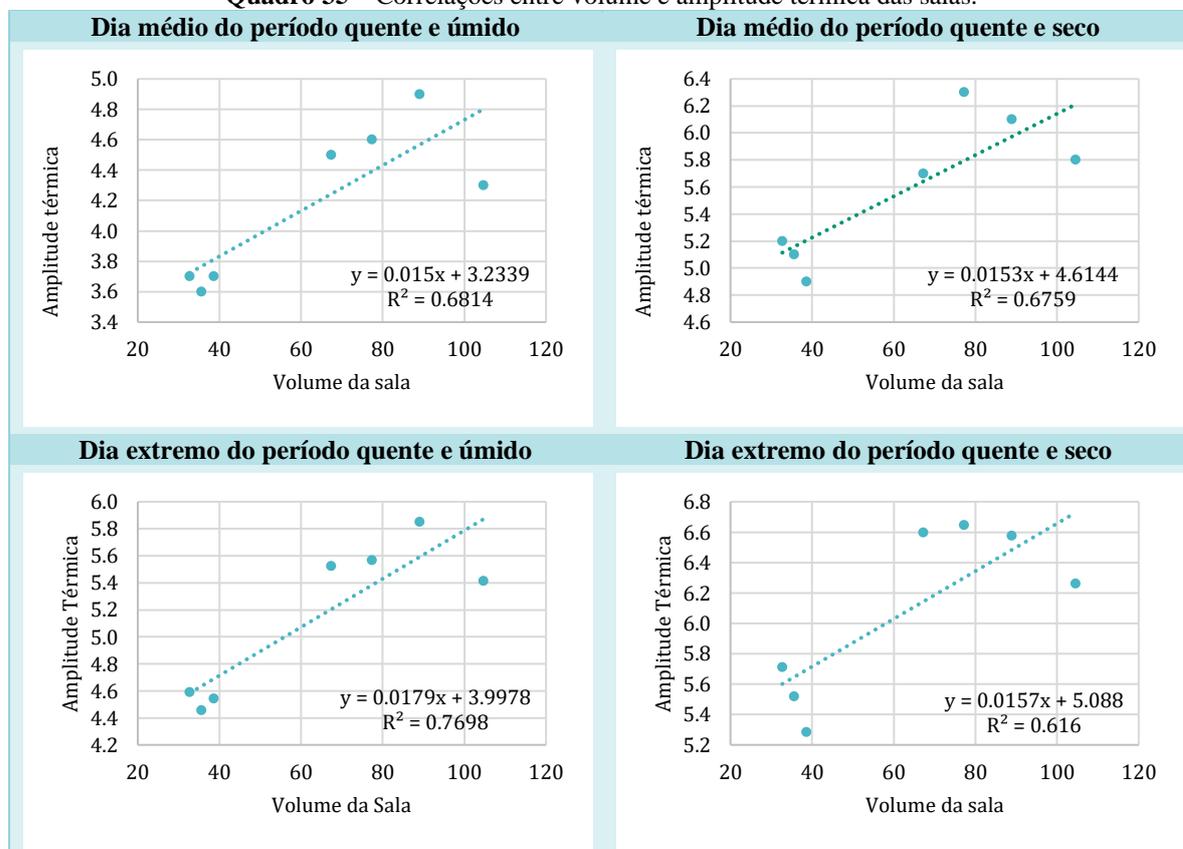
Fonte: Autora, 2020.

Apesar de apresentar valores diferentes para os quatro dias, a correlação entre a área de parede exposta à radiação solar e o aquecimento diário das salas foi moderada, para todos eles. Entretanto, fica evidente que período quente e seco, a correlação é fortalecida, dispondo de valores maiores para o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) superiores aos dois dias analisados do

período quente e úmido, fato que reforça a ocorrência de maiores trocas de calor por estas paredes quando submetidas a altas temperaturas do ar.

O contrário acontece na análise do volume da sala, que considerou os mesmos cenários de cada período de monitoramento, conforme o Quadro 35.

**Quadro 35** – Correlações entre volume e amplitude térmica das salas.



Fonte: Autora, 2020.

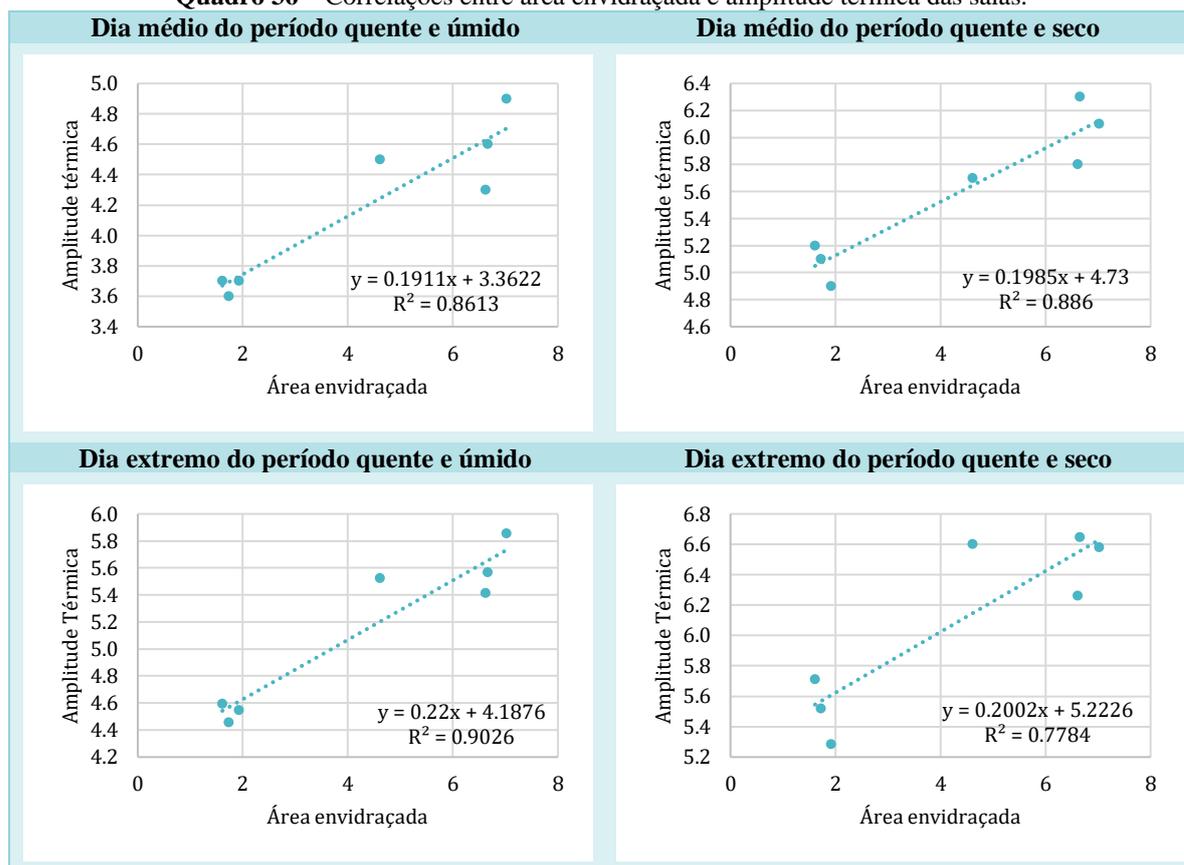
Diante dos dados expostos, verifica-se que o volume da sala apresentou correlações maiores no período quente e úmido que no período quente e seco para ambos os dias analisados. Nota-se, ainda, que a correlação do volume da sala com sua amplitude térmica foi moderada<sup>87</sup> para a maioria dos dias analisados. Entretanto, apenas o dia extremo do período quente e úmido teve correlação forte. Neste sentido, a correlação existente sugere que quanto maior o volume da sala<sup>88</sup>, maior o aquecimento destas. Porém, em condições específicas (equivalentes ao dia extremo do período quente e úmido) esta correlação é intensificada.

O dia extremo do período quente e úmido repete a conduta ao tratar da correlação da amplitude térmica com as áreas envidraçadas das salas, como pode-se observar no Quadro 36.

<sup>87</sup> Com base na escala exposta na Tabela 8 (p. 95).

<sup>88</sup> Em condições similares às salas analisadas.

**Quadro 36** – Correlações entre área envidraçada e amplitude térmica das salas.



Fonte: Autora, 2020.

Esta variável demonstrou correlações maiores que o volume da sala e a área de parede exposta à radiação solar direta para todos os dias, com nível forte, exceto para o dia extremo do período quente e úmido, no qual a correlação foi muito forte.

Com base nos dados expostos, observou-se que entre variáveis analisadas, a área envidraçada apresentou correlações mais significativa correlação em relação ao aquecimento diário das salas.

A Tabela 18 sintetiza os resultados obtidos para os coeficientes de correlação ( $R^2$ ), deixando claro que a área de parede exposta à radiação solar direta é a variável que exerce menor influência no aquecimento das salas (correlação moderada), entre as variáveis analisadas, devido às diferenças existentes na configuração arquitetônica de cada sala.

**Tabela 18** – Coeficientes de correlação entre as variáveis e a amplitude térmica nos dias analisados.

Variável	Quente e Úmido		Quente e seco	
	Dia Médio	Dia Extremo	Dia Médio	Dia Extremo
Área de parede exposta	0,40	0,43	0,61	0,57
Volume da sala	0,68	0,77	0,68	0,62
Área envidraçada	0,86	0,90	0,89	0,78

Fonte: Autora, 2020.

O volume da sala apresentou maiores valores de correlação com o aquecimento que os

da área das paredes, mas ainda assim, foram correlações moderadas, com forte correlação apenas no dia extremo do período quente e úmido. As diferenças na configuração arquitetônica das salas justificam também estes resultados.

A área envidraçada teve as maiores correlações, de modo que, mesmo no dia em que o coeficiente apresentou o menor valor (dia extremo do período quente e seco), dispôs de forte correlação, chegando a atingir correlação muito forte no dia extremo do período quente e úmido. Este destaque de ganhos de calor em relação às demais variáveis pode ser atribuído, além das características já discutidas, ao fato de não ter havido ocupação nos ambientes durante os períodos de monitoramento.

Uma outra condição observada foi a de que as duas variáveis que apresentaram correlações fortes (volume da sala e área envidraçada) tiveram aumento significativo dos coeficientes no dia extremo do período quente e úmido, fortalecendo a discussão da interferência da nebulosidade no desempenho térmico dos ambientes monitorados.

#### **4.3.3. Temperatura superficial das vedações verticais**

Nesta seção, são analisadas as temperaturas superficiais internas das vedações verticais das salas escolhidas com o intuito de compreender a forma como as temperaturas externas influenciam o meio interno e vice-versa. As análises são separadas por sala e confrontam o desempenho térmico das paredes nos dois períodos. Assim como ocorreu na temperatura do ar, é perceptível a diferença entre os dados do período quente e úmido e os do quente e seco, uma vez que as vedações verticais são elementos influenciadores das trocas de calor entre ambientes.

##### **Sala 1**

Através do Gráfico 19 verifica-se que, nos dois períodos, as maiores temperaturas médias das superfícies foram registradas às 14:00 e as menores, às 8:00, bem como os registros de temperatura do ar.

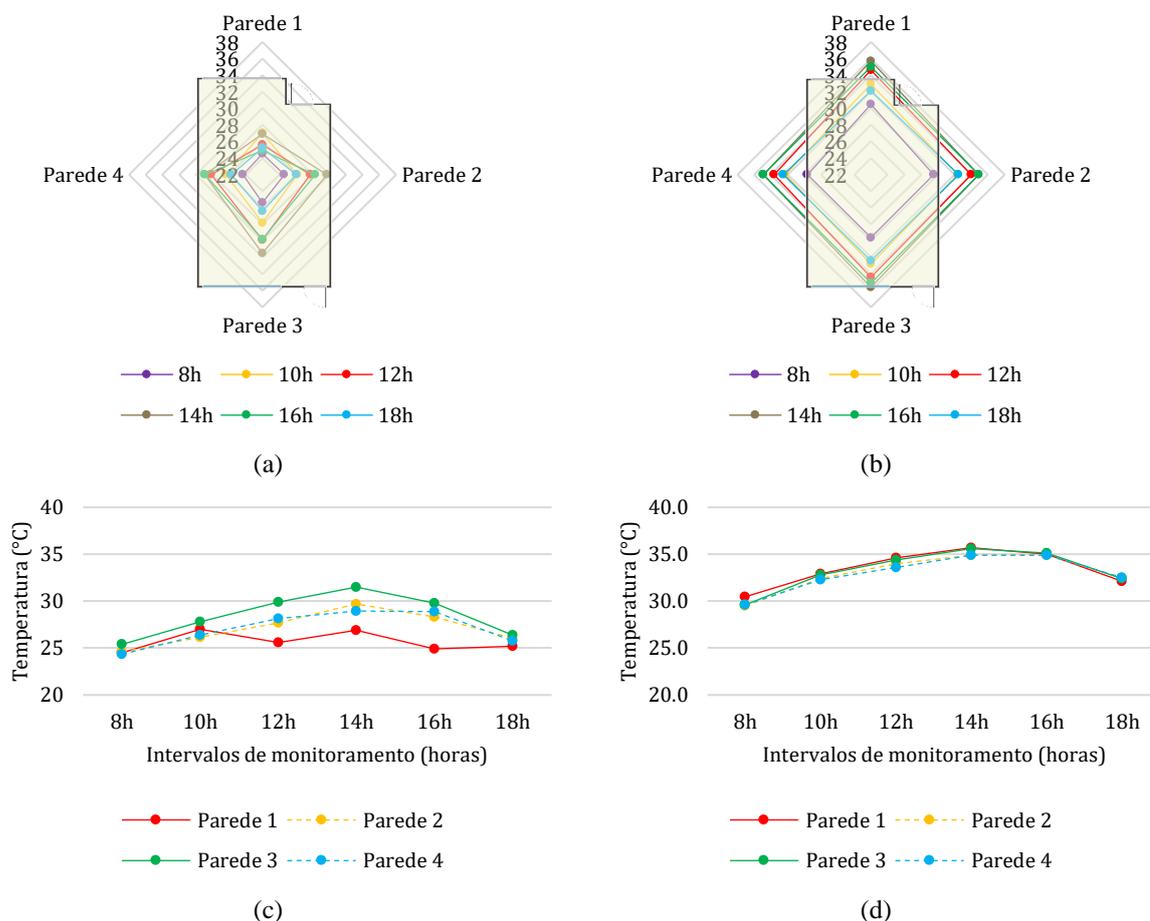
A Parede 1 apresenta as menores temperaturas no período quente e úmido e as maiores no quente e seco, voltada para Sul. A Parede 3, à Norte, teve os maiores registros do quente e úmido e o segundo maior do quente e seco. Estas paredes são voltadas ao meio externo<sup>89</sup> e recebem radiação solar direta, enquanto as demais, estão ligadas a outras salas, o que provoca

---

<sup>89</sup> É importante ressaltar que pode ter havido interferência da temperatura de elementos externos nos resultados do período quente e úmido, pois, a câmara termográfica utilizada, registra a temperatura da superfície e, durante as medições pontuais, as janelas foram mantidas abertas. O mesmo se aplica à todas as paredes com aberturas das demais salas analisadas.

um ganho térmico menor por elas.

**Gráfico 19** – Temperatura superficial da Sala 1 nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>90</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

Nos dois períodos, todas as paredes tiveram temperaturas mais elevadas entre as 14:00 e as 16:00. De acordo com a análise anterior, a partir das 16:00 a temperatura do ar já sofre redução, mas, de acordo com as propriedades térmicas dos materiais que compõem as vedações verticais, este processo é retardado nas superfícies e, conseqüentemente, no interior das salas.

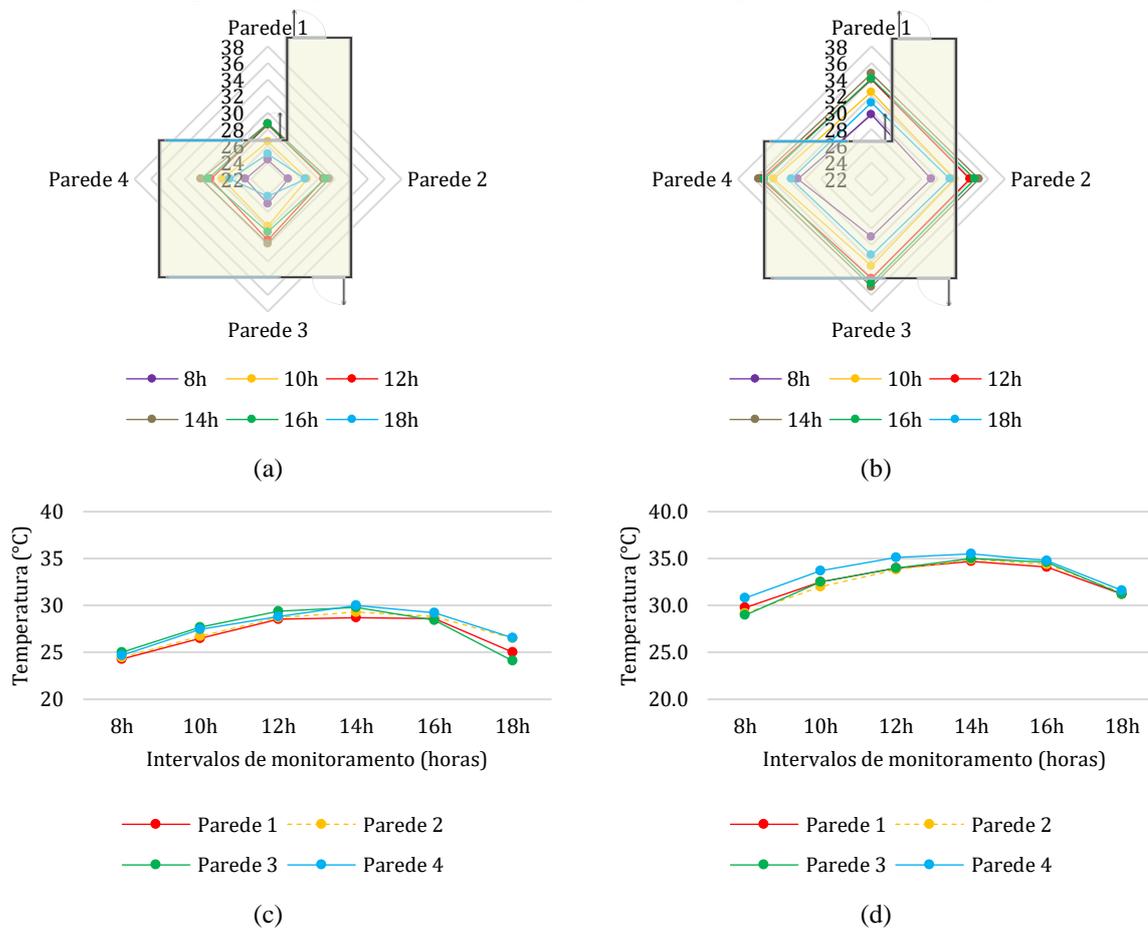
Observa-se, ainda, que, no período quente e úmido, a variação de temperatura entre as paredes (4,6°C, às 14h, entre a Parede 3, mais quente, e a Parede 1, menos aquecida) é maior que no período quente e seco, no qual a variação máxima entre elas é 0,9°C. Esta variação se dá por ambas as paredes (1 e 3) estarem voltadas ao exterior e, enquanto a parede 3 recebe insolação no inverno, a Parede 1, recebe apenas no verão, como pôde-se observar na Figura 40 (p. 102) da análise qualitativa.

<sup>90</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

## Sala 2A

A Sala 2A, cujos dados são ilustrados pelo Gráfico 20, possui a mesma orientação que a Sala 1, porém, apenas as Paredes 1 e 4 não são voltadas ao exterior da edificação, enquanto as Paredes 2 (à Leste) e 3 (à Sul), maiores que as anteriores, estão totalmente expostas à radiação solar, implicando em maiores ganhos térmicos por meio delas.

**Gráfico 20** – Temperatura superficial da Sala 2A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>91</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

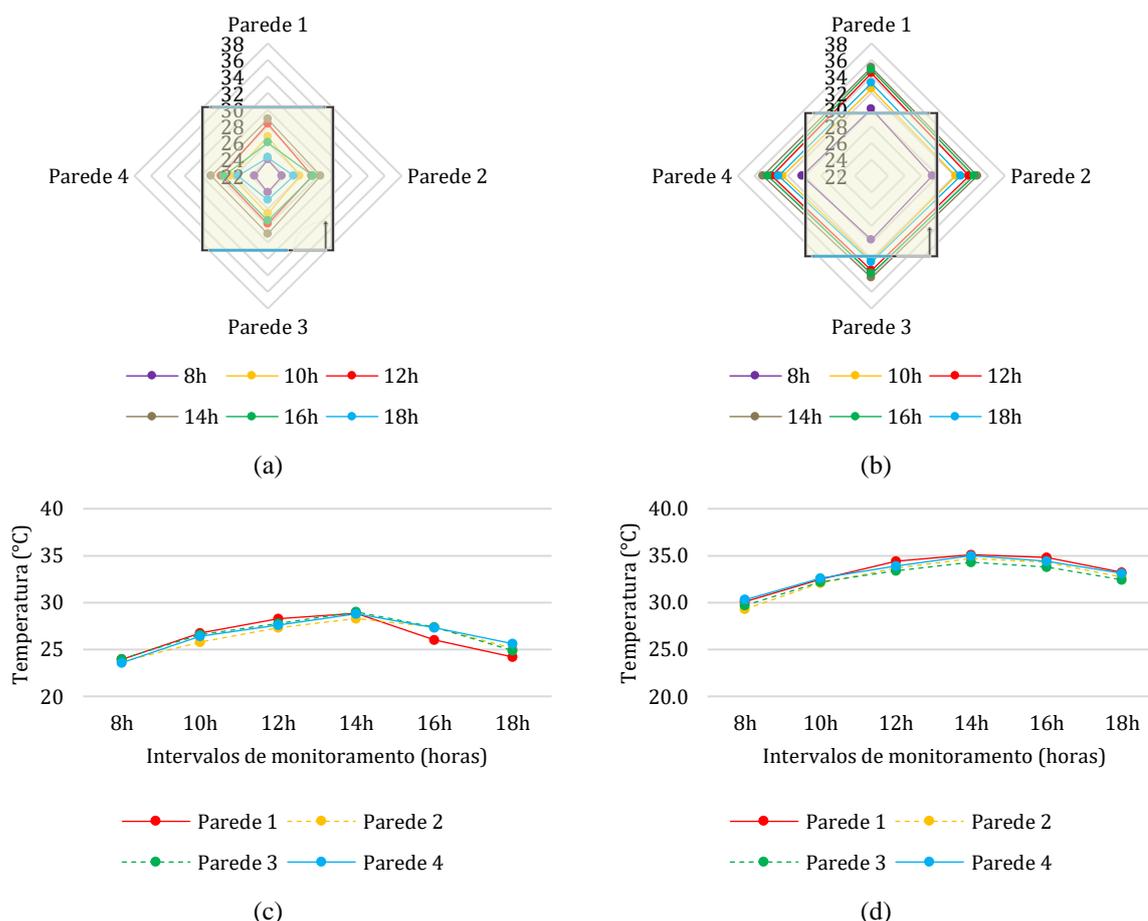
Com base nos dados expostos, é possível observar que a Parede 4 foi a mais quente em ambos os períodos, o que pode ser atribuído ao fato de ser perpendicularmente voltada à insolação Leste. A Parede 2, mesmo não estando voltada ao exterior, apresenta temperaturas mais elevadas que as Paredes 1 e 3 no período vespertino, devido à perda de calor para um ambiente edificado, em que há acúmulo de calor no ar, enquanto as demais, perdem para o meio externo, que já apresenta resfriamento da temperatura do ar nestes horários.

<sup>91</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

## Sala 2B

Inserida no mesmo bloco em que estão as Salas 1 e 2A, a Sala 2B (Gráfico 21) possui duas paredes voltadas ao exterior: a Parede 1, voltada para Sul, que registrou as maiores temperaturas nos dois períodos; e a Parede 4, à Norte, que apresentou as segundas maiores temperaturas, ao passo que as demais mantiveram comportamento térmico semelhantes durante todo o intervalo diário de monitoramento.

**Gráfico 21** – Temperatura superficial da Sala 2B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>92</sup>.



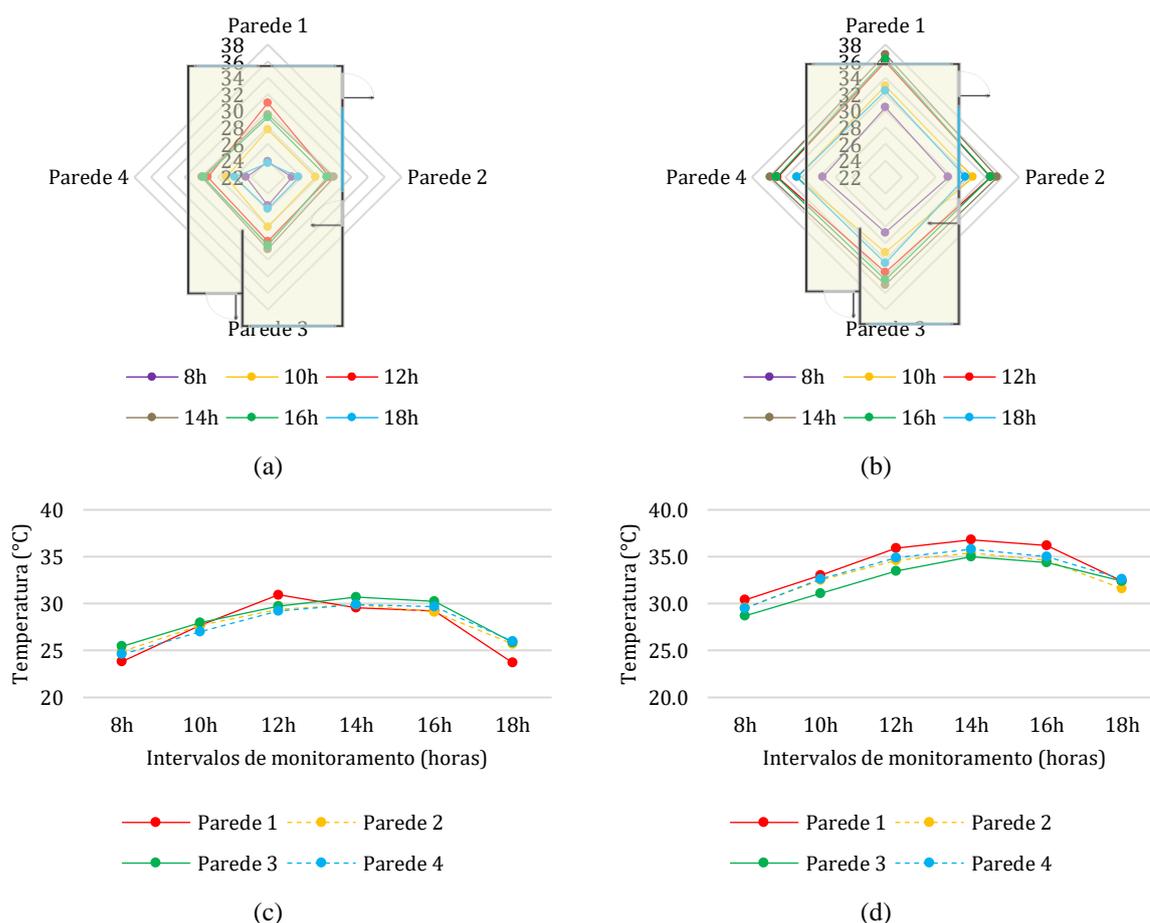
No período quente e úmido, o comportamento da temperatura superficial das paredes não expostas ao exterior (2 e 3) é semelhante ao que ocorreu com o mesmo tipo de na Sala 2A: temperaturas mais baixas que as demais durante a manhã e mais altas após as 14h, quando a temperatura do ar no exterior começa a diminuir. No período quente e seco, estas paredes mostram temperaturas mais baixas que as demais durante todo o dia, em virtude do maior aumento da temperatura do ar externo e maior carga de radiação solar que incidem de forma direta nas paredes 1 e 4, quando os níveis de nebulosidade são menores que no período anterior.

<sup>92</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

### Sala 3A

Além de estar orientada em um bloco diferente das anteriores, a Sala 3A (Gráfico 22) está propensa a receber radiação nos horários de maior incidência solar, especialmente pela Parede 1. A Parede 3, mesmo voltada ao exterior, possui uma janela alta de menor dimensão e é sombreada pelo pátio coberto em alguns horários. As demais paredes, estão ligadas a salas cujas temperaturas internas assemelham-se às suas, o que dificulta a perda de calor para outros ambientes.

**Gráfico 22** – Temperatura superficial da Sala 3A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>93</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

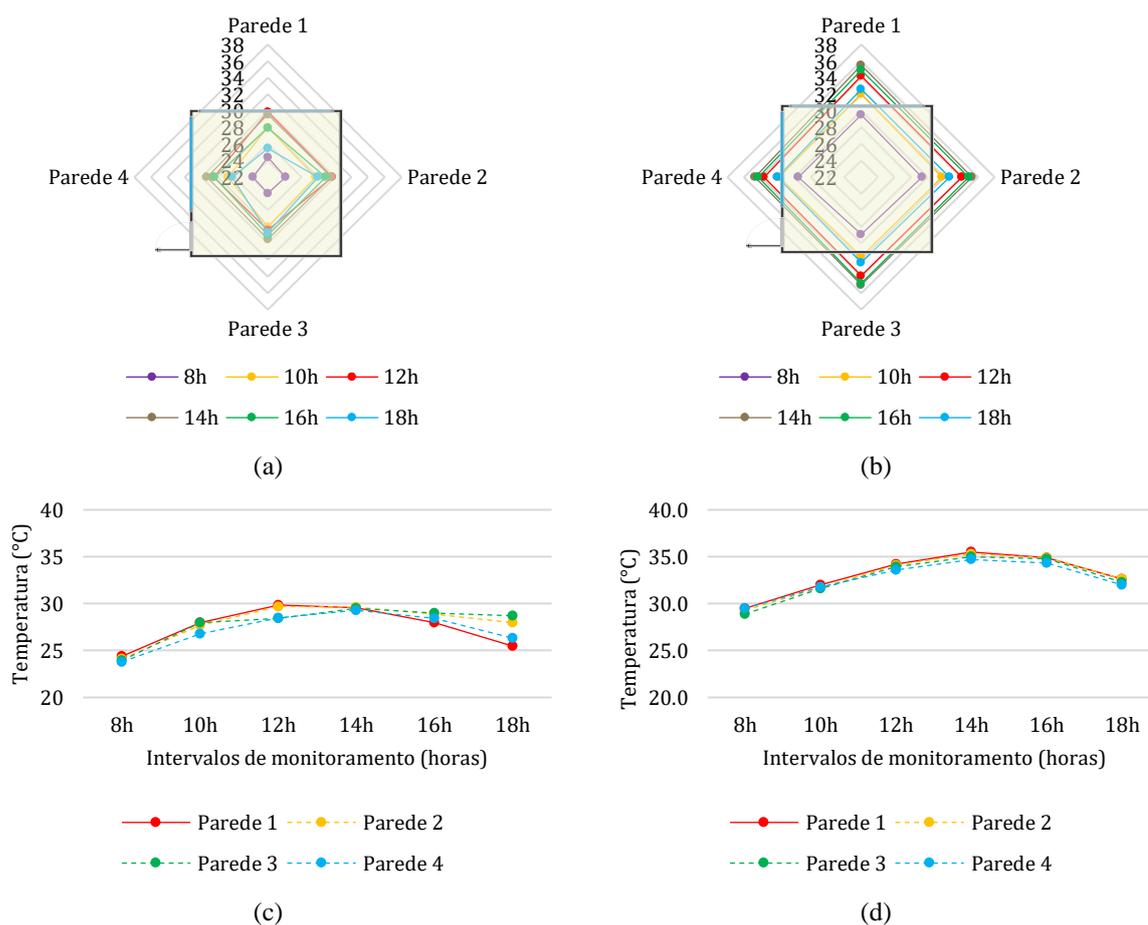
No período quente e seco teve comportamento semelhante ao que a Sala 1 apresentou no período quente e úmido: variação de temperatura entre paredes maior que no períodos quente e úmido. As paredes expostas ao exterior (1 e 3) apresentaram as maiores diferenças, sendo a 1 mais aquecida e a 3, menos aquecida, pelas mesmas questões referentes à insolação que a Sala 1. As temperaturas das Paredes 2 e 4, que se limitam com outras salas, foram muito semelhantes, uma vez que as trocas de calor se dão por ambientes semelhantes (salas de aula).

<sup>93</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

## Sala 3B

Com apenas uma face voltada ao meio externo, as paredes da Sala 2B (Gráfico 23) apresentam comportamentos semelhantes entre si, no período quente e seco, e uma maior variação no período quente e úmido, de modo que, em ambos, a Parede 1 (exposta ao exterior e voltada para Sul) apresentou as maiores temperaturas, com os maiores registros às 14:00. As demais paredes apresentaram comportamento semelhante, uma vez que, são ligadas a outras salas com temperaturas internas semelhantes à sua.

**Gráfico 23** – Temperatura superficial da Sala 3B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>94</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

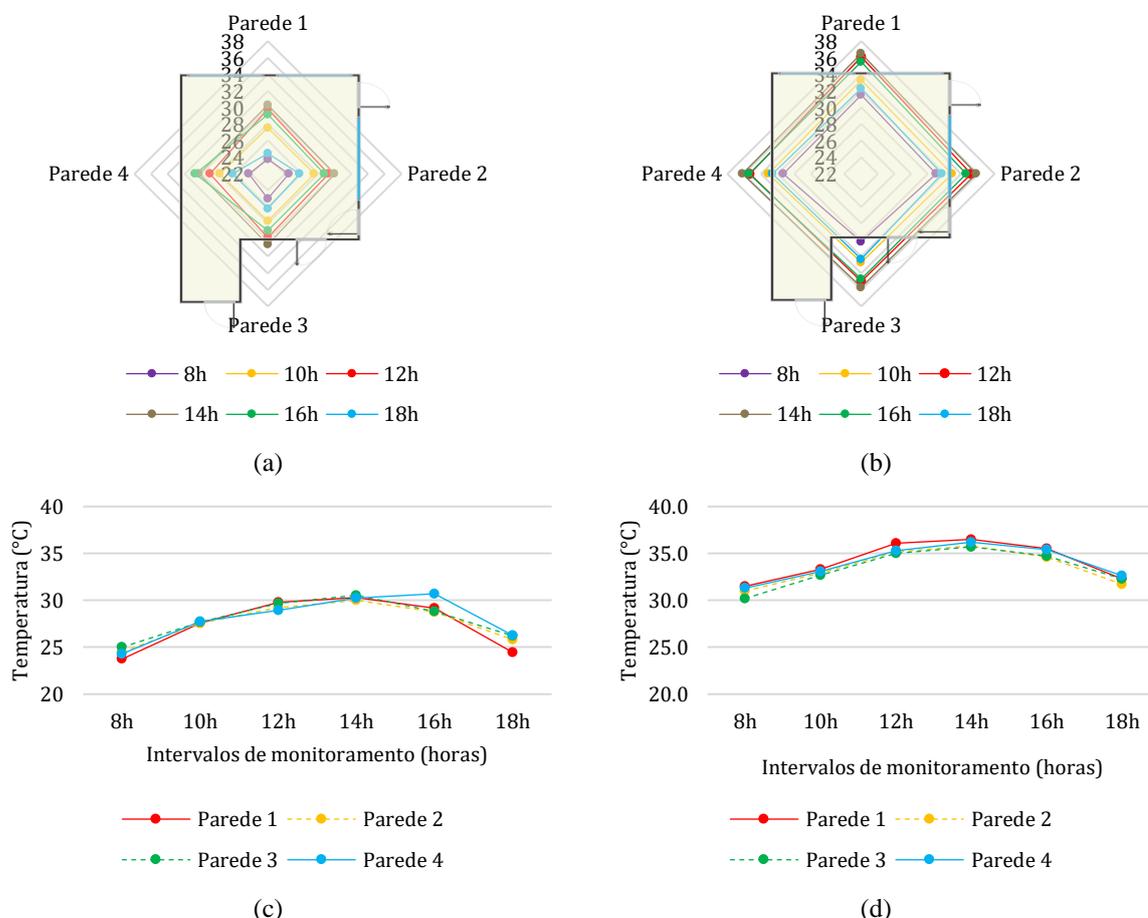
A parede 1, mesmo voltada para Sul – submetida à radiação durante o verão – apresentou comportamento semelhante ao das demais pelo posicionamento recuado da sala em relação ao alinhamento do bloco, acarretando um beiral maior, que lhe proporcionou sombreamento na maior parte do tempo de exposição solar.

<sup>94</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

## Sala 4A

De acordo com o Gráfico 24, as Paredes 1 e 4 da Sala 4A mostraram-se mais quentes nos dois períodos.

**Gráfico 24** – Temperatura superficial da Sala 4A nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>95</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

As maiores temperaturas registradas ocorreram às 14h, porém, no período quente e úmido, a Parede 4 teve seu maior registro às 16h, fato que pode ser atribuído ao deslocamento da camada de PRFV devido à deterioração, como retratada na Figura 43.

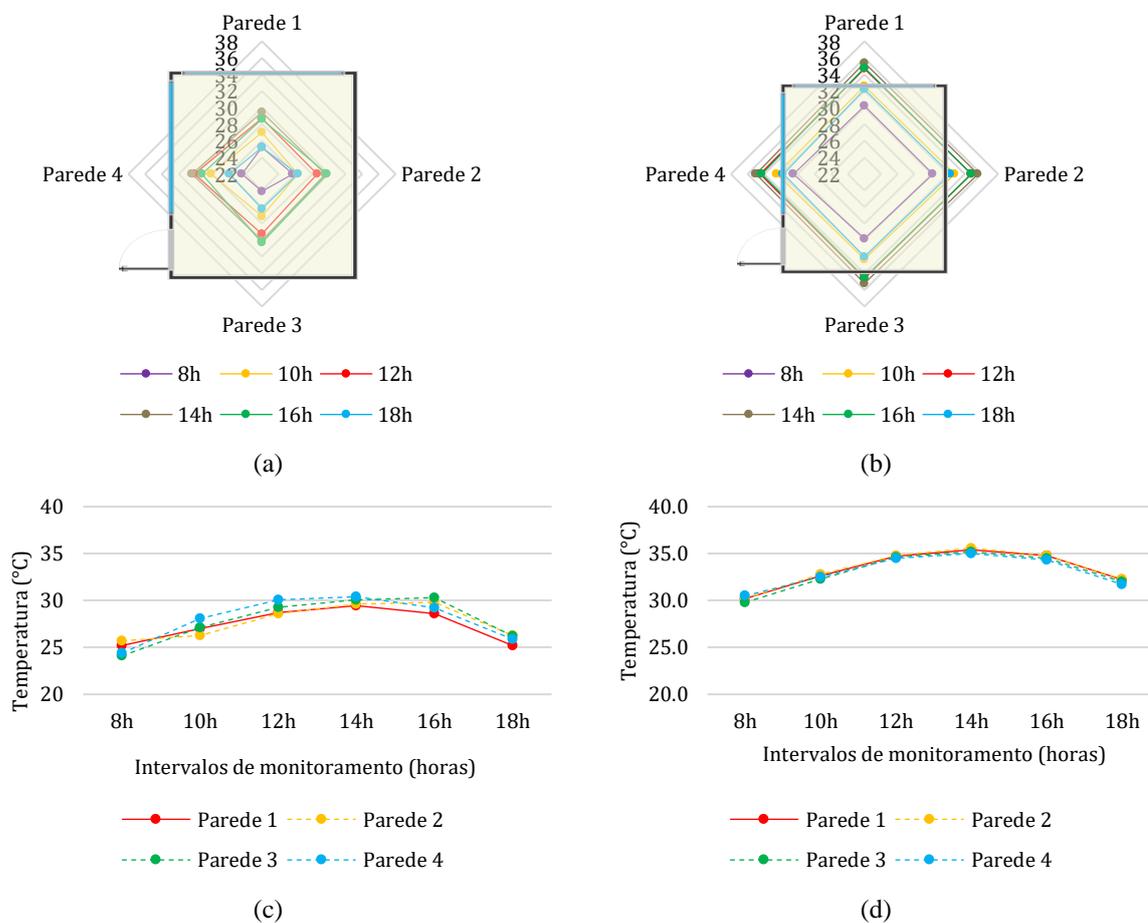
As paredes tiveram variações semelhantes entre si nos dois períodos de monitoramento, com as duas expostas ao exterior as que atingiram as maiores temperaturas: a Parede 1 com 30,7°C, no período quente e úmido, e a Parede 4, com 36,1°C no período quente e seco, evidenciando a diferença entre as temperaturas que as paredes atingem em cada período em virtude das maiores temperaturas do ar, no exterior e interior das salas, e da maior exposição à radiação solar direta pela diminuição da nebulosidade.

<sup>95</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

## Sala 4B

A Sala 4B (Gráfico 25), como a 3B, possui apenas uma parede voltada ao exterior, a Parede 1. As temperaturas atingidas por ela foram semelhantes às da Parede 2, que se gemina com outra sala. No período quente e úmido, as variações de temperatura entre as paredes, foram superiores às do período quente e seco.

**Gráfico 25** – Temperatura superficial da Sala 4B nos períodos (a/c) quente e úmido e (b/d) quente e seco<sup>96</sup>.



Fonte: Autora, 2020.

Deste modo, em relação à temperatura superficial, a diferença entre os períodos quente e úmido e quente e seco se destacou por meio das variações entre as paredes, uma vez que nas salas monitoradas, com exceção da Sala 3A, as paredes tiveram temperaturas semelhantes no período quente e seco, com maiores variações no período quente e úmido, pelos motivos já discutidos para cada uma.

### 4.3.4. Ventilação

Como citado, os dados de ventilação foram coletados pontualmente para uso na

<sup>96</sup> Linhas tracejadas indicam que a parede não está voltada para o exterior.

avaliação dos limites de conforto do modelo adaptativo. Porém, um fato observado durante o monitoramento merece atenção: nas salas de repouso, onde as janelas são altas e do tipo basculante, não foi possível registrar dados de ventilação por diversas vezes, o que indica que, por uma característica projetual do espaço, o fluxo de ar não chega ao usuário.

A partir da averiguação da situação, pôde-se perceber, que em uma das salas (Figura 56) havia circulação de ar considerável por meio do movimento de elementos decorativos do teto da sala ao passo que, na altura em que as medições foram realizadas, não houve registros.

**Figura 56** – Abertura das salas menores com elementos que se movimentavam acima, enquanto abaixo, não havia registros de ventos.



Fonte: Autora, 2019,

Assim, pôde-se perceber que os ventos eram conduzidos por cima pelas aberturas das janelas, que, por serem do tipo basculante, direcionavam o ar para esta parte. Isto, justifica a dificuldade encontrada para registrar a intensidade dos ventos nestas salas, principalmente, no período quente e úmido<sup>97</sup> (Tabela 19a).

**Tabela 19** – Registros de velocidade do vento, em m/s, no interior das salas nos períodos quente e úmido e quente e seco.

Período quente e úmido						Período quente e seco						
	9h	11h	13h	15h	17h		8h	10h	12h	14h	16h	18h
Sala 1	1,1	2,1	1,1	2,1	0,4	Sala 1	0,6	0,6	0,0	0,8	0,9	1,5
Sala 2A	1,4	2,2	0,0	0,5	0,0	Sala 2A	0,5	0,6	0,1	0,7	0,7	0,4
Sala 2B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Sala 2B	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Sala 3A	0,8	1,2	0,0	0,0	0,0	Sala 3A	0,0	0,6	0,3	0,3	0,8	0,6
Sala 3B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Sala 3B	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2
Sala 4A	0,2	0,5	0,1	0,0	0,2	Sala 4A	0,0	0,6	1,4	0,6	0,9	0,5
Sala 4B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Sala 4B	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	0,7

Fonte: Autora, 2020.

Ainda de acordo com os dados da Tabela 19, observa-se que o período quente e úmido apresentou maiores registros de velocidade dos ventos nas salas (principalmente na Sala 2A) que o período quente e seco, que, apesar de apresentar velocidades menores, foram mais

<sup>97</sup> Além do direcionamento dos ventos nestas salas, a precisão do equipamento utilizado neste período (inferior ao do utilizado no período quente e seco) e o fato de as menores intensidades dos ventos na cidade de Arapiraca se darem no período quente e úmido (ver Gráfico 11, p. 68), interferiram nestes resultados.

uniformes, com diferenças menores que no período anterior entre os horários em que foram realizados os registros<sup>98</sup>.

Assim, sabendo-se da interferência direta exercida pela ventilação natural no conforto térmico de ambientes edificados, e, com base nos resultados apresentados no Quadro 37, pode-se observar que o efeito das velocidades do ar registradas<sup>99</sup> no período quente e seco foram insuficientes para promover o efeito de resfriamento nas salas analisadas, quando relacionadas com suas temperaturas operativas.

**Quadro 37** – Níveis de aceitabilidade de conforto térmico nas salas analisadas pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55, quanto à velocidade dos ventos.

		Vento	8h	10h	12h	14h	16h	18h
Sala 1	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	90	F	F	F	F	F	90
	1,2m/s	90	F	F	F	F	F	90
Sala 2A	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	80	F	F	F	F	F	90
	1,2m/s	80	F	F	F	F	F	80
Sala 2B	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	F
	0,9m/s	80	F	F	F	F	F	90
	1,2m/s	80	F	F	F	F	F	90
Sala 3A	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	80	F	F	F	F	F	90
	1,2m/s	F	F	F	F	F	F	80
Sala 3B	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	80	F	F	F	F	F	90
	1,2m/s	80	F	F	F	F	F	80
Sala 4A	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	90	F	F	F	F	F	80
	1,2m/s	80	F	F	F	F	F	80
Sala 4B	0,3m/s	F	F	F	F	F	F	F
	0,6m/s	90	F	F	F	F	F	90
	0,9m/s	90	F	F	F	F	F	80
	1,2m/s	80	F	F	F	F	F	80

**Legenda:**

80 80% de aceitabilidade      90 90% de aceitabilidade      F Fora da Zona de Conforto

Fonte: Autora, 2020<sup>100</sup>.

Verifica-se, ainda, que para as temperaturas atingidas nos horários monitorados para o período quente e seco: (a) todas as salas mantiveram-se fora da zona de conforto quando se

<sup>98</sup> Ressalta-se que estes dados não podem ser considerados representativos, uma vez que são resultados pontuais de apenas um dia de monitoramento em cada período.

<sup>99</sup> O quadro foi montado com velocidades do vento hipotéticas, de acordo com as opções disponíveis na ferramenta.

<sup>100</sup> Através da ferramenta on-line Thermal Comfort Tool. Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 27 abr. 2020.

considerou a ventilação interna a 0,3m/s; (b) quando submetidas às velocidades de 0,6m/s, 0,9m/s e 1,2m/s, os registros de temperatura às 8h e às 18h (menores do dia entre os intervalos monitorados) estiveram dentro dos limites de aceitabilidade para as faixas da zona de conforto; (c) todas as salas estiveram acima do limite de conforto das 10h às 16h, intervalo em que foram registradas as temperaturas mais altas.

Estes fatos ressaltam atribuições já conhecidas do uso da ventilação natural: a efetividade de sua atuação no conforto térmico dos espaços edificados não pode ser atribuída apenas a uma velocidade significativa, a temperatura do ar (interno e externo) atua proporcionalmente, de modo que, como pôde-se verificar no Quadro 37, mesmo quando submetidas a ventos de 1,2m/s, as salas apresentaram desconforto quando submetidas a variadas temperaturas internas, destacando a constatação de Givoni (1998), de que quando a temperatura do ar excede 32°C, o movimento do ar torna-se indesejável por causar ganhos térmicos por convecção.

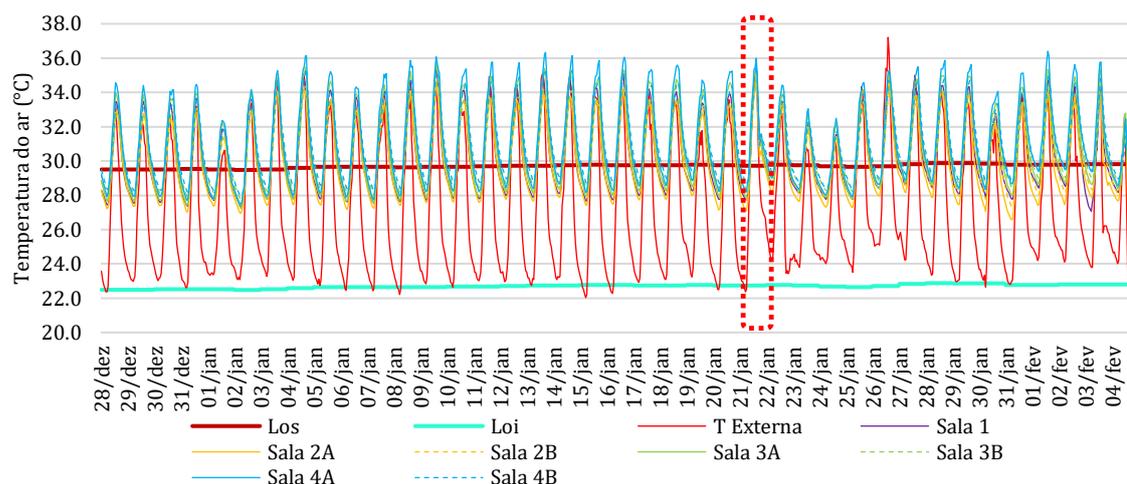
Entendendo que o comportamento das salas entre si foi semelhante quanto à aceitabilidade dos limites de conforto, o Quadro 42 (APÊNDICE K) demonstra-o através dos resultados da Sala 1.

Na sessão seguinte é analisada a aceitabilidade em cada sala com os valores monitorados da velocidade dos ventos no período quente e úmido.

#### **4.3.5. Avaliação dos limites de conforto pelo modelo adaptativo**

Os dados obtidos para os limites superior e inferior de aceitabilidade, com base nos dados contínuos do monitoramento da temperatura do ar externa à edificação, estão plotados no Gráfico 26. Através dele, pode-se perceber que as maiores temperaturas diárias registradas durante todo o período de monitoramento encontraram-se acima do limite superior, demonstrando desconforto por calor no ambiente externo nestes horários. É possível atentar ainda para os dias 01, 19, 23, 24 e 30 de janeiro, onde as maiores temperaturas atingidas ultrapassaram o limite superior da zona de conforto cerca de 2,0°C, enquanto nos demais dias esta diferença chega a mais de 7,0°C, como ocorreu no dia 26 de janeiro, que registrou a maior temperatura do período.

**Gráfico 26** – Zona de conforto para as imediações do objeto de estudo durante o período de monitoramento contínuo da temperatura do ar externa (de 28 de dezembro de 2019 a 04 de fevereiro de 2020).



 Dia da realização do monitoramento da ventilação e temperatura de globo.

Fonte: Autora, 2020.

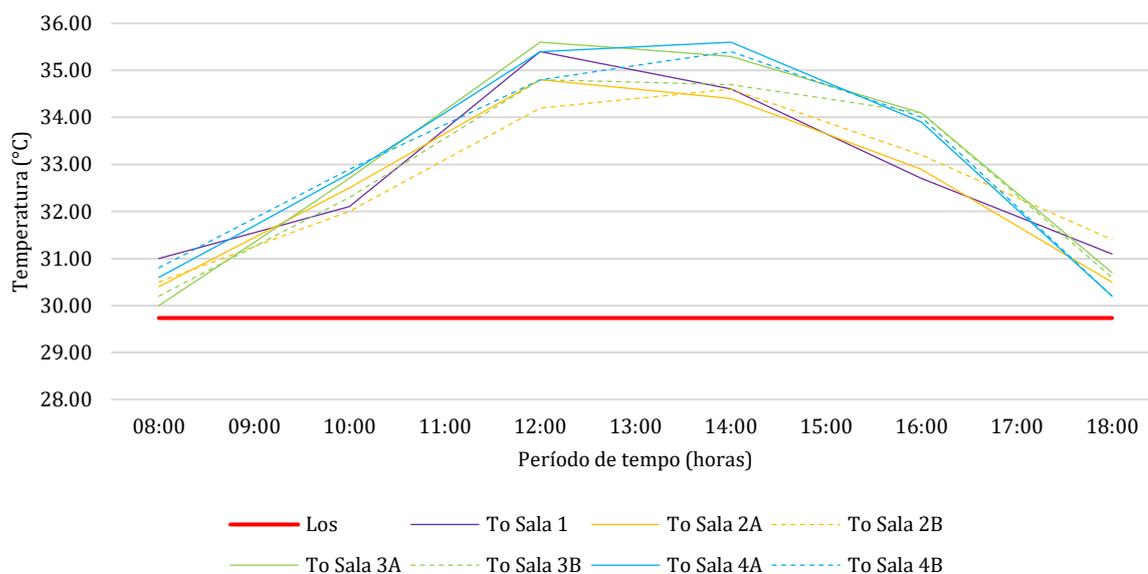
Em relação aos registros mínimos diários, nota-se que apenas nos dias 28 de dezembro de 2019, 06, 07, 08, 15, 16, 20, 21 e 30 de janeiro de 2020 o limite inferior foi excedido, ficando, nos demais dias monitorados, dentro da faixa de conforto.

No entanto, para esta edificação, escolar com atividades realizadas entre às 08h e 17h, existe a necessidade de que haja conforto nestes horários, o que não ocorre, uma vez que, é neles que as maiores temperaturas diárias são registradas. Pôde-se observar que, apenas durante a madrugada, a temperatura do ar interno encontrou-se dentro dos limites estabelecidos.

Com isto, tem-se a necessidade de investigar o que ocorre no interior das salas neste período em que os usuários se encontram no local. O Gráfico 27 ilustra o desempenho da temperatura operativa para cada sala no dia em que foram realizadas as medições pontuais das variáveis no período quente e seco, comparadas aos limites da zona de conforto adaptativo para este dia.

Como pode-se notar, em todos os horários do período em que os dados foram coletados, a temperatura operativa mostrou-se acima do limite superior de aceitabilidade. As menores diferenças entre ambos ocorreram às 08:00, quando a Sala 1 foi responsável pela maior temperatura operativa, que distou 1,3°C do limite superior, e a Sala 3A, pela menor, 0,3°C acima do mesmo limite. Ao passar das horas, a temperatura passou a aumentar e a ordem ocupada pelas temperaturas das salas foi alterada.

**Gráfico 27** – Níveis de conforto com base nas temperaturas operativas internas ( $T_o$ ) das salas e limites de conforto (Loi e Lis) baseados na temperatura externa, pelo modelo adaptativo, no dia 21 de janeiro de 2020 entre as 08:00 e 18:00.



Fonte: Autora, 2020.

Entre as 12:00 e as 14:00, as temperaturas alcançaram os maiores registros: às 12:00, a Sala 2B apresentou o melhor desempenho, estando  $4,5^{\circ}\text{C}$  acima do limite superior, e a Sala 3A, demonstrou o pior, distando  $5,9^{\circ}\text{C}$  deste limite; às 14:00, o maior valor é apresentado pela Sala 4A, que difere do limite superior em  $5,9^{\circ}\text{C}$ , e o menor, pela Sala 2A,  $4,9^{\circ}\text{C}$  acima do limite superior.

As salas 1, 2A e 3A apresentam comportamento gráfico semelhante: temperatura crescente até as 12:00 e, a partir daí, há o decréscimo das mesmas. Em contrapartida, a Sala 4A, que apresenta configuração e área similares às citadas anteriormente, continua com a temperatura crescente até as 14:00 e, só então, passa a diminuir. Esta sala, tem a mesma orientação que a Sala 3A e, ambas, grandes áreas envidraçadas, porém, a Sala 4A possui três faces expostas à radiação solar direta, enquanto a outra tem apenas duas (as menores).

Em relação às salas menores, 2B, 3B e 4B, o comportamento foi o contrário das maiores. À medida em que as Salas 1, 2A, 3A e 4A apresentaram registros maiores nos horários de maior temperatura do ar, as Salas 2B, 3B e 4B registraram as temperaturas mais altas nos horários em que a temperatura do ar se encontrava mais amena. Considerando que, neste dia, o monitoramento foi realizado com as janelas abertas, pode-se dizer que o fenômeno citado se dá por dois principais fatores: (a) estas salas possuem menores áreas de abertura, dificultando as trocas térmicas entre o interior e o exterior, que já alcança temperaturas menores nestes horários; e (b) têm paredes menores, sendo apenas uma voltada para o meio externo, que, nestes intervalos, favorecem às trocas de calor, uma vez que as salas que as cercam possuem maior

carga térmica que o exterior.

#### 4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Quanto ao projeto, notou-se que sua implantação pode ser encarada como favorável ao aproveitamento dos condicionantes climáticos, considerando as limitações e impossibilidade de realizar alterações projetuais relativas à setorização e disposição dos ambientes. Entretanto, tal limitação ainda proporciona incidência solar vespertina em espaços de permanência prolongada e o potencial de uso da ventilação natural não pode ser explorado totalmente pela falta de aberturas de saída de ventos na maior parte das salas, impedindo a ventilação cruzada nos ambientes.

A edificação conta com áreas não edificadas que poderiam ser utilizadas como espaços abertos de recreação com arborização que contribuiriam para o sombreamento dos espaços externos e das vedações da área edificada.

As aberturas possuem sombreamento advindo dos beirais e dos blocos próximos, mas é insuficiente, visto que a carga térmica da insolação direta, sobretudo no período quente e seco, ao incidir nos ambientes, eleva sua temperatura interior, e a perda de carga térmica é dificultada pelas esquadrias de vidro comum e pelos painéis *Wall System* das vedações verticais, que, de acordo com suas propriedades térmicas, são altamente isolantes.

Diante deste cenário, os resultados dos monitoramentos (período quente e úmido e período quente e seco) apontaram que as salas com orientação Sul registraram temperaturas mais altas que as orientadas para Norte nos dois períodos e, destas, a que apresentou maior exposição de vedações verticais ao exterior teve os maiores registros no período quente e seco, caracterizado por temperaturas do ar mais altas e umidades relativas mais baixas que no quente e úmido.

Observou-se, ainda, que os maiores ganhos de calor se deram através das áreas envidraçadas presentes nas esquadrias. As paredes isolantes e a opacidade do vidro comum à radiação de ondas longas dificultam a perda do calor acumulado durante o dia para o meio externo no período noturno, quando a temperatura do ar se encontra mais amena.

Quanto ao conforto térmico nos ambientes internos, pôde-se compreender que as salas são consideradas confortáveis na maior parte do tempo analisado no período quente e úmido, enquanto há significativo desconforto por calor em todas as salas no período quente e seco, fazendo-se necessário o uso de estratégias bioclimáticas na edificação para diminuição da

temperatura e aumento da umidade relativa do ar.

Neste sentido, entre as estratégias bioclimáticas recomendadas para melhorias de conforto térmico na edificação, tem-se que a mais viável a ser considerada seria o resfriamento evaporativo por meio do cultivo de espécies arbóreas que proporcionem umidade e sombreamento à edificação. A ventilação cruzada também poderia ser providenciada por meio do uso de portas vazadas que possibilitassem as trocas de ar entre os meios interno e externo, já que as portas são mantidas fechadas durante as atividades em sala.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se destacar a relevância do uso de elementos de sombreamento de aberturas, pois a maior parte das propriedades térmicas das vedações da edificação encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelas normas abordadas (NBR 15220 e NBR 15575). A orientação dos blocos encontra-se favorável ao aproveitamento dos condicionantes climáticos, mas, ainda assim, os ambientes monitorados apresentaram temperaturas internas mais altas que o exterior nos dois períodos analisados. Porém, as salas que apresentaram sombreamento satisfatório das aberturas (3B e 4B) registraram temperaturas internas menores que a externa.

Quanto a isto, investigou-se outros fatores que exerceram influência sobre estes resultados, uma vez que entre as salas supracitadas e as demais analisadas, existem mais variáveis divergentes, como áreas dos ambientes e das vedações voltadas ao meio externo. Neste sentido, observou-se que estes fatores possuem moderadas correlações com o aquecimento diário das salas, sendo a área envidraçada a maior responsável pelos ganhos térmicos dos ambientes.

Outro fato identificado foi a ocorrência de retardo no resfriamento interno dos ambientes de modo que, durante todo o período de monitoramento, as maiores diferenças entre o interior e o exterior da edificação foram observadas durante a noite, quando a temperatura externa atingiu valores mais baixos enquanto a interna não conseguiu acompanhar a redução no mesmo intervalo de tempo, o que fez com que esta já estivesse alta quando a externa começou a aumentar, podendo-se, assim, considerar a recomendação de resfriamento noturno nos ambientes.

O resfriamento evaporativo também foi uma estratégia bioclimática indicada pelos resultados da aplicação das metodologias adotadas, especialmente no período quente e seco, quando todas as salas apresentaram desconforto na maioria das horas monitoradas, e, diante das extensas áreas não edificadas no limite do lote da instituição, tem-se que é uma estratégia com significativo potencial de aplicação através da plantação de espécies arbóreas que promovam sombreamento às vedações e esquadrias, bem como umidificação do ar por meio da evapotranspiração das superfícies vegetadas. No entanto, a aplicação desta estratégia mostra-se uma solução para longo prazo, uma vez que, para isto, é necessário aguardar o tempo de crescimento das espécies escolhidas.

A ventilação cruzada pode ser inserida na edificação por meio da troca das portas, inserindo elementos vazados, pois a orientação dos blocos pedagógicos é favorável a isto, mas a inexistência de aberturas para saída do ar e a impossibilidade de abertura das portas durante o uso das salas o impossibilitam. Entretanto, é necessário controle de abertura e fechamento destes elementos, já que, no período quente e úmido, podem causar desconforto por frio, pois as temperaturas e umidades relativas do ar registradas com as salas fechadas neste período, mostraram-se confortáveis na maior parte do tempo.

Assim, constata-se que, apesar de suprir a demanda institucional da educação infantil de forma mais rápida que a convencional, promovendo o acesso de mais crianças à rede pública de ensino, o sistema construtivo utilizado nesta edificação das Metodologias Inovadoras, com vedação opaca de baixa transmitância térmica somado ao elevado número de esquadrias com grandes áreas envidraçadas, não se mostrou eficiente na promoção do conforto térmico aos seus ambientes, o que compromete o desenvolvimento e aprendizagem dos alunos, bem como o rendimento dos professores e demais funcionários. Vale ressaltar também a baixa durabilidade do material. A camada externa de PRFV se mostrou muito vulnerável a intempéries e o gesso acartonado exposto ao exterior logo se deteriorou.

### 5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Durante as etapas realizadas, foram encontradas algumas dificuldades incluindo: a falta de informações acerca de monitoramento em locais voltados para crianças, o que dificultou a definição de alturas para o posicionamento dos equipamentos utilizados nos períodos de monitoramento contínuo; e pouca bibliografia para avaliações qualitativas de conforto com usuário infantil.

Também existiram algumas limitações quanto ao monitoramento: para as medições pontuais do período quente e úmido, houve dificuldade em definir um dia ensolarado, pois realizá-las em dias em que o céu estivesse encoberto por nuvens ofertaria dados de comportamento térmico semelhantes para todas as salas; a indisponibilidade de equipamentos mostrou-se uma limitação relevante, conforme ocorrido com as medições de temperatura superficial, que precisou ser realizada com equipamentos diferentes nos períodos; e a falta de segurança na creche, que impossibilitou a instalação de uma estação meteorológica no local, o que proporcionaria maior diversidade de variáveis climáticas externas à edificação, possibilitando aprofundamento nas análises.

O universo utilizado foi pequeno (15 dias no período quente e úmido e 39 dias no

período quente e seco), pois o monitoramento foi realizado nos períodos de recesso dos alunos, quando as salas se encontravam vazias. Como o material das paredes e coberturas apresenta temperatura significativa, os *dataloggers* internos precisaram ficar o mais longe possível das vedações e o mais próximo da altura do usuário (60cm), possibilitando a interferência das crianças, caso estivessem nos locais. Deste modo, as análises não consideraram a carga térmica que a ocupação pelo usuário proporciona ao ambiente edificado.

A falta de norma de desempenho para edificações institucionais também se demonstrou um empecilho para a realização da análise qualitativa, uma vez que as normas utilizadas e únicas válidas até o momento, são direcionadas para habitações de interesse social e abordam requisitos mínimos.

## 5.2. INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A inovação do uso da tecnologia construtiva em questão para edificações institucionais no Brasil dá espaço para sua análise de diferentes maneiras. Diante das indagações encontradas no desenvolvimento deste trabalho, sugere-se os seguintes estudos futuros:

- Avaliação do conforto térmico na edificação com o usuário;
- Relação do desempenho térmico da edificação com aspectos como iluminação e acústica;
- Análise do desempenho térmico, por monitoramento, do mesmo projeto em climas diferentes;
- Análise do desempenho térmico, por monitoramento, do projeto com as demais tecnologias construtivas disponibilizadas pelo Programa de Metodologias Inovadoras (Concreto/PVC e Light Steel Frame).

## REFERÊNCIAS

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ALVARES, S.L. **Traduzindo em formas a Pedagogia Waldorf**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na região metropolitana de São Paulo**. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2017**: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

AMORIM, Alexandre Cypreste; CARLO, Joyce Correna. Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100140>

ARAÚJO, Mayna Laís Tenório de. **Avaliação de desempenho térmico em creche do programa Proinfância nas Zonas Bioclimáticas Brasileiras**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ARAÚJO, Mayna Laís Tenório de; SCALCO, Veridiana Atanasio. Desempenho térmico de creches padronizadas do Programa Proinfância em diferentes cidades de Alagoas. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018 Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

ASPECTOS dos cuidados das crianças de menos de 4 anos de idade. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Suplemento. ISBN 978-85-240-4409-0.

AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen. **Arquitetura escolar e educação: um modelo conceitual de abordagem interacionista**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos; RHEINGANTZ, Paulo Afonso; VASCONCELLOS, Vera Maria Ramos de; AQUINO, Ligia Maria Leão de. **Padrões de Infra-estrutura para as Instituições de Educação Infantil e Parâmetros de Qualidade para a Educação Infantil**. Documento Preliminar. Rio de Janeiro: Ministério da Educação, 2004. 120p.

BABICK, Cláudia Silva; TORRES, Maurício Carvalho Ayres. 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. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 110-128, dez. 2017.

BARROS, L. A. F. **Avaliação de projeto padrão de creche em conjuntos habitacionais de interesse social**: o aspecto da implantação. p. 208, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, 2002.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; SACRAMENTO, Alexandre da Silva; CANDIDO, Christhina; LEAL, Thalianne. Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 59-69, jul./set. 2007.

BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto as limitações do texto das Normas Brasileiras de Desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575. **HOLOS**, Natal, vol. 7, p. 290-298, 2016. ISSN: 1518-1634. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. DOI: 10.15628/holos.2016.4389.

BRANCALEON, Brigida Batista; YAMANAKA, Jessica Suzuki; CASTRO, José Marcelo de; CUOGHI, Kaio Guilherme; PASCHOALOTTO, Marco Antonio Catussi. **Políticas Públicas: Conceitos Básicos**. Material Didático. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016. 498 p.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2002. PL 634/1975.

BRASIL. **Parâmetros Básicos de Infra-estrutura para Instituições de Educação Infantil**. Brasília: Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. FNDE/DIGAP/CGEST. **Construção de Escolas de Educação Infantil Creche de Tipo B e C – Metodologias Inovadoras**: Orientações gerais para preenchimento dos dados no SIMEC. Programa de aceleração do crescimento- PAC2. Brasília: 2013a.

BRASIL. Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 2, 13 jan. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.796**. Altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para dispor sobre a formação dos profissionais da educação e dar outras providências [2013b]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12796.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12796.htm). Acesso em: 03 dez. 2019.

BRASIL. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **Resolução/CD/FNDE nº 6, de 24 de abril de 2007**. Estabelece as orientações e diretrizes para

execução e assistência financeira suplementar ao Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil - PROINFÂNCIA. Brasília: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação, 2007. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/acao-a-informacao/institucional/legislacao/item/3130-resolu%C3%A7%C3%A3o-cd-fnde-n%C2%BA-6-de-24-de-abril-de-2007>. Acesso em: 03 dez. 2019.

BRASIL. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **Resolução/CD/FNDE nº 25, de 14 de junho de 2013**. Estabelece os critérios de transferência automática de recursos a municípios e ao Distrito Federal, a título de apoio financeiro, para construção de unidades de educação infantil – Proinfância, com utilização de Metodologias Inovadoras e dá outras providências. Brasília: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação, 2013c. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/acao-a-informacao/institucional/legislacao/item/4610-resolu%C3%A7%C3%A3o-cd-fnde-n%C2%BA-25,-de-14-de-junho-de-2013>. Acesso em: 03 dez. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **História**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/acao-a-informacao/institucional>. Acesso em: 18 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **Metodologias Inovadoras (MI)**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/mobiliario-e-equipamentos-2>. Acesso em: 11 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **Sobre o PAC**. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>. Acesso em: 18 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - Ministério da Educação. **Sobre o Proinfância**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/sobre-o-plano-ou-programa/sobre-o-proinfancia>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BUONOCORE, Carolina de Oliveira. **Análise das condições de conforto térmico no clima quente e úmido de São Luís (MA)**: Estudos de campo em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. *Arquitetura bioclimática do espaço público*. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226 p. ISBN 85-230-0652-4.

CAIXETA, Michele Caroline Bueno Ferrari; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Avaliação Pós-Ocupação em Creche: uma abordagem sobre os instrumentos de avaliação utilizados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009 São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2009.

CANEPPELE, Laís Braga. **Proposta de alterações das estratégias bioclimáticas sob a ótica da avaliação do desempenho térmico e eficiência energética**: estudo de caso em unidade habitacional de Cuiabá/MT. 103 p. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações

e Ambiental) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

CASTRO, Renata Torres Sarmento de. **Avaliação do desempenho da ventilação natural e do sombreamento em casas de Maceió projetadas segundo princípios abordados na cartilha de Armando de Holanda**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

COELHO, Thamys da Conceição Costa; GOMES, Carlos Eduardo Marmorato; DORNELLES, Kelen Almeida. Desempenho térmico e absorvência solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147-161, jan./mar. 2017.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 308 p. ISBN 978-85-7106-397-6.

COSTA, Ana Márcia Viana da. **Adequação de edificações escolares ao contexto climático de Maceió-AL, com vistas à otimização de seu desempenho térmico**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmica do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

COSTA, Ana Márcia Viana da. **Arquitetura adaptada ao clima**: Análise comparativa dos centros de atenção integral à criança de Maceió. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. **Desempenho térmico e habitação**: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmica do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

CHAVES, Victor Leandro Arantes. **Análise de estratégias para melhoria do conforto térmico em salas de aulas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

DELIBERADOR, Marcella Savioli. **O processo de projeto de arquitetura escolar no Estado de São Paulo: caracterização e possibilidades de intervenção**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

DELIBERADOR, Marcella Savioli. **Parâmetros da arquitetura escolar e o jogo de cartas como ferramenta de apoio ao desenvolvimento do programa arquitetônico**. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

DEVORE, Jay L. Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências. 6ª ed., São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2006.

EDUCAÇÃO 2018. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Suplemento. ISBN 978-85-240-4495-3.

FELICIANO, Bruno Tovar; NUNES, Maria Fernanda Rezende; SANTOS, Edson Cordeiro dos. Dez anos do Proinfância: efeitos de uma política pública de indução. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 30, n. 73, p. 254-278, jan./abr. 2019, ISSN 0103-6831, e-ISSN 1984-932X.

FERNANDES, Luciana O.; ANDRADE, Nixon C.; LABAKI, Lucila C.; BERNARDI, Nubia; BERTOLI, Stelamaris R. Avaliação do conforto térmico de salas de aula de prédio escolar da rede pública em Campinas/SP. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2010.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; Assis, Eleonora Sad de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183- 200, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100131>.

FERREIRA, Míryan Patrícia Tenório. **Avaliação do conforto térmico com base em critérios normativos em apartamentos representativos do programa minha casa minha vida em Maceió-AL**. 2019. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

FNDE. FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Elaboração de projetos de edificações escolares: educação infantil**. Brasília: FNDE, 2017. 175 p. (Manual de orientações técnicas. v.2).

FNDE. FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Elaboração de projetos de construção de Centros de Educação Infantil**. Brasília: FNDE, 2009. 94 p. (Manual técnico de Arquitetura e Engenharia. v. preliminar).

FONSECA, Luiz Eduardo Di Braga da. **Comparação de desempenho Térmico de pré-escolas do Programa Proinfância nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras: estudo do projeto padrão Tipo C e projeto conforme recomendações normativas de envoltória**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FRACAROLLI, Guilherme Silva. **O uso de indicadores no planejamento das políticas públicas no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Públicas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2015.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 2001 São Paulo: Studio Nobel, 2003. ISBN 85-85445-39-4

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

GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons. 1998. 464 p. ISBN 0-471-29177-3

GOULART, Mariana Fortes. **Conforto Térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá**: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

GRAÇA, Valéria Azzi Collet da. **A integração dos aspectos de conforto ambiental no projeto de escolas**: uso da metodologia axiomática e de exemplos simplificados. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

GRANDI, Mariele Stefani. **Avaliação da percepção da sensação térmica em uma sala de controle**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

HOCHMAN, G.; ARRETCHE, M.; MARQUES, E.; orgs. **Políticas públicas no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 17 set. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arapiraca**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama>. Acesso em: 19 fev. 2020.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. INMETRO, 2010.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. INMETRO, 2017.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. INTERNATIONAL STANDARD: Genebra, 1998.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar**: o projeto do ambiente de ensino. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO Márcio M. (orgs.). **O processo de projeto em arquitetura**: da teoria à tecnologia. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LABAKI, Lucila Chebel; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6.; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 3., 2001, São Pedro. **Anais [...]**. São Pedro: UNICAMP, 2001.

LABEEE, LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Downloads. **Arquivos climáticos INMET em formato EPW**. 2016. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>. Acesso em: 19 set. 2018.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antonio Augusto; GOULART, Solange; VECCHI, Renata de. **Conforto e Stress Térmico**. Florianópolis, 2016a. Apostila do Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016a.

LAMBERTS, Roberto *et. al.* **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, 2016b. Apostila do Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016b.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. ELETROBRAS/PROCEL. Rio de Janeiro. 2014.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Eneid; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis. UFSC, 2010.

LAMENHA, Mylena Almeida. **A escola técnica do Programa Brasil Profissionalizado: um projeto padrão para diferentes zonas bioclimáticas**. 2016. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

UCLA. DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Climate Consultant, version 6.0**. Los Angeles: 2020. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>. Acesso em: 10 fev. 2020.

LINS, Regina Dulce Barbosa. **Cidades e Políticas Públicas: Notas de Aula**. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) - Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2018.

LOPES, Thais Andrea Carvalho de Figueirêdo. **O Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância): expansão da educação infantil com qualidade?**. 2018. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

LOURENÇO, Willian Magalhães de; ROSSI, Camila Taciane; ONGARATTO, Debora Rodrigues Loreto; SANTOS, Eduardo Henrique Lucca; HAAS, Alessandra; SANTOS, Joaquim Cesar Pizzutti dos. Reflexões aos parâmetros de estratégias bioclimáticas e desempenho térmico da NBR15220 para Zona Bioclimática 2. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 10., 2018, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santana do Livramento, 2018.

MACHADO, Ernani Simplício; SILVA, Helga; FLEMMING, Liane; CAVALCANTI, Patrícia Biasi; AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen; RHEINGANTZ, Paulo Afonso. Uma reflexão sobre métodos utilizados em APO: estudo de caso da Creche Edson Luiz – RJ. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 12., 2008, Fortaleza. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2008.

MADEIRA, Juliana Grillo da Silva. **Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória mediante ações de retrofit em edificação pública escolar**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

MARTINS, Rafael D'Almeida; VAZ, José Carlos e CALDAS, Eduardo de Lima. **A gestão do desenvolvimento local no Brasil: (des)articulação de atores, instrumentos e território**. *Rev. Adm. Pública* [online]. 2010, vol.44, n.3, pp.559-590. ISSN 0034-7612. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-76122010000300002>. Acesso em: 17 set. 2018.

MARTINS, Tathiane Agra de Lemos; BITTENCOURT, Leonardo Salazar; KRAUSE, Cláudia Mariz de Lyra Barroso. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012.

MATOS, Eduardo. **Prefeituras gaúchas aguardam há cinco anos solução para impasse sobre construção de creches**: Apenas seis das 238 prometidas foram concluídas pela empresa MVC Componentes Plásticos. 2018. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/educacao-e-emprego/noticia/2018/06/prefeituras-gauchas-aguardam-ha-cinco-anos-solucao-para-impasse-sobre-construcao-de-creches-cjino87zi0ez201pajblvik6f.html>. Acesso em: 03 mar. 2019.

MEDLER, Néborá Lazzarotto; BERLEZE, Angélica Saccol; TSUTSUMI, Edison Kiyoshi; LINCZUK, Vinícius Cesar Cadena; AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen. Avaliação de desempenho de um projeto padrão do Programa Proinfância: Escola de Educação Infantil no Sul do Brasil. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 95-118, 2018. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i2.126495>

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. 2018. Disponível em: [http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Munic%C3%ADpios\\_Semi%C3%A1rido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf). Acesso em: 12 nov. 2019.

MIISTÉRIO DO TRABALHO. **Norma de Higiene Ocupacional: NHO 06** Avaliação da exposição ocupacional ao calor. MIISTÉRIO DO TRABALHO: São Paulo, 2017.

MORIMOTO, Rodrigo Meirinho; OLIVEIRA, Francisco Henrique de. Análise do espaço construído da rede de educação infantil utilizando os métodos AHP e SIG: estudo de caso em Camboriú (SC). **Arquitetura Revista**, São Leopoldo, v. 15, n. 1, p. 15-38, jan./jun. 2019. DOI: 10.4013/arq.2019.151.02

MVC, Soluções em Plásticos. **Projeto Creches MEC | FNDE: Projeto Proinfância – Tipo B**. Memorial Descritivo. 2015<sup>101</sup>.

<sup>101</sup> Ano estimado. O documento não informa o ano de publicação.

NASCIMENTO, Fernanda Maria de Barros; BATISTA, Juliana Oliveira. Avaliação do desempenho térmico da creche padrão do Programa Proinfância através dos índices de conforto: estudo de caso na cidade de Maceió-AL. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 14.; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 10., 2017, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: Marketing Aumentado, 2017

NASCIMENTO, Juliana Montagner A. do; SACHT, Helenice Maria. Estratégias bioclimáticas para edifícios destinados ao clima da cidade de Araras-SP. **Revista UNAR**, Araras, v. 7, n. 2. 2013. ISSN 1982-4920.

NASCIMENTO, Tassia Catherine Costa. **Avaliação da NBR 15575 quanto ao desempenho térmico e luminoso**: estudo de caso em Maceió-AL. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

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

NUNES, Ana Maria Laurindo André. **Aprender brincando**: proposta arquitetônica de uma creche e jardim de infância a partir da Pedagogia Waldorf. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2017.

NUNES, Ana Maria Laurindo André; SILVA, Mônica Ferreira da; BARBIRATO, Gianna Melo; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues. Intensidade e direção predominante de ventos e precipitação no Agreste Alagoano. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 15.; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 11., 2019, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, 2019.

NUNES, Ana Maria Laurindo André; SILVA, Mônica Ferreira da; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues. Análise e definição de um Ano Meteorológico Típico (TMY) para Arapiraca-AL a partir das metodologias TMY e TMY2. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*, 7; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 2; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*. 2017, São Leopoldo. **Anais [...]**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. p. 1787-1796.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gilli, 1998.

OLGYAY, Victor. **Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**, Princeton University Pres. Princeton. 190p, 1973.

PACÍFICO, Juracy Machado; FREITAS, Sirley Leite; MATOS, Natasha Souza. Proinfância e escolas de educação infantil: um estudo sobre implantação em estado da Região Norte. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, v.12, n.1, p. 228-242, 2017. E-ISSN: 1982-5587 DOI: <http://dx.doi.org/10.21723/riaee.v12.n1.8235>

PAPST, Ana Lúcia. **Uso da inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis-SC**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PASSOS, Isabela Cristina da Silva. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

PAULSE, Pablo de Caldas. **Análise do desempenho termoenergético de escolas públicas segundo aplicação do RTQ-C para a envoltória**. 2016. Dissertação (Mestrado em Projeto e Cidade) – Faculdade de Artes Visuais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS. Rio de Janeiro: IBGE, 1939- . 2006-2013. ISSN 0101-6822.

PEREIRA, Jéssica Daiane Santos ; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues . Análise das áreas verdes urbanas e sua influência na redução do rigor térmico em cidade de clima semiárido. *In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL - PLURIS*, 7. 2016, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: Viva Editora, 2016.

PIMENTA, Ivonice Gonçalves Dutra. **Avaliação de desempenho da Escola de Ciências Biológicas do UNILESTEMG**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

PIRES, Angela Maria Barbosa. **O Proinfância como política de acesso educação infantil nas cidades do Sudeste Goiano**. 2017 Dissertação (Mestrado em Educação) – Unidade Acadêmica Especial de Educação, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017.

RAMBO, Mirian Hossa. **Na prática a teoria é outra: concepção e funcionamento de unidades de educação infantil**. 218 p. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília. 2017.

ROCHA, Dayvid Danilo Alves da ; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues . Estudos de clima urbano na região Agreste de Alagoas: análises meso e microclimáticas em Arapiraca-Alagoas. *In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL - PLURIS*, 7. 2016, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: Viva Editora, 2016.

RORIZ, Maurício. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 11 jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2013a. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 11 jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2.1**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2013b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 11 jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012a. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 11 jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 11 jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. São Carlos, 2008. (Apostila).

RORIZ, Maurício. **Zoneamento Bioclimático do Brasil**. São Carlos: UFSCar, 2004. Programa que fornece a classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Disponível em: [http://www.roriz.eng.br/download\\_6.html](http://www.roriz.eng.br/download_6.html). Acesso em: 14 ago. 2019.

RORIZ, Maurício; GHISI, Eneid; LAMBERTS, Roberto. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1999, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 1999.

SOUZA, Larissa Negrís de. **Arquitetura escolar, parâmetros de projeto e modalidades de aprendizagem**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

SILVA, Mônica Ferreira. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas: Contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, Mônica Ferreira. **Estratégias Bioclimáticas para o Agreste de Alagoas: diretrizes projetuais para edificações em Arapiraca**. 2017. 64 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal de Alagoas. Arapiraca, 2017.

SILVA, Mônica Ferreira da; NUNES, Ana Maria Laurindo André ; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues . Diretrizes bioclimáticas para a cidade de Arapiraca-AL a partir do método de Mahoney Nebuloso. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*, 7; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 2; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*. 2017, São Leopoldo. **Anais [...]**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. p. 1755-1764.

SIVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente**: NBR 15.575 e ASHRAE 55. 2014. Dissertação (mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – , Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

SOUZA, Celina. Políticas Públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, Porto Alegre, ano 8, n. 16, jul/dez 2006, p. 20-45.

SOUZA, Jessé. **Aula Magna - Políticas Públicas e Desigualdade em Tempos de Crise**. 2016. (2h2m24s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xix61uSwHFo>. Acesso em: 10 set. 2018.

SOUZA, Lincoln Moraes de. A agenda e as agendas no Brasil. **Cronos**, Natal, v. 7, n. 1, p. 79-101, jan./jun. 2006.

SPAGNUOLO, Augusto Yuji Nojima. **Projeto Padrão e conforto térmico**: Estudo de caso nas creches PROINFÂNCIA Tipo B. 2019. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

SPAGNUOLO, Augusto Yuji Nojima; SILVEIRA, G. W. P.; SERRANO, A. C.; MAGAGNIN, R. C.; FARIA, O. B. Conforto térmico de edifício Escolar padrão Proinfância Tipo B em três regiões bioclimáticas brasileiras distintas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 17., 2018 Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido. 2017. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 12 nov. 2019.

TORRES, Simone Caruaíba. **Forma e Conforto**: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) – Centro de Artes e Comunicação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

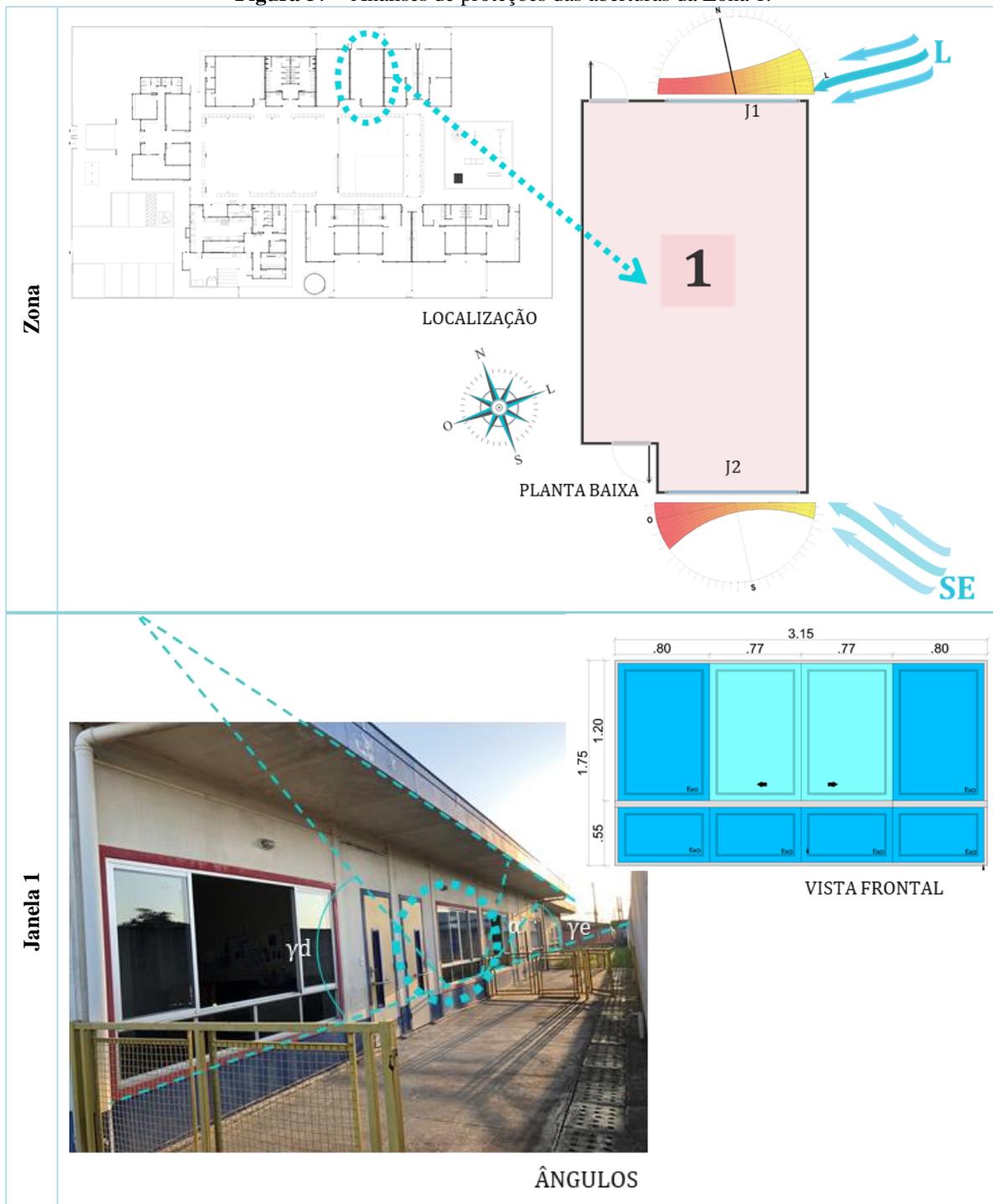
TORRES, Simone Caruaíba; FREITAS, Ruskin Marinho de; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues; BARBIRATO, Gianna Melo. Climatologia urbana, planejamento e sustentabilidade: discussões a partir da análise do Plano Diretor de Arapiraca-AL. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 12; *ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 8. 2013, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Universidade de Brasília, 2013. p. 385-394.

## ΑΡÊΝΔΙΔΕΣ

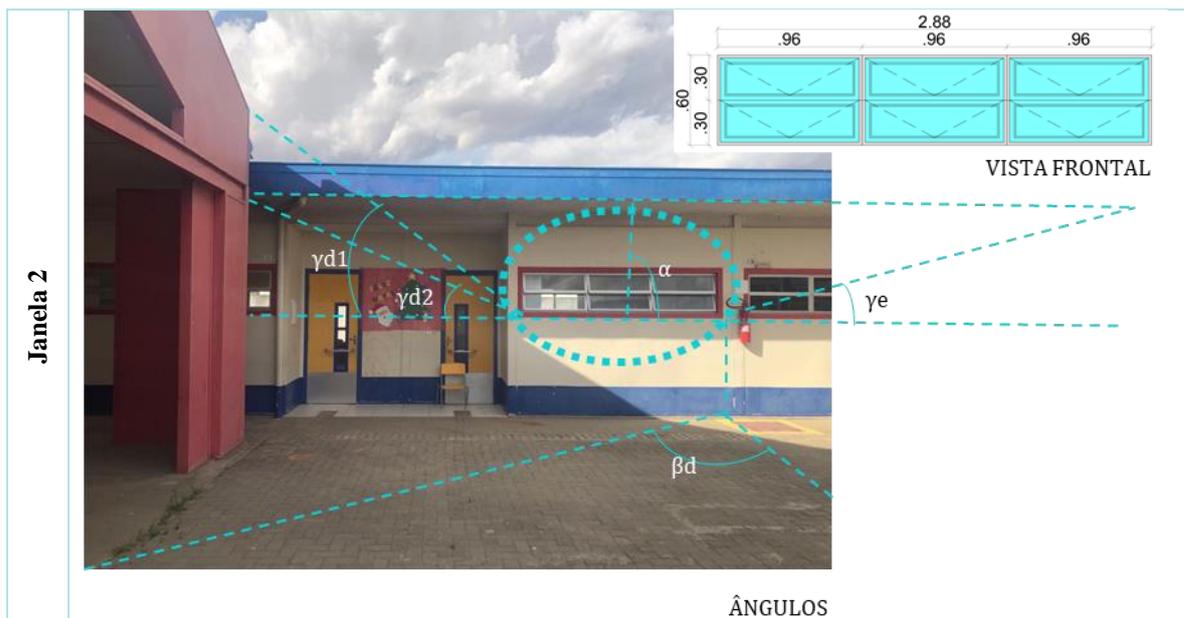
7. APÊNDICES

APÊNDICE A – Ângulos para análises de proteções de aberturas.

Figura 57 – Análises de proteções das aberturas da Zona 1.

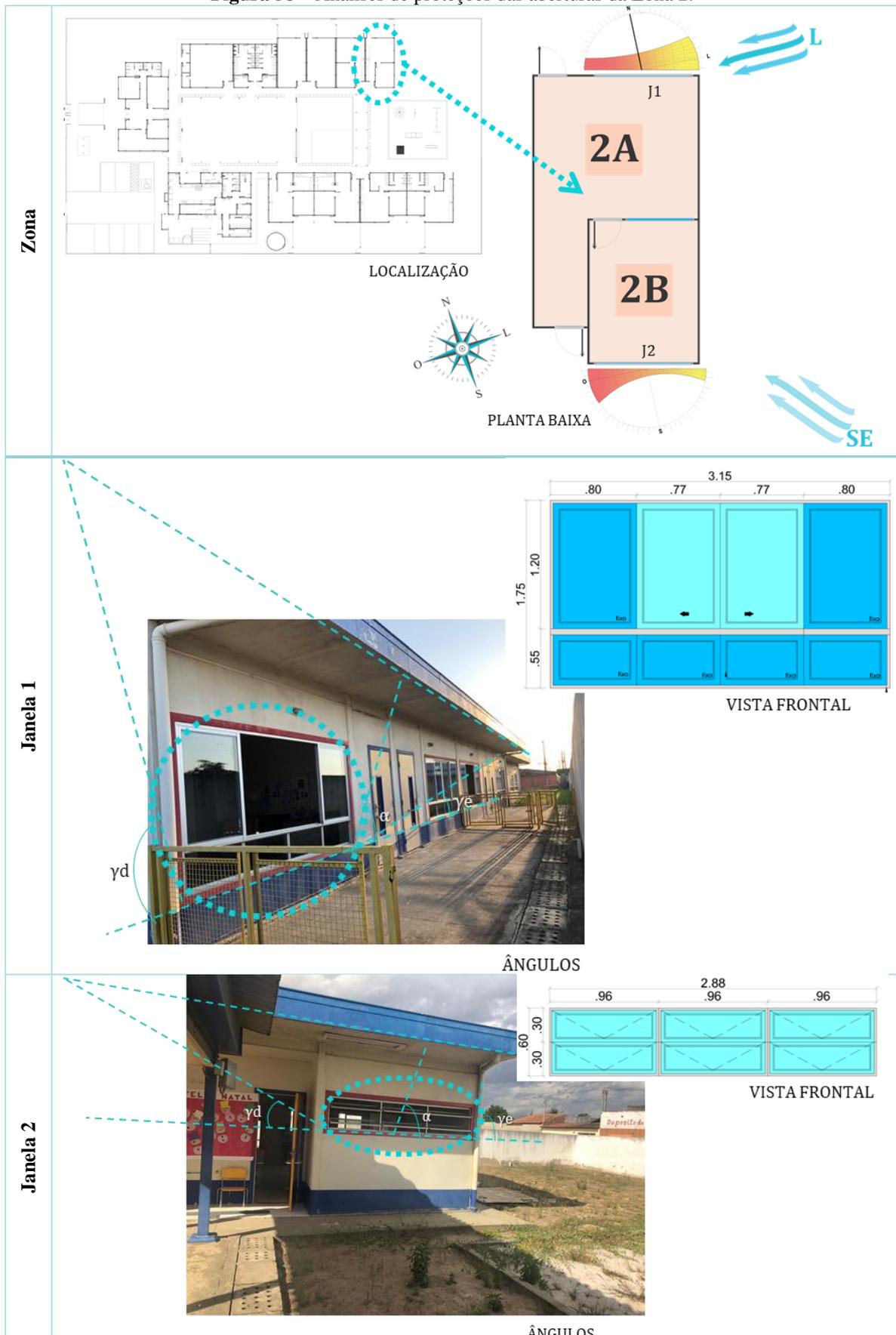


(continua)



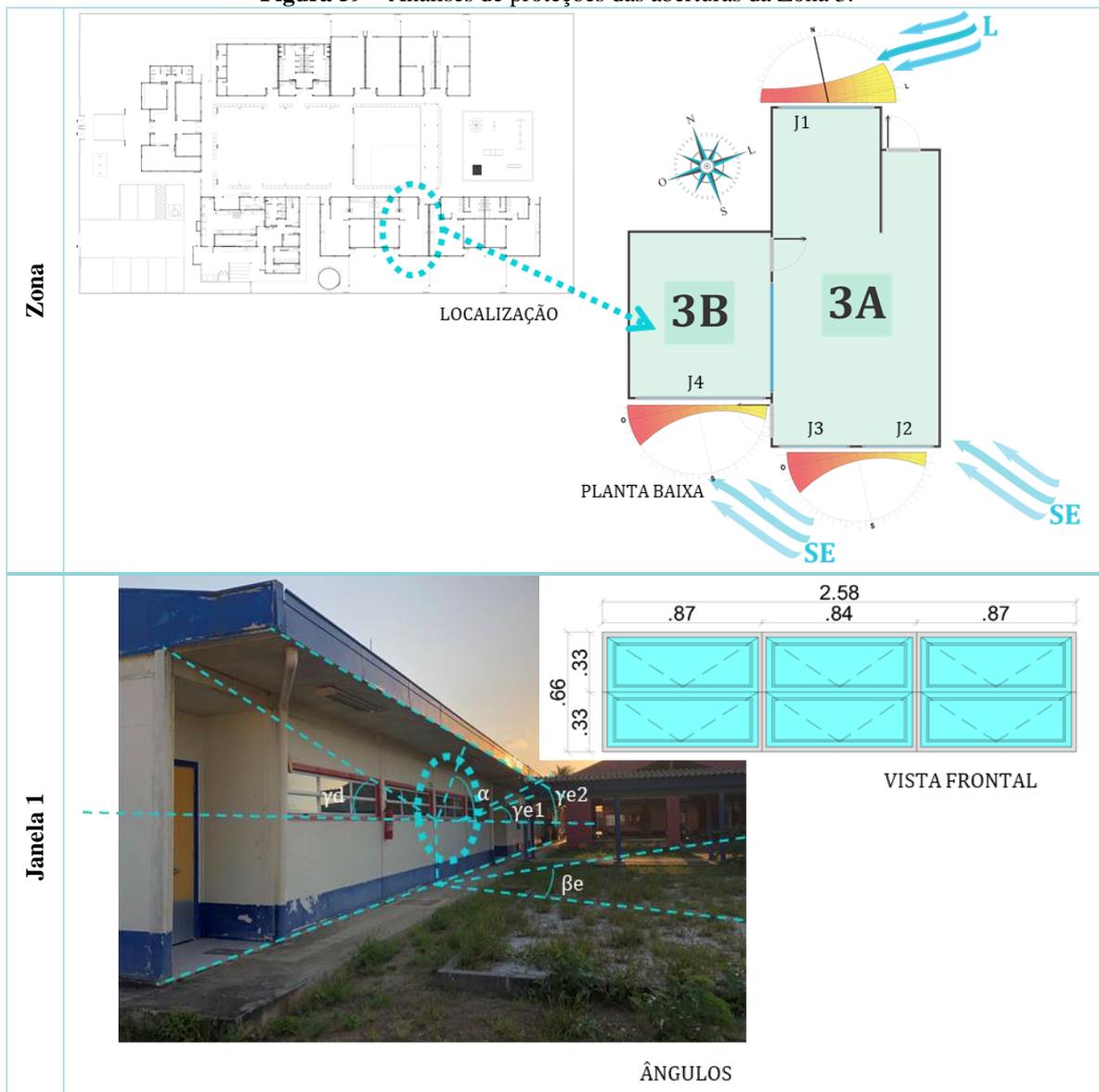
Fonte: Autora, 2020.

**Figura 58** – Análises de proteções das aberturas da Zona 2.

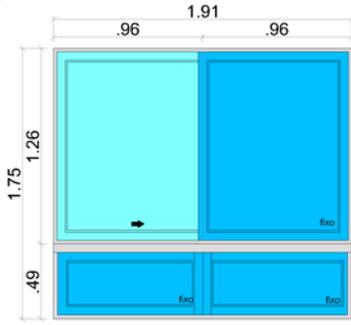


Fonte: Autora, 2020.

Figura 59 – Análises de proteções das aberturas da Zona 3.

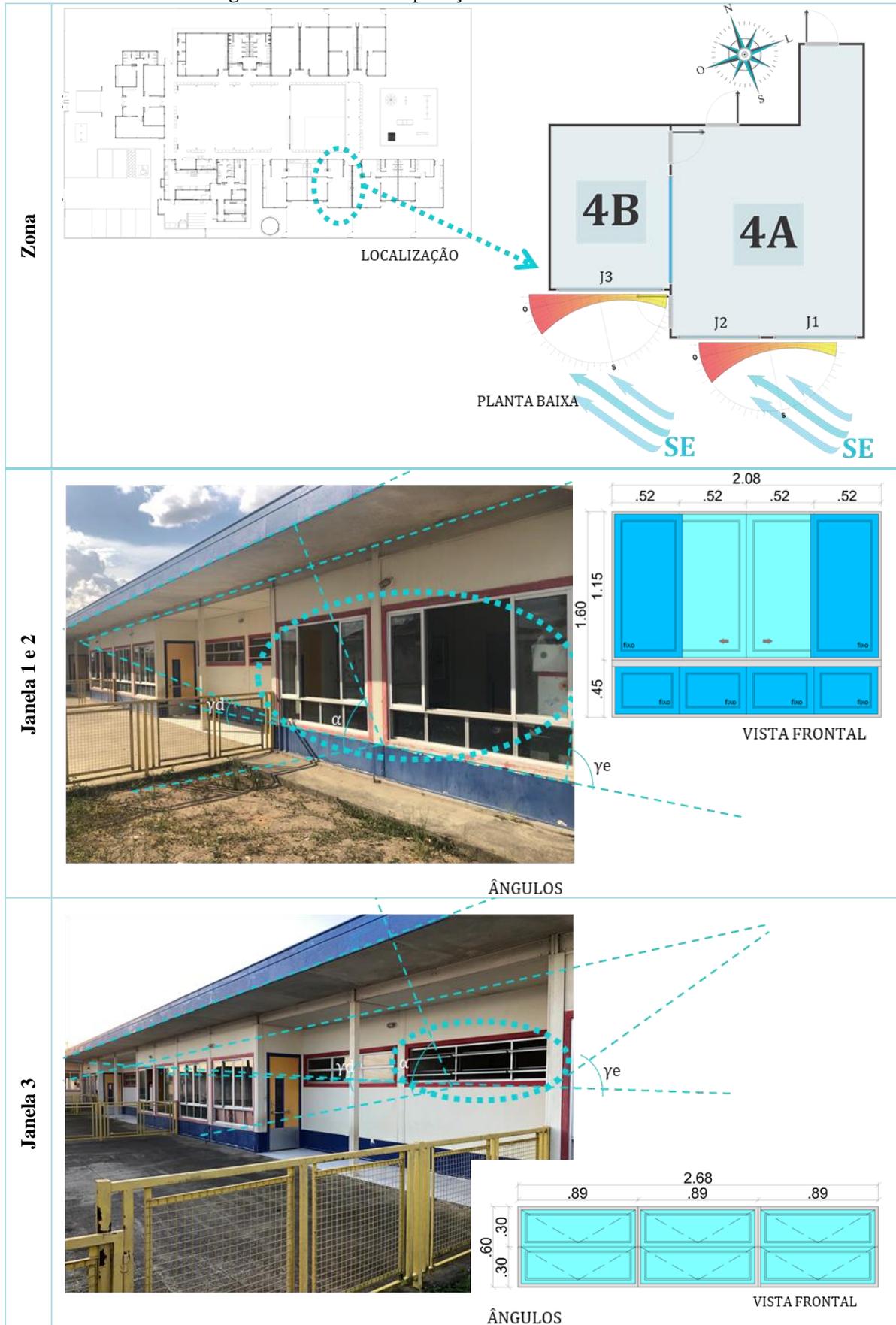


(continua)

<p>Janela 2 e 3</p>		 <p>VISTA FRONTAL</p>
<p>Janela 4</p>		<p>ÂNGULOS</p>

Fonte: Autora, 2020.

Figura 60 – Análises de proteções das aberturas da Zona 4.



**APÊNDICE B** – Resultados das aferições dos *dataloggers* internos.

**Tabela 20** – Resultado da aferição dos *dataloggers* internos no período quente e úmido.

	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)		
	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx
HOBO 01	23,84	24,88	25,77	66,98	73,44	80,12
HOBO 02	23,89	24,91	25,77	66,71	73,10	79,79
HOBO 03	23,91	24,90	25,73	65,78	72,24	78,85
HOBO 04	23,86	24,88	25,73	64,73	71,20	77,70
HOBO 05	23,89	24,91	25,77	65,58	71,93	78,63
HOBO 06	23,96	24,97	25,82	64,77	71,58	80,12
HOBO 07	23,89	24,88	25,70	66,99	73,43	80,12
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,038</b>	<b>0,029</b>	<b>0,041</b>	<b>0,980</b>	<b>0,905</b>	<b>1,008</b>

Fonte: Autora, 2019.

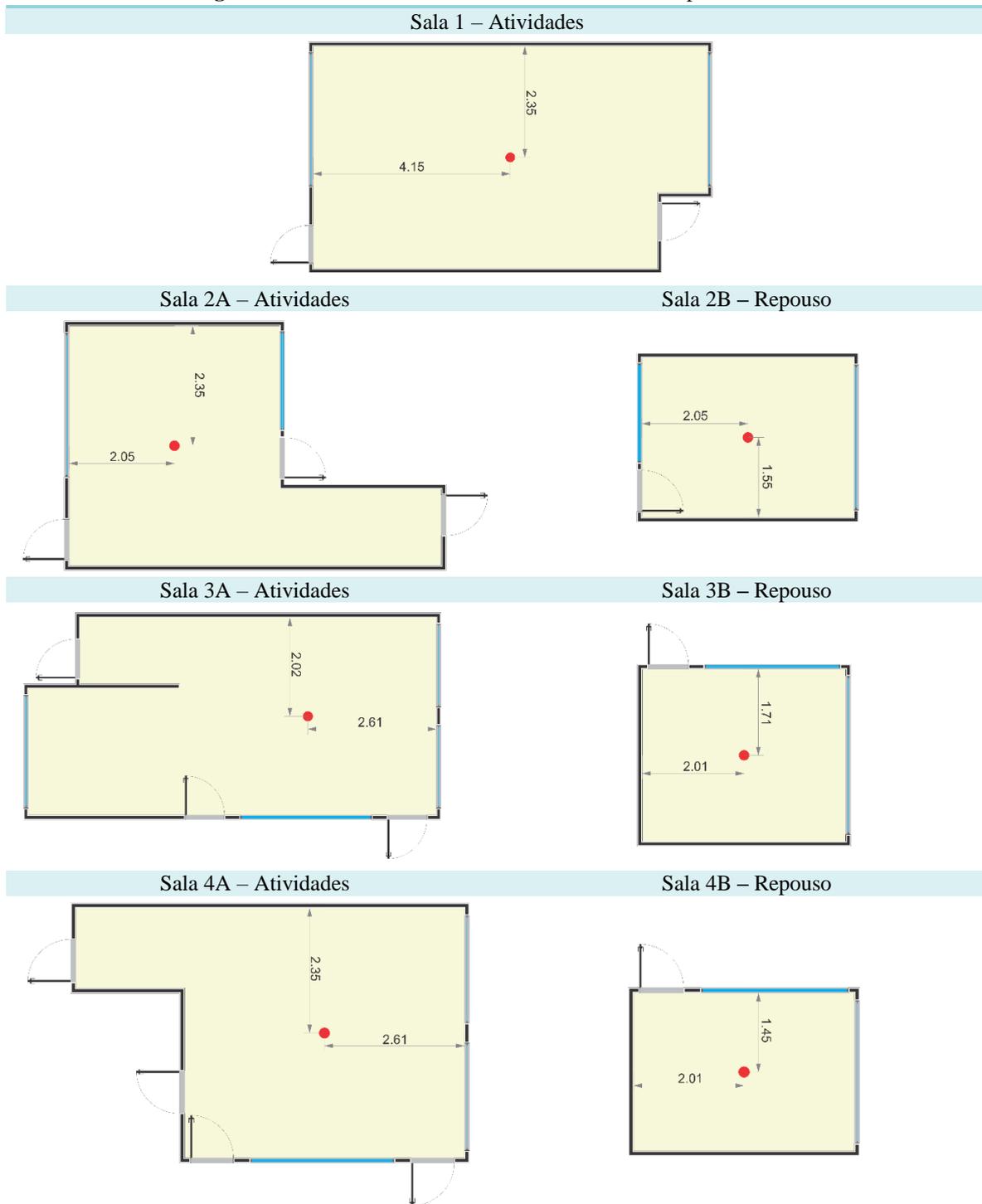
**Tabela 21** – Resultado da aferição dos *dataloggers* internos no período quente e seco.

	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)		
	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx
HOBO 01	26,38	28,52	31,93	59,95	65,62	70,85
HOBO 02	26,41	28,54	31,98	59,73	65,21	70,08
HOBO 04	26,41	28,51	31,80	57,91	63,35	68,76
HOBO 06	26,48	28,60	31,90	57,90	63,61	71,32
HOBO 08	26,51	28,61	31,95	59,50	64,93	69,99
HOBO 09	26,33	28,49	31,95	59,95	65,59	70,59
HOBO 10	26,41	28,48	31,72	59,95	65,51	71,32
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,058</b>	<b>0,051</b>	<b>0,094</b>	<b>0,947</b>	<b>0,956</b>	<b>0,901</b>

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE C** – Posicionamento dos *dataloggers* internos.

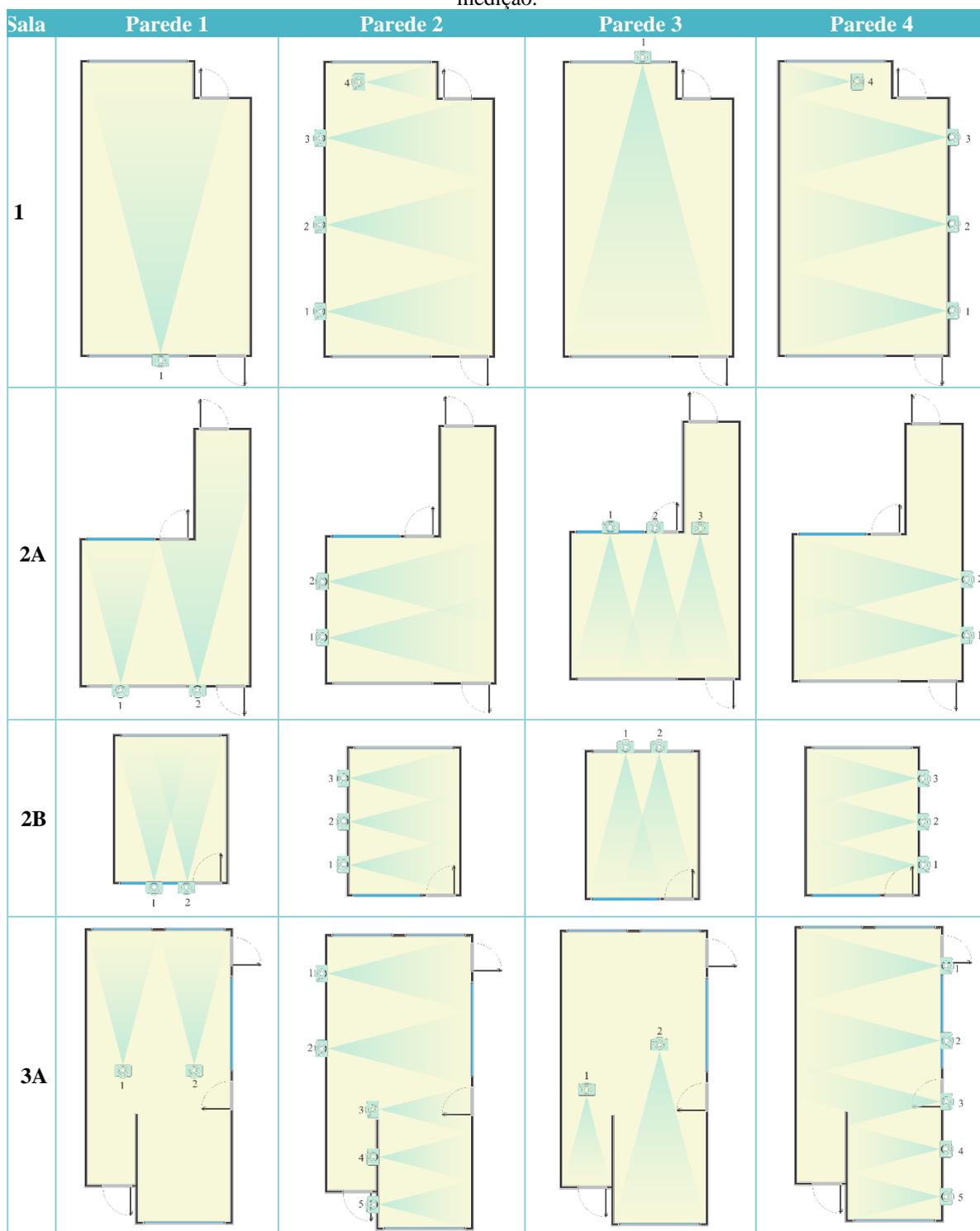
**Figura 61** – Posicionamento dos HOBOS nas salas em planta baixa.



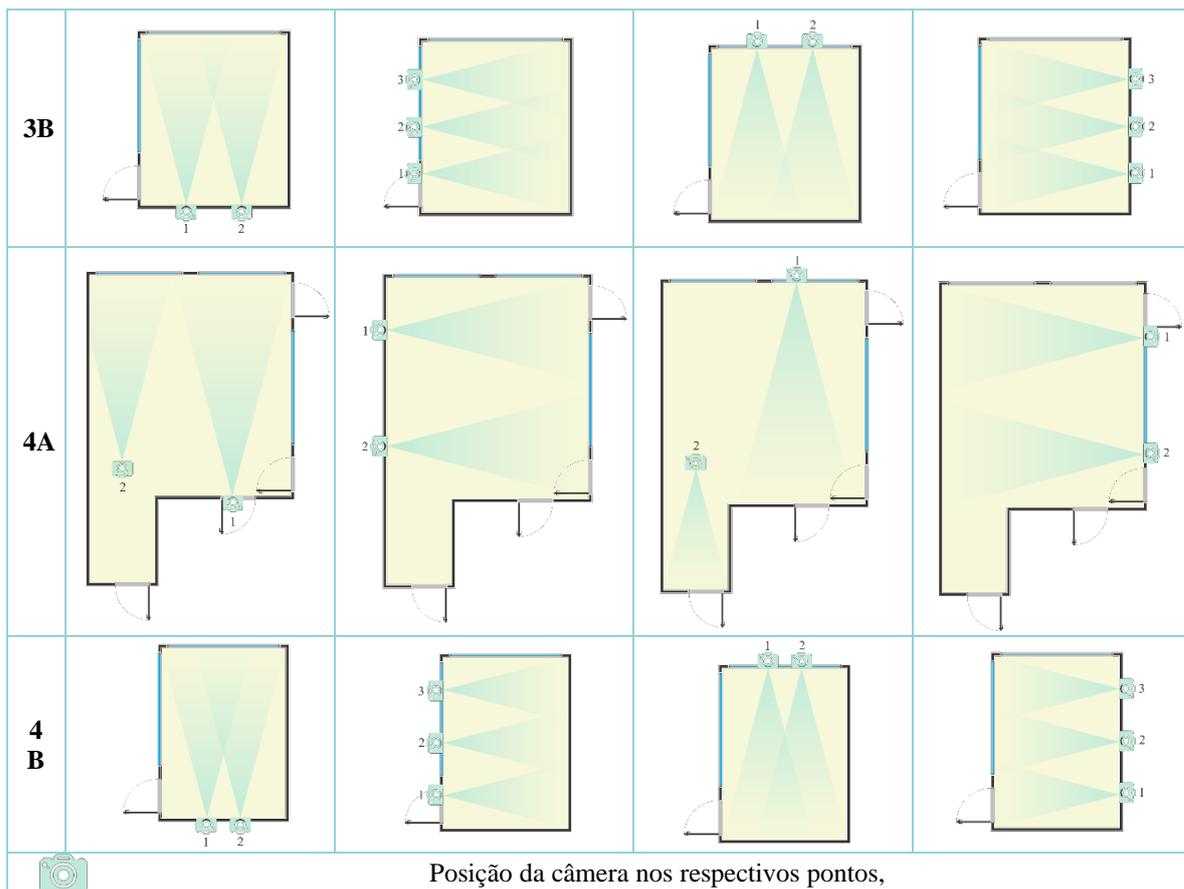
Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE D** – Posicionamentos da câmera termográfica.

**Figura 62** – Esquema dos posicionamentos da câmera termográfica modelo i7, da marca FLIR, utilizada na medição.



(continua)



Fonte: A autora, 2020.

**APÊNDICE E – Janelas das salas analisadas.**

**Quadro 38 – Janelas.**

Janela	Abertura	Sala	Orientação	Quantidade
	Basculante	1	Sul	1
		2B	Sul	1
	Basculante	4B	Sul	1
	Basculante	3B	Sul	1
	Basculante	3A	Norte	1
	Correr	4A	Sul	2
	Correr	1	Norte	1
		2A	Norte	1
	Correr	3A	Sul	2

ABERTO      FIXO

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE F** – Memórias de cálculo das propriedades térmicas dos materiais construtivos do CEI.

**Quadro 39** – Memória de cálculo das propriedades térmicas das paredes.

Resistência Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
PRFV	R <sub>1</sub>	0,00757576	R=e/λ
Gesso	R <sub>2</sub>	0,03571429	R=e/λ
EPS	R <sub>3</sub>	1,65	R=e/λ
Gesso	R <sub>4</sub>	0,03571429	R=e/λ
PRFV	R <sub>5</sub>	0,00757576	R=e/λ
Superfície interna	R <sub>si</sub>	0,13	Fixo
Superfície externa	R <sub>se</sub>	0,04	Fixo
<b>Total</b>	R <sub>t</sub>	1,90658009	R <sub>t</sub> =R <sub>1</sub> +R <sub>2</sub> +R <sub>3</sub> +R <sub>4</sub> +R <sub>5</sub> +R <sub>si</sub> +R <sub>se</sub>

Transmitância Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	U	0,52449934	U=1/RT

Capacidade Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	C <sub>T</sub>	29,478	$C_T \sum_{i=5}^n e_i, c_i, \rho_i$

Atraso Térmico			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	φ	4,93055656 <sup>102</sup>	Φ=1,382*RT*Raiz(B1+B2)
<b>B0</b>			
Geral	B0	25,098	B0=C <sub>T</sub> -C <sub>Ttext</sub>
<b>B1</b>			
Geral	B1	3,50159327	B1=0,266*(B0/RT)
<b>B2</b>			
Geral	B2	-11,334237	B2=0,205*((λ,ρ,c)/R <sub>T</sub> )*(R <sub>ext</sub> -((R <sub>T</sub> -R <sub>ext</sub> )/10))

Fator Solar			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	F <sub>so</sub>	0,62939921	F <sub>so</sub> =4*U*α <sup>103</sup>

Fonte: Autora, 2020.

<sup>102</sup> Utiliza-se 0, pois para B2 negativo, φ é considerado nulo (0)

<sup>103</sup> Considerou-se α=0,3, pois a cor utilizada nas paredes é a bege e, segundo Lamberts (2016, p. 128), para paredes deve-se “assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente à cor definidano projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor: cor clara: α= 0,3; cor média: α= 0,5; cor escura: α= 0,7”.

**Quadro 40** – Memória de cálculo das propriedades térmicas das coberturas.

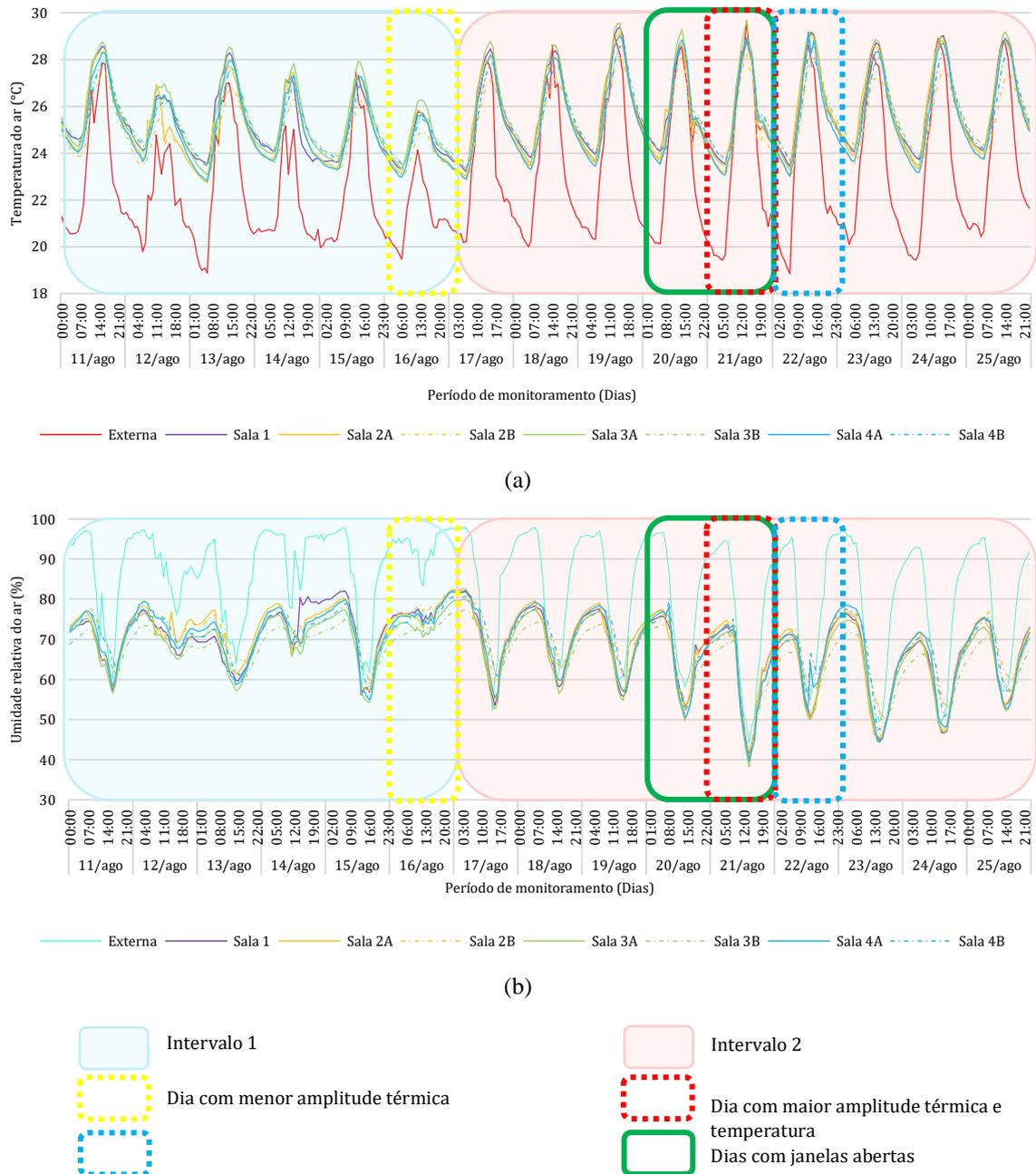
Resistência Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
<b>Telha</b>			
Fibrocimento	R <sub>1</sub>	0,006316	$R=e/\lambda$
<b>Câmara de ar</b>			
Camada de ar	R <sub>ar</sub>	0,61	Fixo
<b>Forro</b>			
PRFV	R <sub>2</sub>	0,004545	$R=e/\lambda$
EPS	R <sub>3</sub>	0,825	$R=e/\lambda$
Gesso	R <sub>4</sub>	0,035714	$R=e/\lambda$
PRFV	R <sub>5</sub>	0,004545	$R=e/\lambda$
	R <sub>si</sub>	0,1	Fixo
	R <sub>se</sub>	0,04	Fixo
<b>Total</b>	R <sub>t</sub>	1,626121	$R_t=R_1+R_{ar}+R_2+R_3+R_5+R_5+R_{si}+R_{se}$
Transmitância Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	U	0,61496	$U=1/RT$
Capacidade Térmica			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	C <sub>T</sub>	25,695	$C_T \sum_{i=7}^n e_i, c_i, \rho_i$
Atraso Térmico			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	$\phi$	4,365368	$\Phi=1,382*R_T*Raiz(B1+B2)$
<b>B0</b>			
Geral	B0	23,067	$B0=C_T-C_{Text}$
<b>B1</b>			
Geral	B1	3,773288	$B1=0,266*(B0/RT)$
<b>B2</b>			
Geral	B2	-0,05222	$B2=0,205*((\lambda,\rho,c)/R_T)*(R_{ext}-((R_T-R_{ext})/10))$
Fator Solar			
Camada	Sigla	Valor	Expressão
Geral	F <sub>so</sub>	1,475905	$F_{so}=4*U*\alpha^{104}$

Fonte: Autora, 2020.

<sup>104</sup> Considerou-se  $\alpha=0,6$ , pois, de acordo com Coelho, Gomes e Dornelles (2017), após 36 meses de envelhecimento natural a carbonatação reduz a absorvância da telha de fibrocimento, que passa a apresentar absorvância de 59,7%.

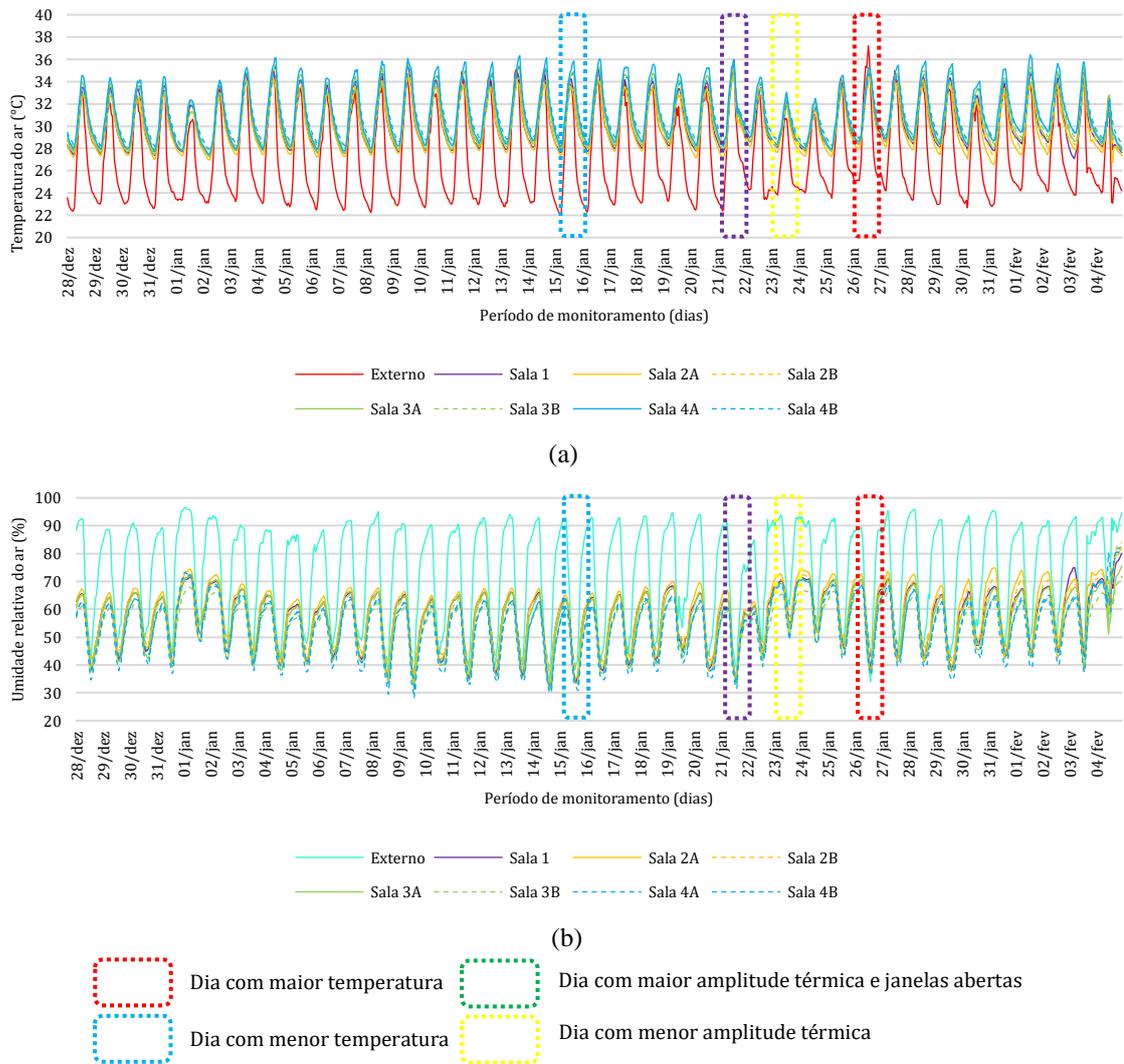
**APÊNDICE G** – Comportamento geral da temperatura e umidade relativa do ar das salas e do meio externo nos dois períodos.

**Gráfico 28** – Variação da (a) temperatura e (b) umidade relativa do ar interna em todas as salas durante todo o monitoramento do período quente e úmido.



Fonte: Autora, 2020.

**Gráfico 29** – Variação da (a) temperatura e (b) umidade relativa do ar interna em todas as salas durante todo o período de monitoramento.



Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE H** – Análise do comportamento diário das temperaturas do ar externas.

**Tabela 22** – Análise do comportamento diário das temperaturas do ar externas no período quente e úmido.

	Data	Amplitude Térmica	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
<b>Intervalo 1</b>	11/08/2019	7,29	27,85	20,55
	12/08/2019	4,98	24,77	19,79
	13/08/2019	8,12	27,01	18,89
	14/08/2019	4,89	25,16	20,27
	15/08/2019	7,54	27,50	19,96
	16/08/2019	4,69	24,15	19,46
	17/08/2019	7,72	27,90	20,17
<b>Intervalo 2</b>	18/08/2019	8,63	28,62	19,98
	19/08/2019	8,75	29,06	20,32
	20/08/2019	8,42	28,54	20,13
	21/08/2019	10,23	29,64	19,41
	22/08/2019	9,77	28,62	18,84
	23/08/2019	8,09	28,20	20,10
	24/08/2019	9,45	28,89	19,44
	25/08/2019	8,35	28,79	20,44

○ Valor máximo

○ Valor mínimo

Fonte: Autora, 2019.

**Tabela 23** – Análise do comportamento diário das temperaturas do ar externas no período quente e seco.

Data	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
28/12/2019	33,13	22,37	10,76
29/12/2019	32,23	22,99	9,24
30/12/2019	32,43	23,02	9,42
31/12/2019	33,18	22,61	10,57
01/01/2020	30,62	23,33	7,29
02/01/2020	33,34	23,09	10,25
03/01/2020	34,76	23,26	11,50
04/01/2020	35,08	23,04	12,04
05/01/2020	33,44	22,75	10,69
06/01/2020	33,52	22,47	11,06
07/01/2020	33,34	22,44	10,90
08/01/2020	34,18	22,23	11,95
09/01/2020	34,41	22,85	11,57
10/01/2020	33,44	22,66	10,79
11/01/2020	34,92	23,02	11,90
12/01/2020	34,44	22,94	11,50
13/01/2020	35,08	22,75	12,32
14/01/2020	35,08	23,09	11,99
15/01/2020	33,78	22,03	11,75
16/01/2020	34,07	22,27	11,80
17/01/2020	34,05	22,92	11,13
18/01/2020	33,55	23,09	10,46
19/01/2020	31,77	23,23	8,53
20/01/2020	33,57	22,49	11,09
21/01/2020	35,96	22,37	13,59
22/01/2020	32,79	23,42	9,37
23/01/2020	30,77	23,81	6,96
24/01/2020	31,38	24,00	7,38
25/01/2020	34,33	23,52	10,81
26/01/2020	37,21	25,04	12,17
27/01/2020	35,00	24,22	10,78
28/01/2020	34,10	23,33	10,77
29/01/2020	33,34	22,94	10,40
30/01/2020	32,02	22,66	9,36
31/01/2020	33,68	22,80	10,88
01/02/2020	33,81	24,20	9,61
02/02/2020	34,07	24,10	9,97
03/02/2020	34,81	23,81	11,00
04/02/2020	32,59	23,09	9,50



Valor máximo



Valor mínimo

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE I** – Dados horários médios dos períodos de monitoramento.

**Tabela 24** – Dados horários médios do monitoramento do período quente e úmido.

Hora	Externa	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
00:00	20,8	24,6	24,3	24,3	24,5	24,9	24,3	24,7
01:00	20,6	24,4	24,2	24,1	24,3	24,7	24,1	24,6
02:00	20,5	24,3	24,0	23,9	24,2	24,5	23,9	24,4
03:00	20,3	24,1	23,8	23,7	24,0	24,4	23,7	24,2
04:00	20,1	24,0	23,7	23,6	23,9	24,2	23,6	24,1
05:00	20,0	23,9	23,5	23,5	23,7	24,1	23,4	24,0
06:00	20,0	23,8	23,5	23,4	23,7	24,0	23,3	23,9
07:00	21,3	24,2	24,1	23,5	24,0	24,1	23,7	24,0
08:00	22,7	24,8	25,1	23,9	24,7	24,4	24,2	24,2
09:00	23,9	25,5	25,6	24,4	25,5	24,9	25,1	24,8
10:00	25,1	26,2	26,3	25,1	26,3	25,5	25,9	25,5
11:00	26,2	27,0	27,1	25,8	27,2	26,2	26,7	26,1
12:00	26,7	27,5	27,6	26,3	27,8	26,8	27,3	26,8
13:00	27,1	27,9	27,9	26,7	28,3	27,3	27,8	27,3
14:00	27,2	28,1	27,9	26,9	28,5	27,6	28,0	27,5
15:00	26,7	28,0	27,8	26,9	28,3	27,7	27,9	27,6
16:00	26,1	27,6	27,4	26,8	27,9	27,5	27,6	27,5
17:00	24,5	26,9	26,8	26,3	27,2	27,1	26,9	27,0
18:00	23,1	26,1	26,0	25,8	26,4	26,5	26,1	26,4
19:00	22,2	25,7	25,6	25,5	25,9	26,1	25,7	26,0
20:00	21,8	25,4	25,3	25,2	25,6	25,8	25,3	25,7
21:00	21,5	25,1	25,0	24,9	25,3	25,5	25,0	25,4
22:00	21,1	24,9	24,8	24,7	25,0	25,3	24,7	25,1
23:00	21,0	24,7	24,5	24,4	24,7	25,0	24,5	24,9

Fonte: Autora, 2020.

**Tabela 25** – Dados horários médios do monitoramento do período quente e seco.

Hora	Externa	Sala 1	Sala 2A	Sala 2B	Sala 3A	Sala 3B	Sala 4A	Sala 4B
00:00	24,1	28,8	28,5	29,1	29,1	29,6	29,5	29,9
01:00	23,9	28,6	28,3	28,9	28,9	29,3	29,2	29,6
02:00	23,6	28,4	28,0	28,6	28,6	29,1	28,9	29,4
03:00	23,5	28,2	27,9	28,4	28,4	28,9	28,7	29,2
04:00	23,3	28,1	27,7	28,2	28,2	28,7	28,5	29,0
05:00	23,2	27,9	27,5	28,1	28,1	28,5	28,4	28,8
06:00	23,4	27,9	27,5	28,0	28,1	28,5	28,4	28,7
07:00	24,8	28,2	27,9	28,2	28,4	28,6	28,9	28,9
08:00	26,7	28,8	28,7	28,8	29,0	29,0	29,7	29,3
09:00	28,5	29,7	29,6	29,6	30,0	29,6	30,7	29,9
10:00	30,0	30,7	30,6	30,4	31,1	30,4	31,6	30,7
11:00	31,5	31,7	31,5	31,2	32,1	31,2	32,6	31,5
12:00	32,6	32,7	32,3	32,0	33,1	32,0	33,6	32,4
13:00	33,0	33,4	32,9	32,6	33,8	32,6	34,2	33,2
14:00	33,1	33,7	33,2	32,9	34,1	33,1	34,6	33,7
15:00	32,5	33,7	33,1	33,1	34,2	33,3	34,6	34,0
16:00	31,3	33,2	32,7	32,9	33,9	33,3	34,5	33,9
17:00	29,6	32,3	32,0	32,5	33,3	32,9	34,1	33,7
18:00	27,6	31,4	31,1	31,7	32,2	32,2	32,8	32,9
19:00	26,3	30,6	30,4	31,1	31,3	31,6	31,8	32,1
20:00	25,5	30,0	29,8	30,6	30,7	31,0	31,1	31,5
21:00	25,0	29,6	29,4	30,1	30,2	30,6	30,6	31,0
22:00	24,7	29,3	29,1	29,7	29,7	30,2	30,1	30,5
23:00	24,4	29,0	28,8	29,4	29,4	29,8	29,7	30,2

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE J** – Estratégias bioclimáticas demandadas pelas salas com base nos dados de temperatura e umidade relativa do ar plotados na carta psicrométrica.

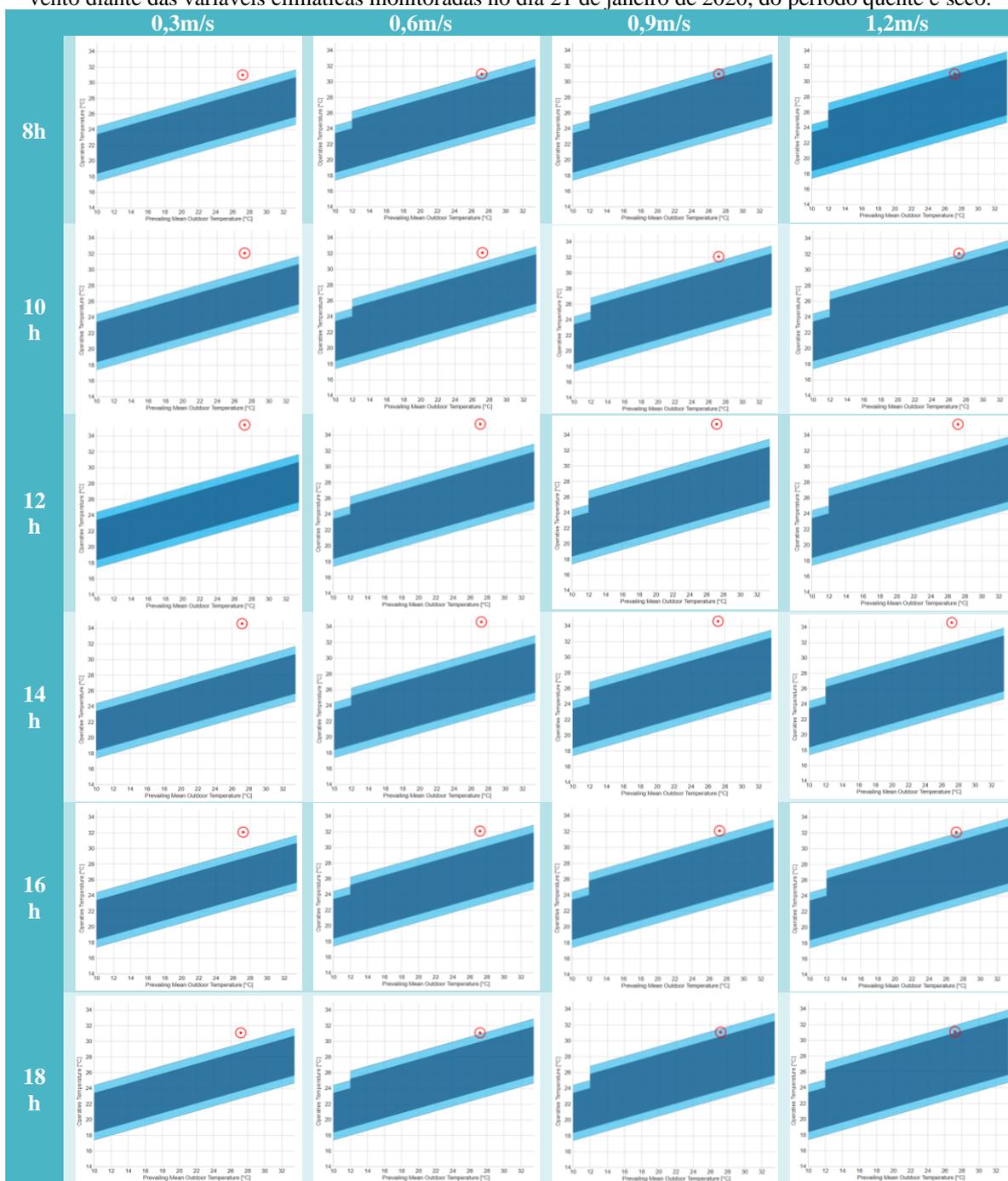
**Quadro 41** – Síntese dos relatórios gerados pelo programa *AnalysisBIO* quanto ao conforto térmico e potencial de uso das estratégias bioclimáticas indicadas (%).

Estratégia	Sala													
	1		2A		2B		3A		3B		4A		4B	
	QU	QS												
Ventilação	10.8	69.6	7.5	68.2	3.3	73.4	8.6	65.7	2.2	72.3	6.1	62.5	4.4	66.9
Alta inércia para resfriamento	5.8	81.0	4.4	76.1	0.0	84.7	8.6	78.2	2.2	94.8	3.3	77.6	2.8	79.2
Resfriamento evaporativo	5.8	77.4	4.4	71.8	0.0	76.5	8.6	78.3	2.2	87.3	3.3	79.2	2.8	73.5
Ar condicionado	0.0	1.5	0.0	0.6	0.0	1.2	0.0	2.8	0.0	1.8	0.0	3.3	0.0	4.3
Sombreamento	99.4	99.8	99.4	99.8	99.4	99.8	99.4	99.8	99.4	99.8	99.4	99.8	99.4	99.8

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE K** – Aceitabilidade da temperatura operativa no período quente e seco.

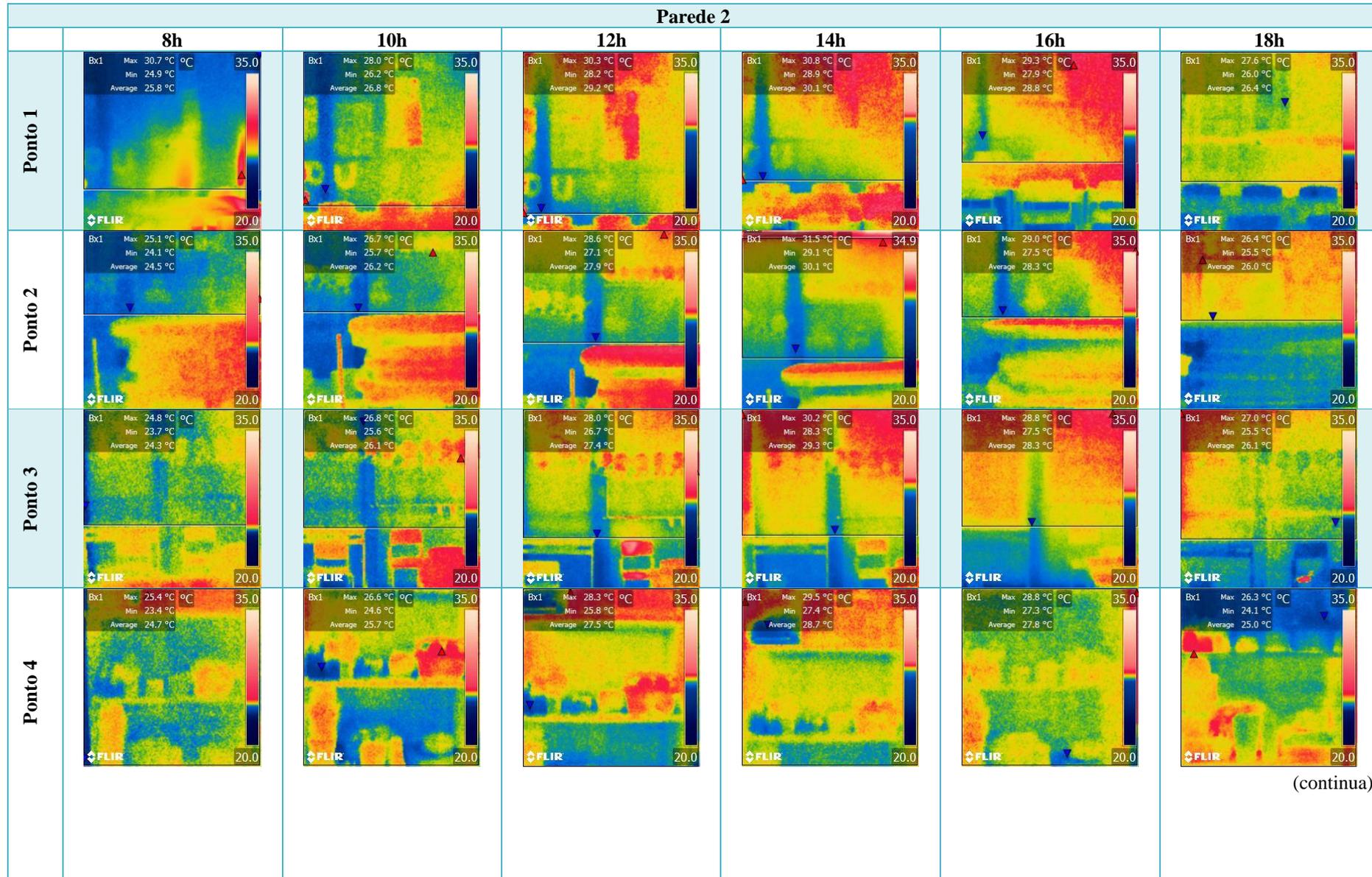
**Quadro 42** – Aceitabilidade da temperatura operativa na Sala 1 se submetida a variações de velocidade do vento diante das variáveis climáticas monitoradas no dia 21 de janeiro de 2020, do período quente e seco.



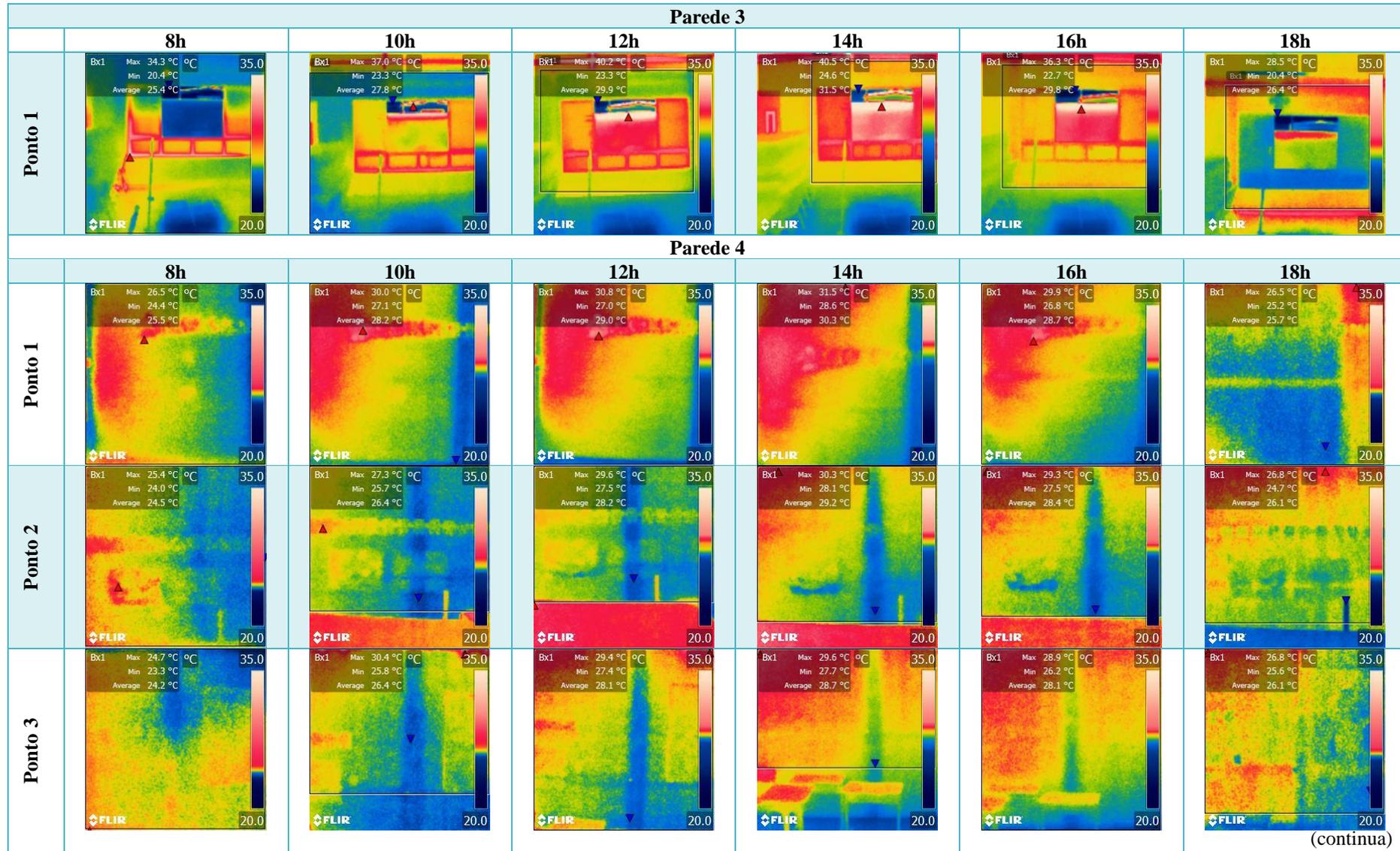
Fonte: Adaptado de Thermal Comfort Tool<sup>105</sup>, 2020.

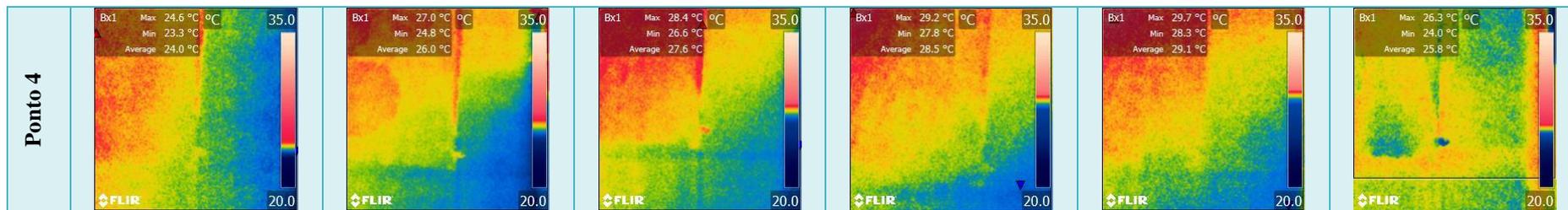
<sup>105</sup> Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 27 abr. 2020.

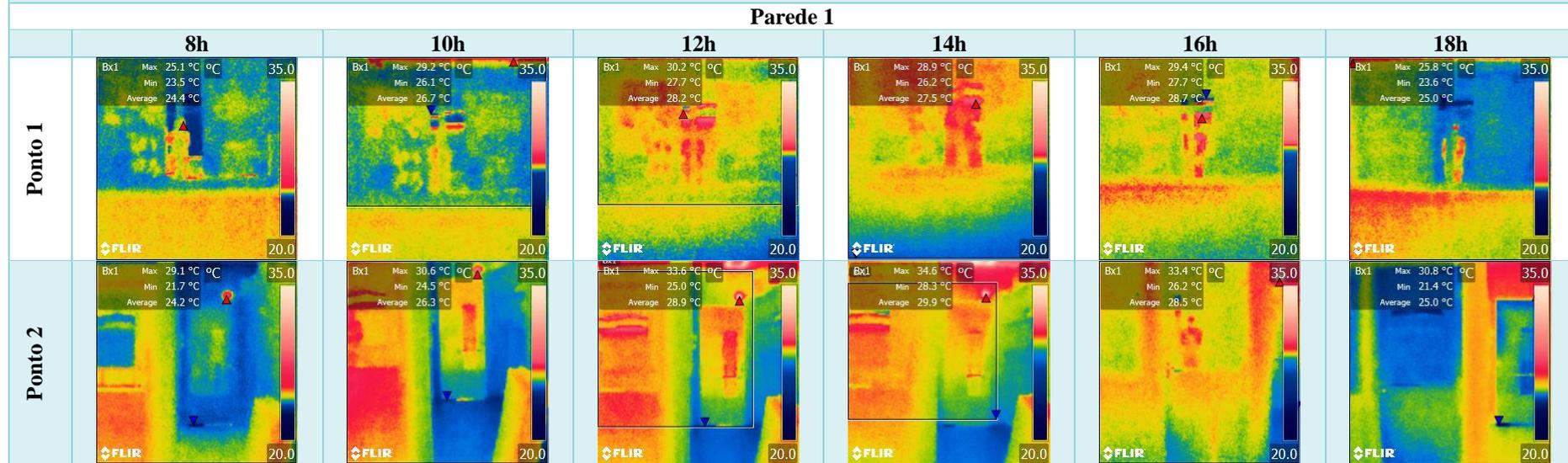
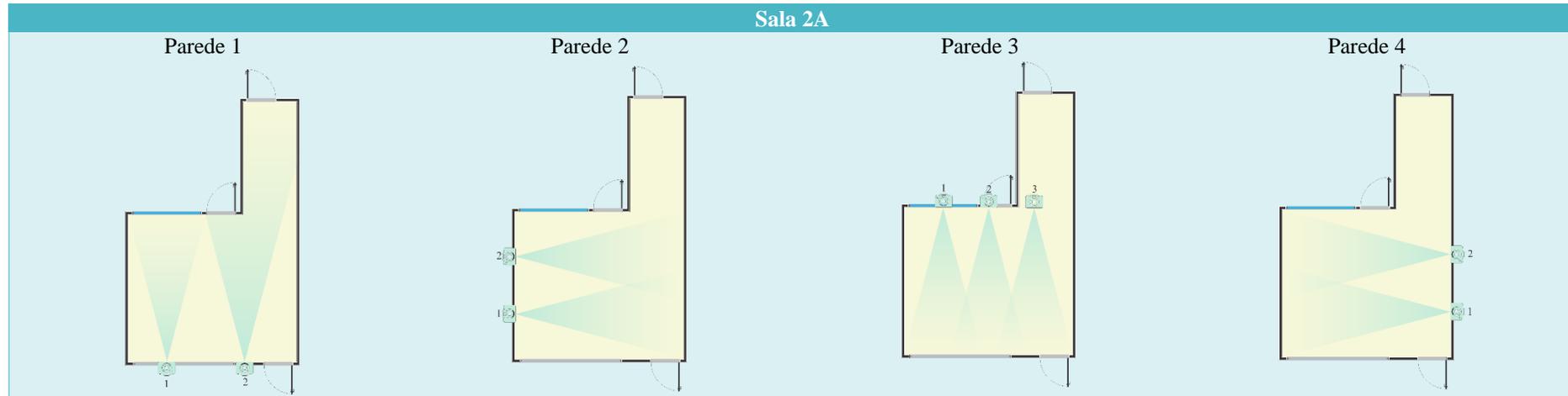




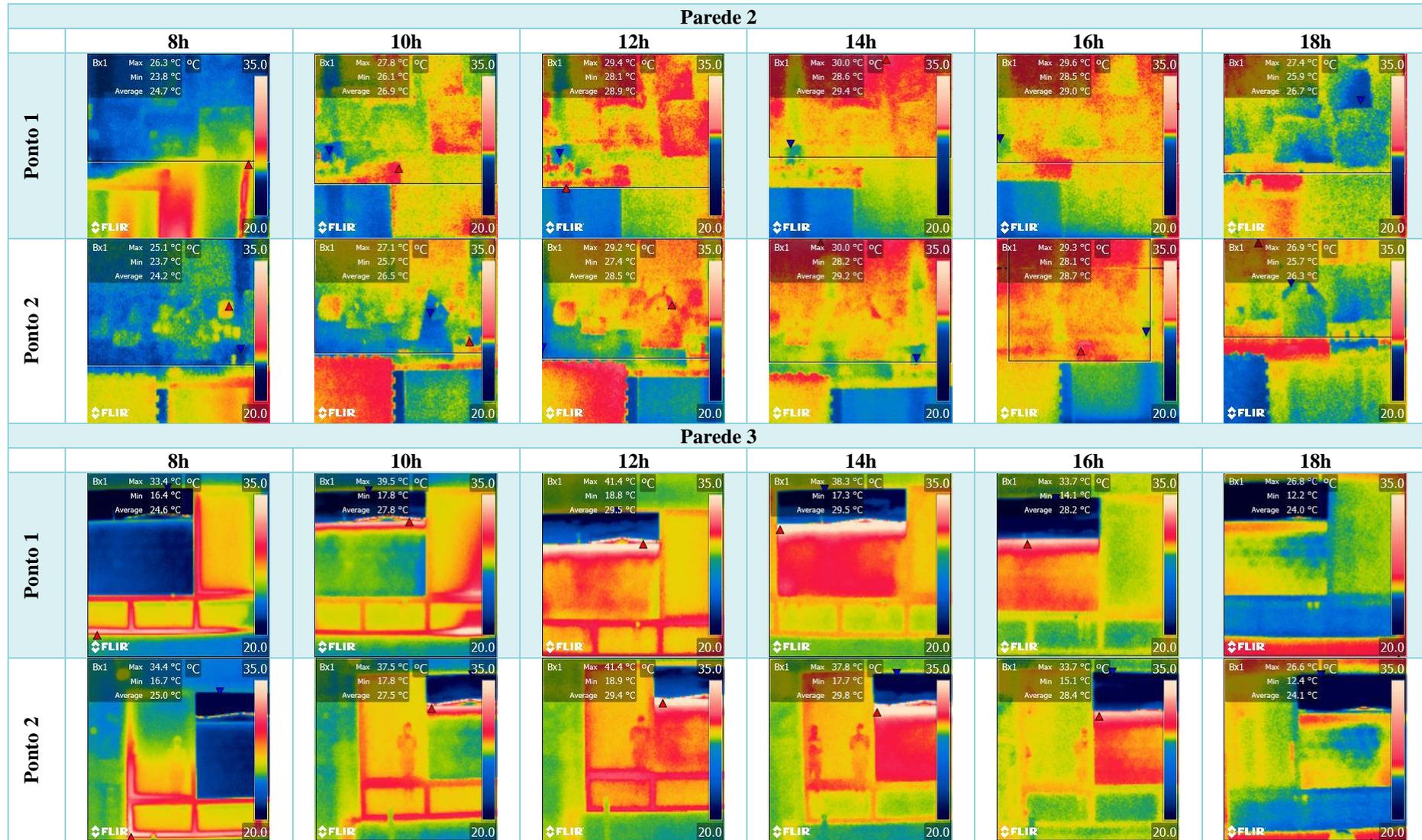
(continua)



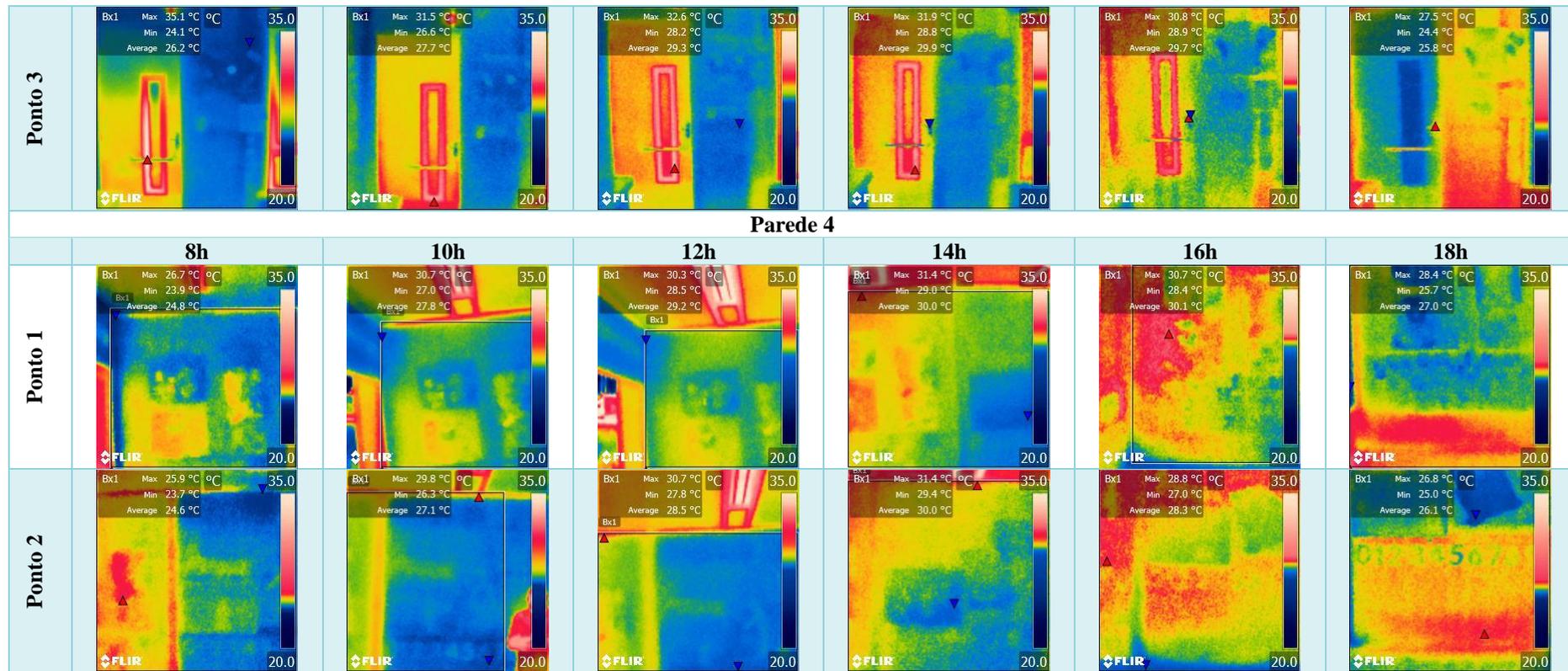


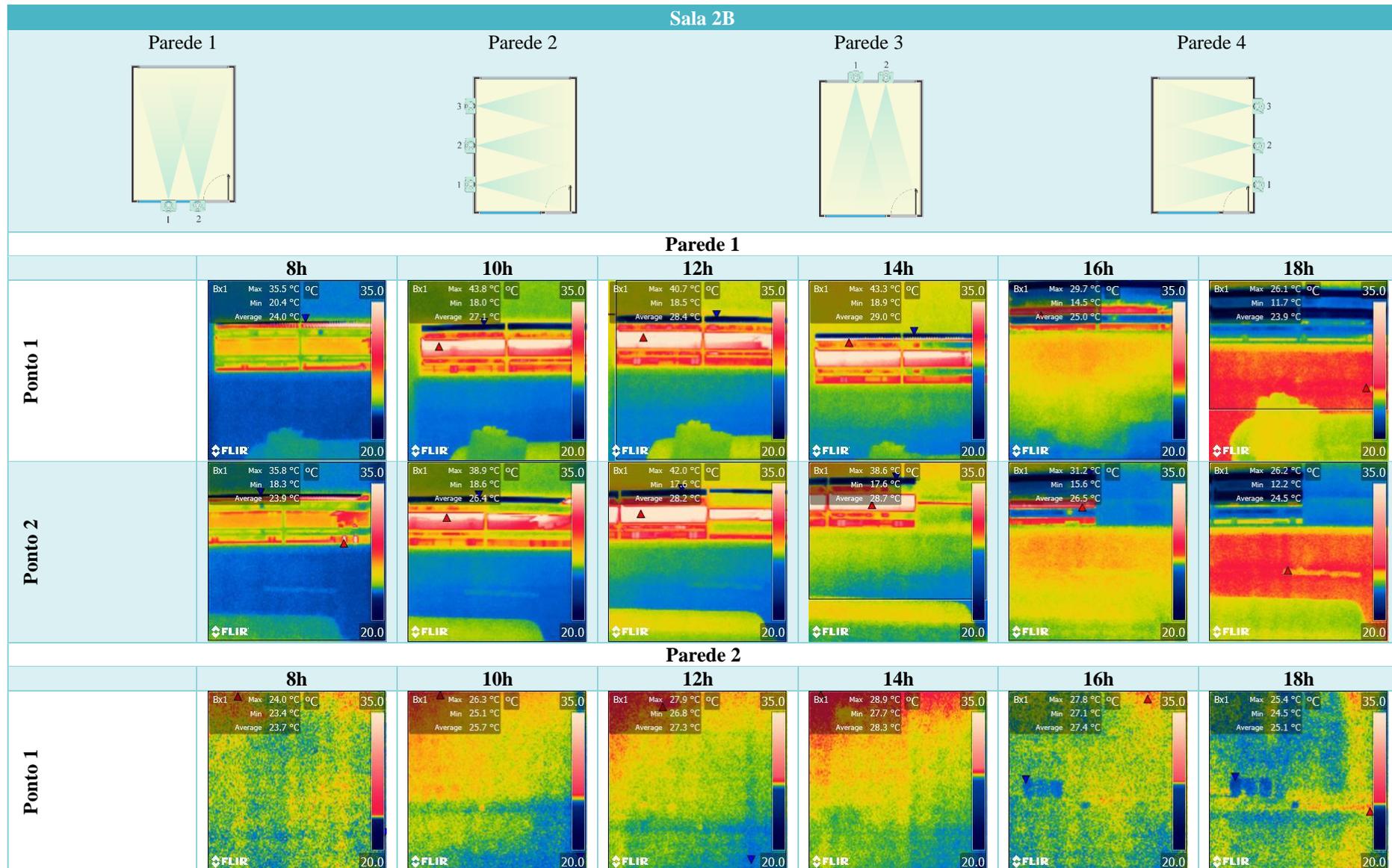


(continua)

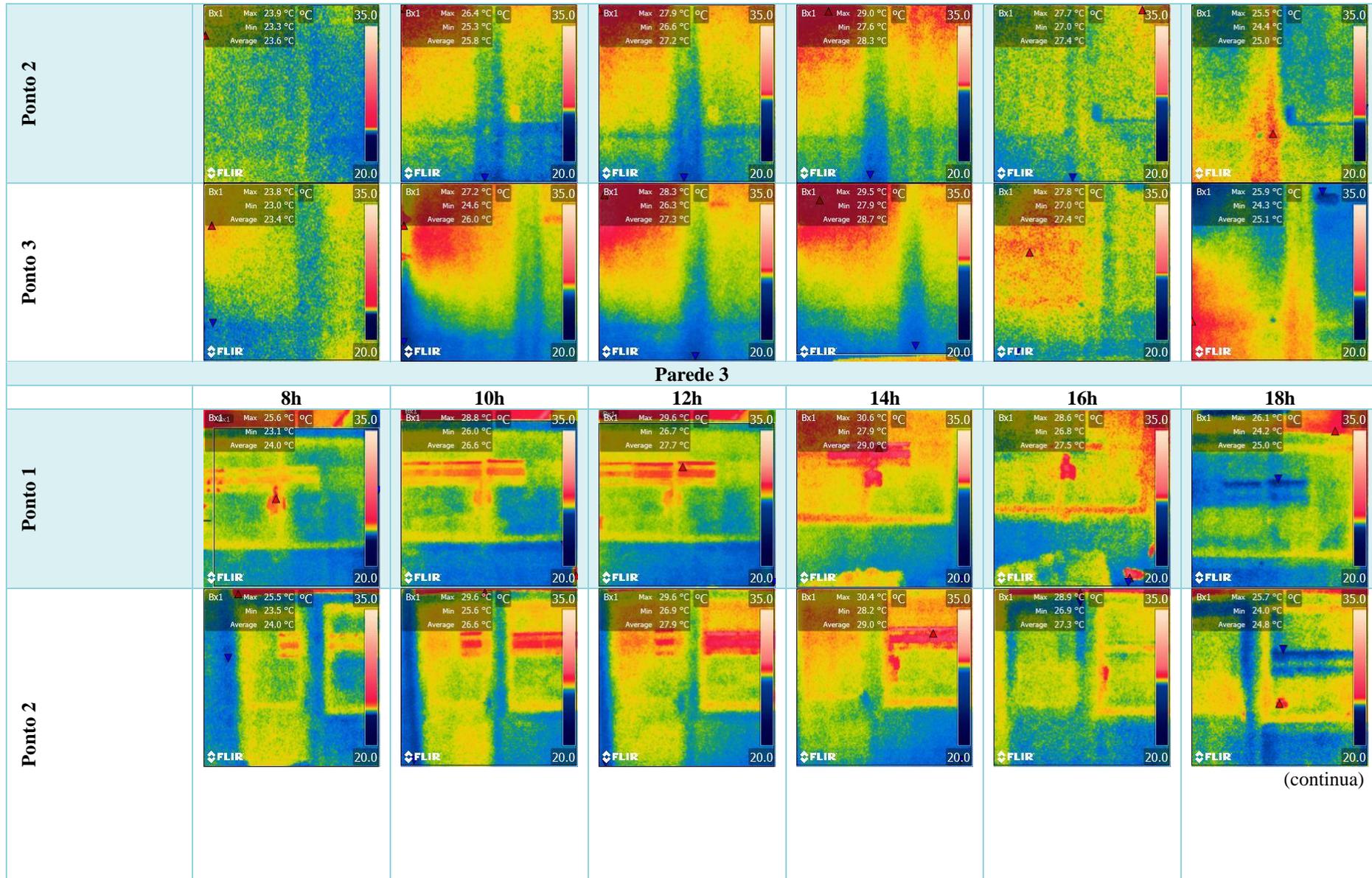


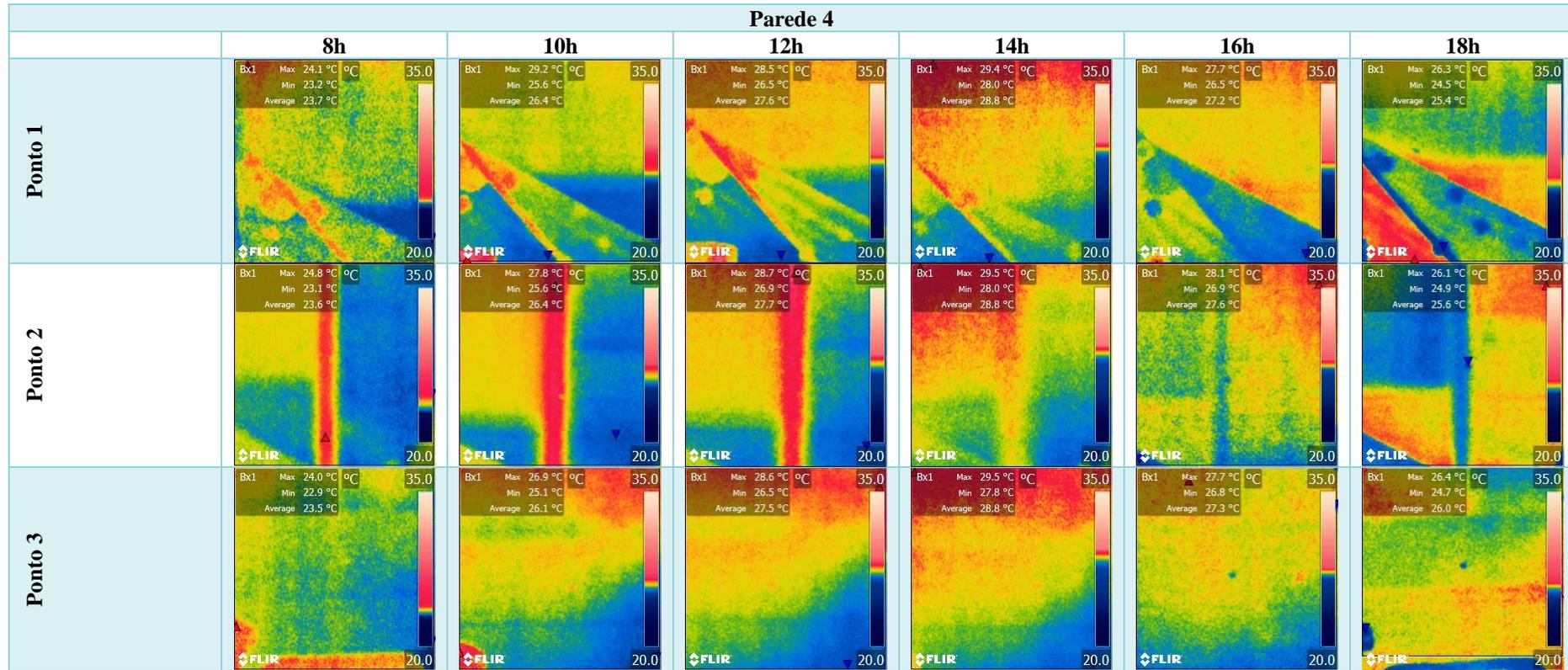
(continua)

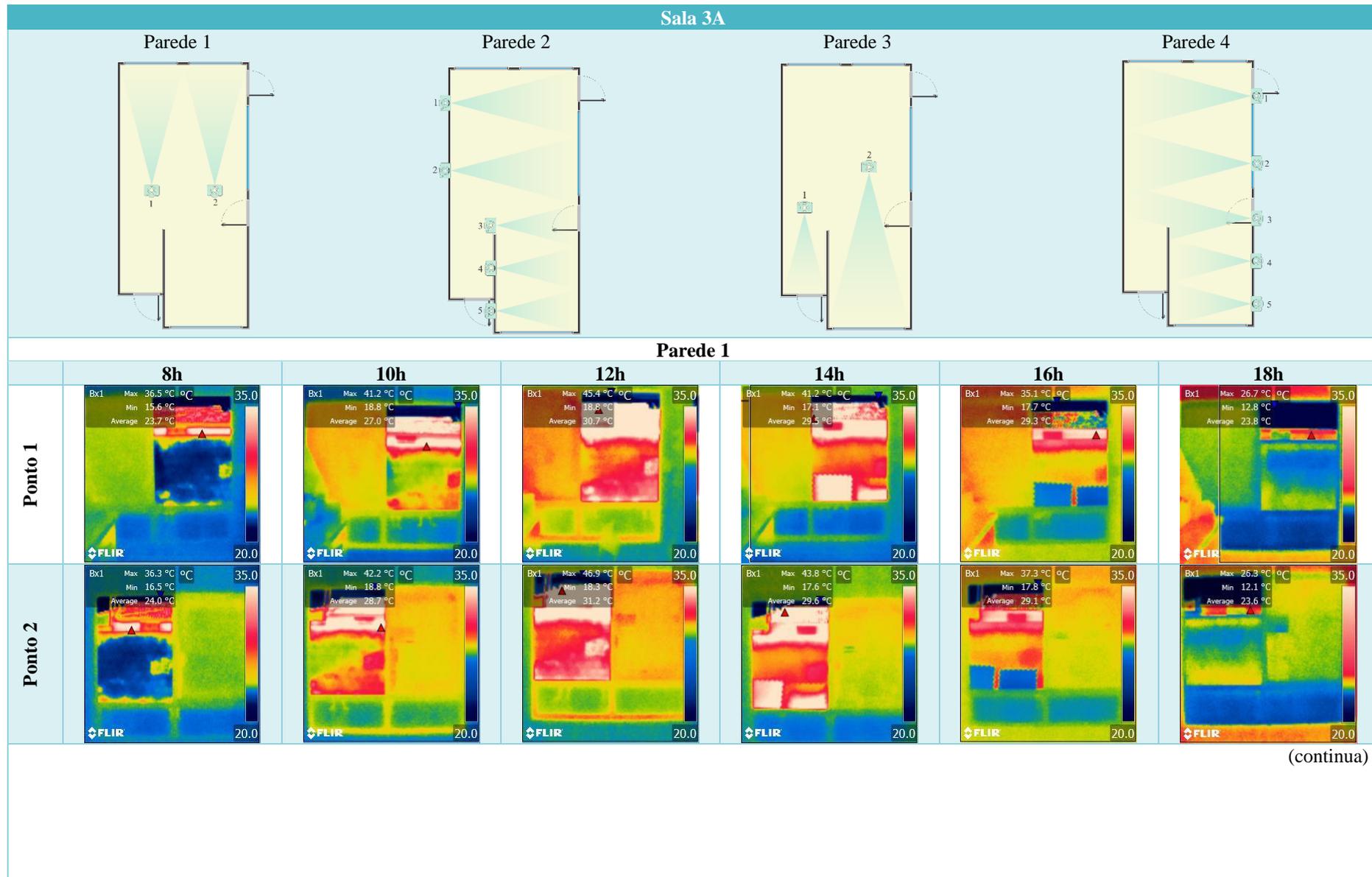


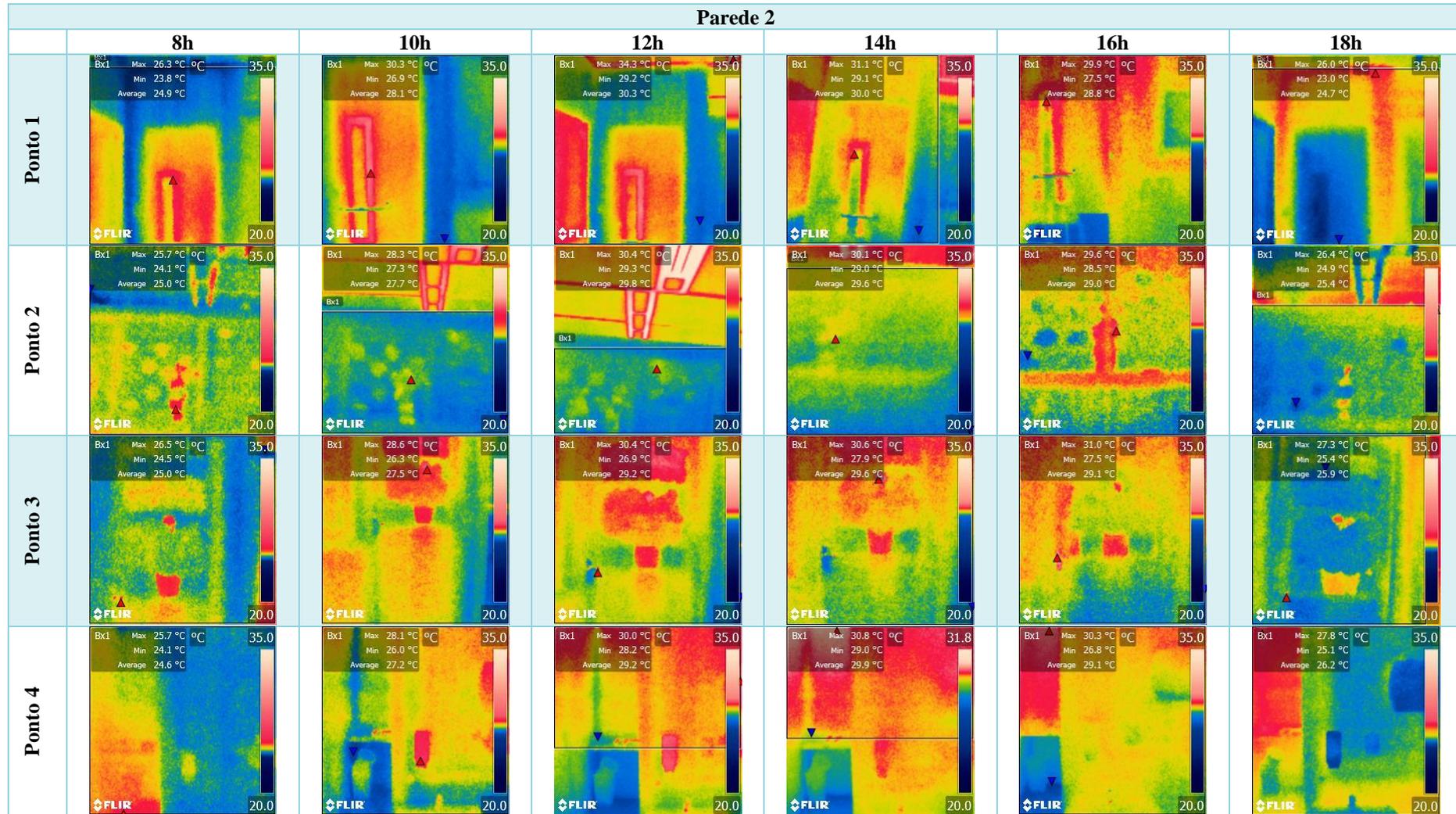


(continua)

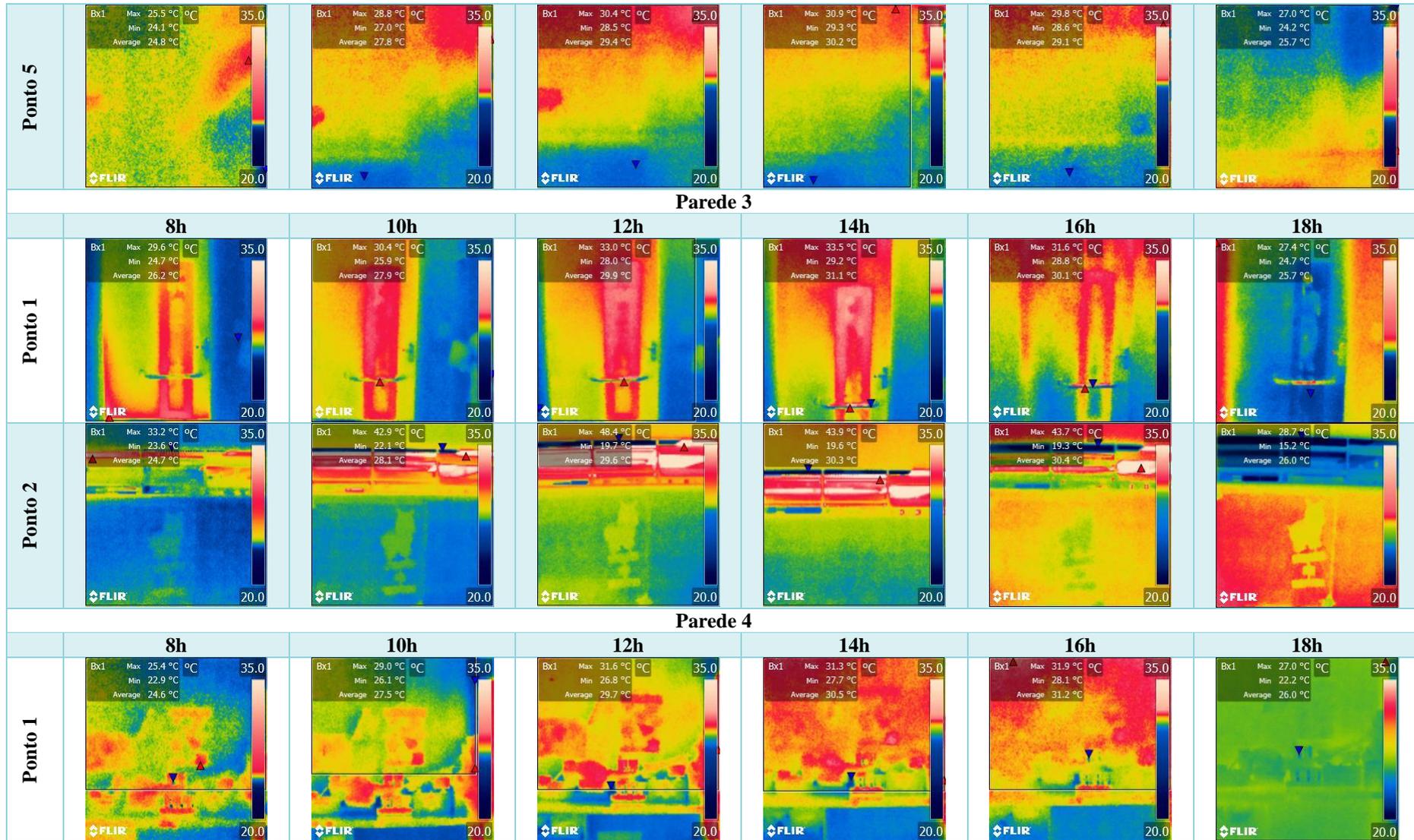




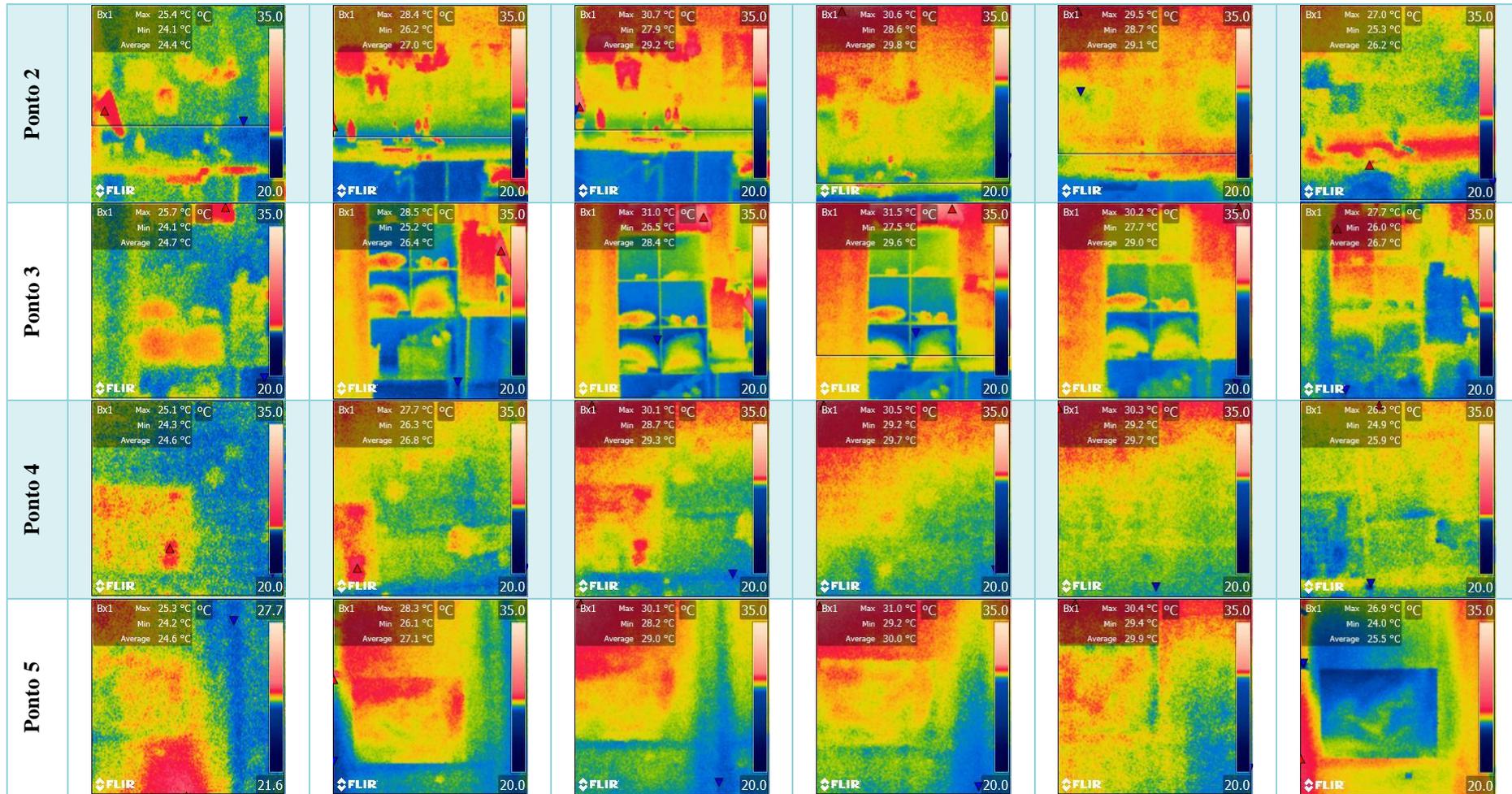


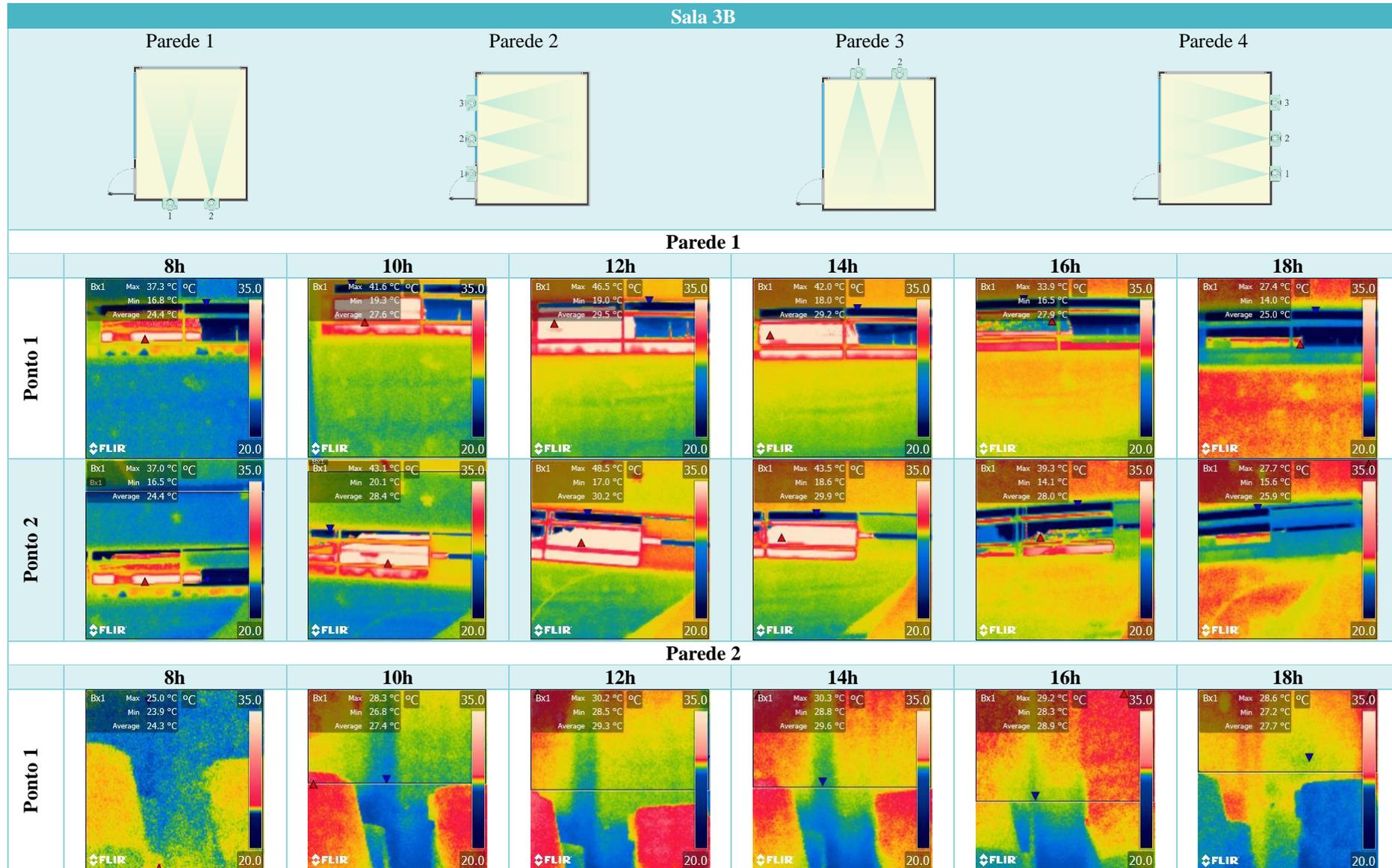


(continua)

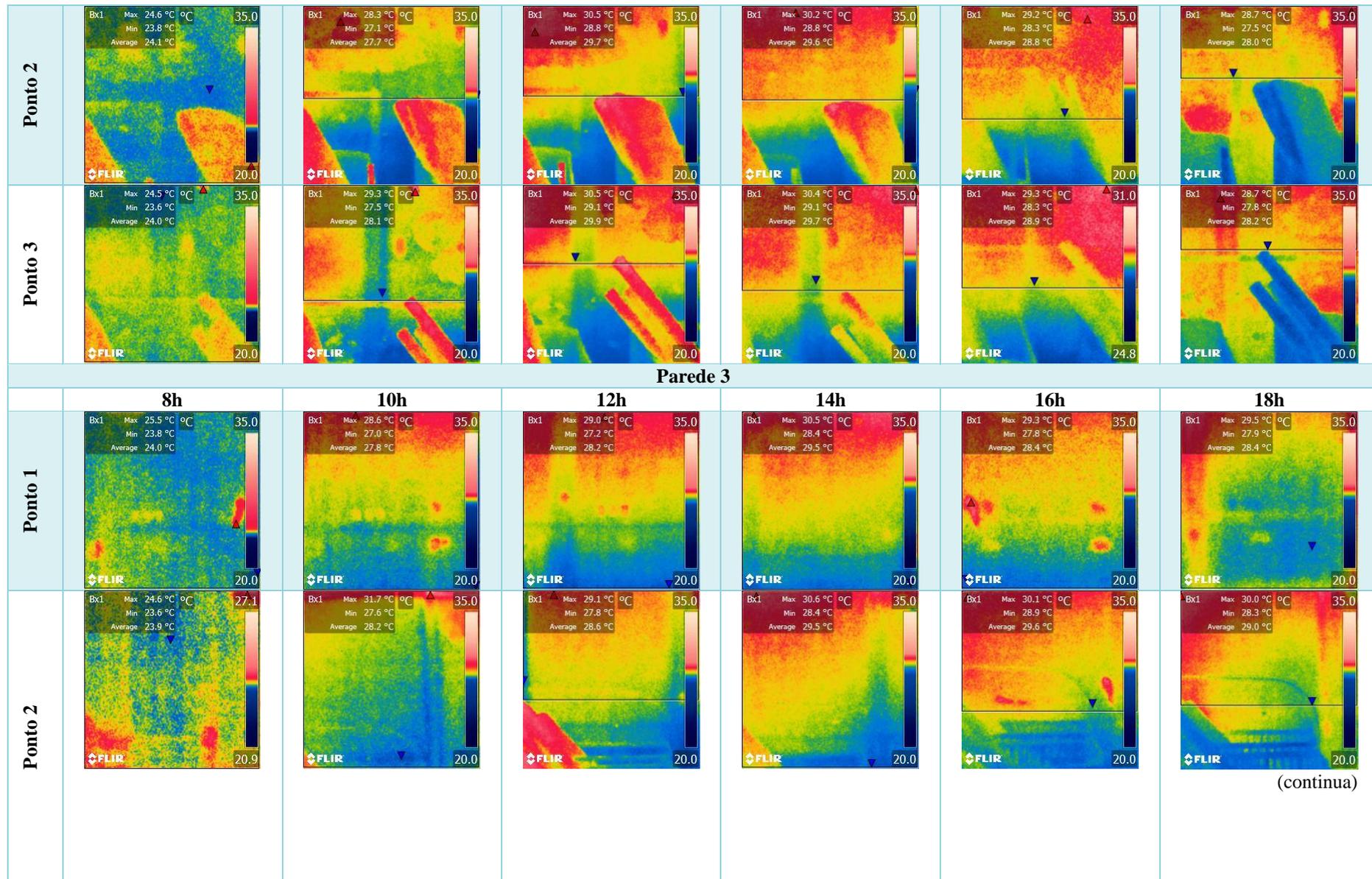


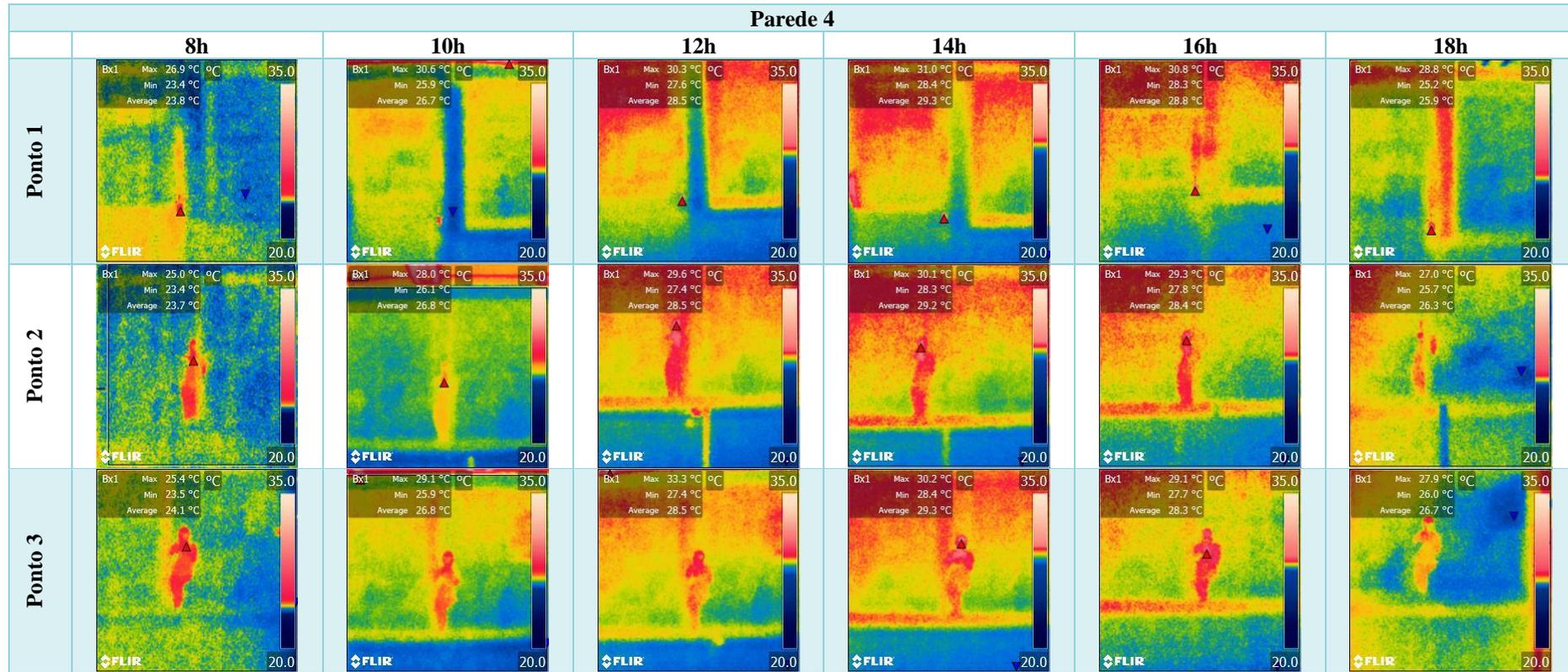
(continua)

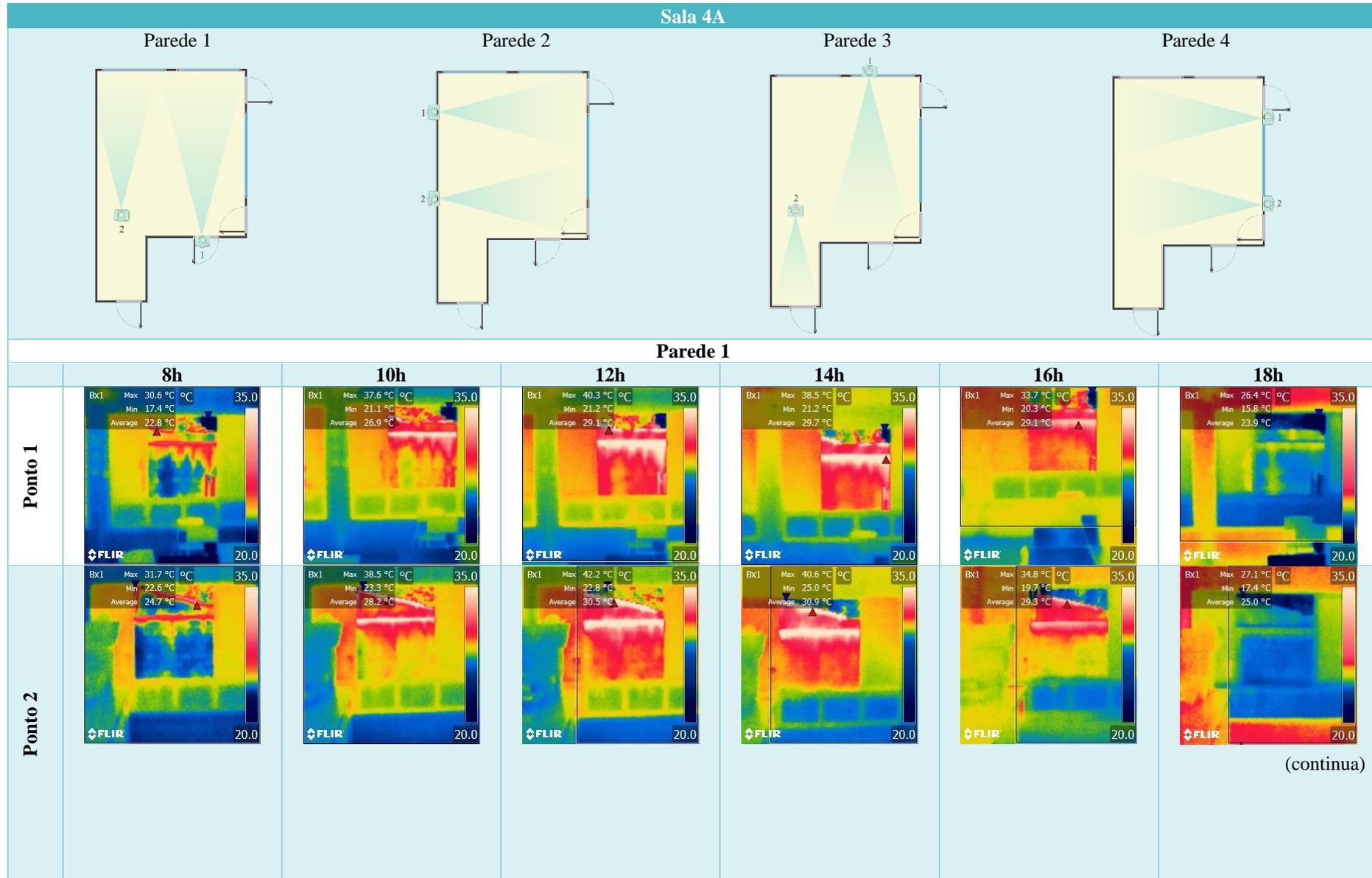


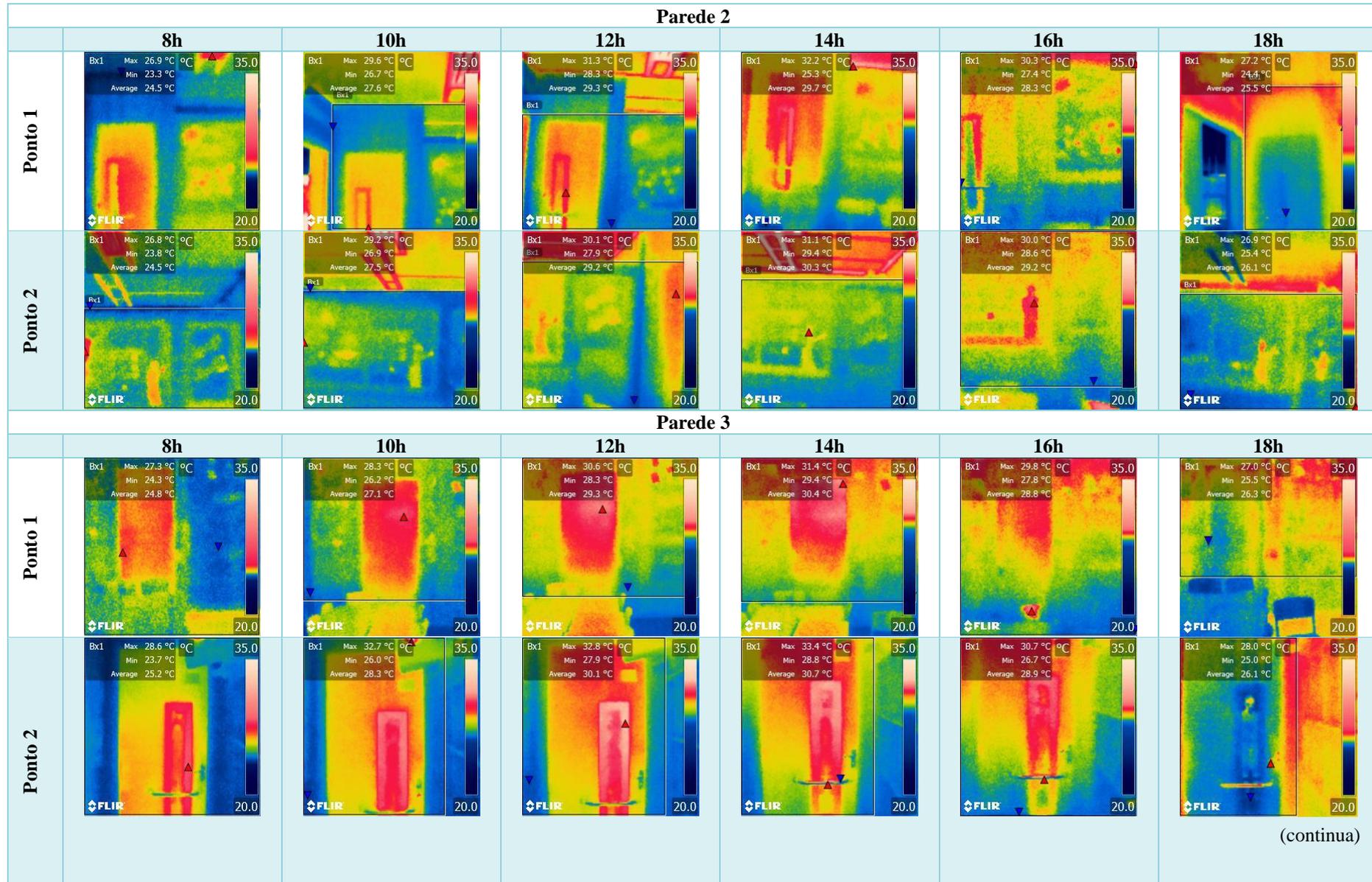


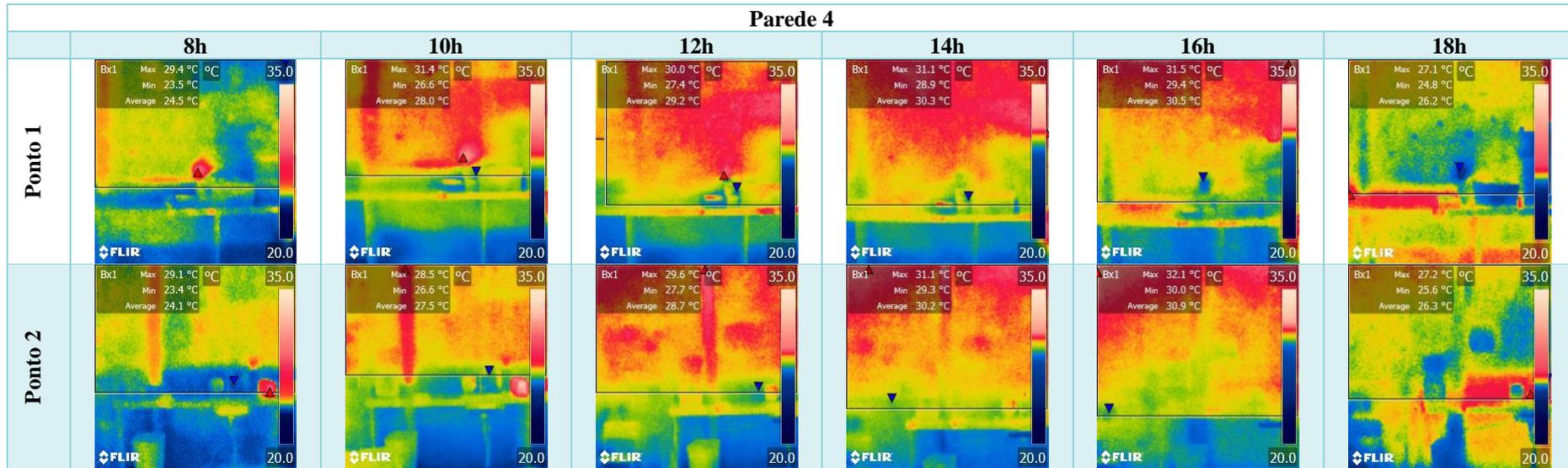
(continua)

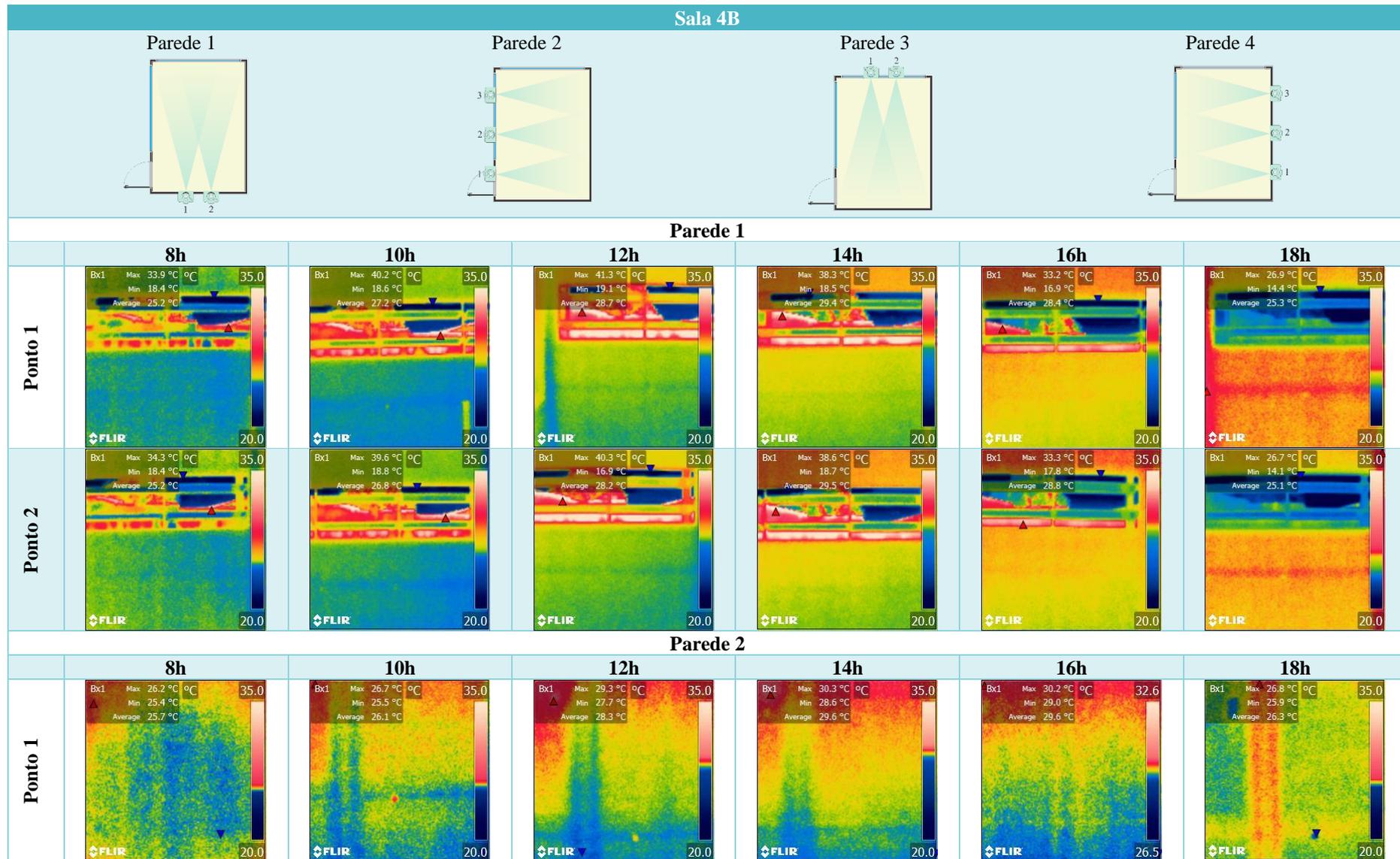




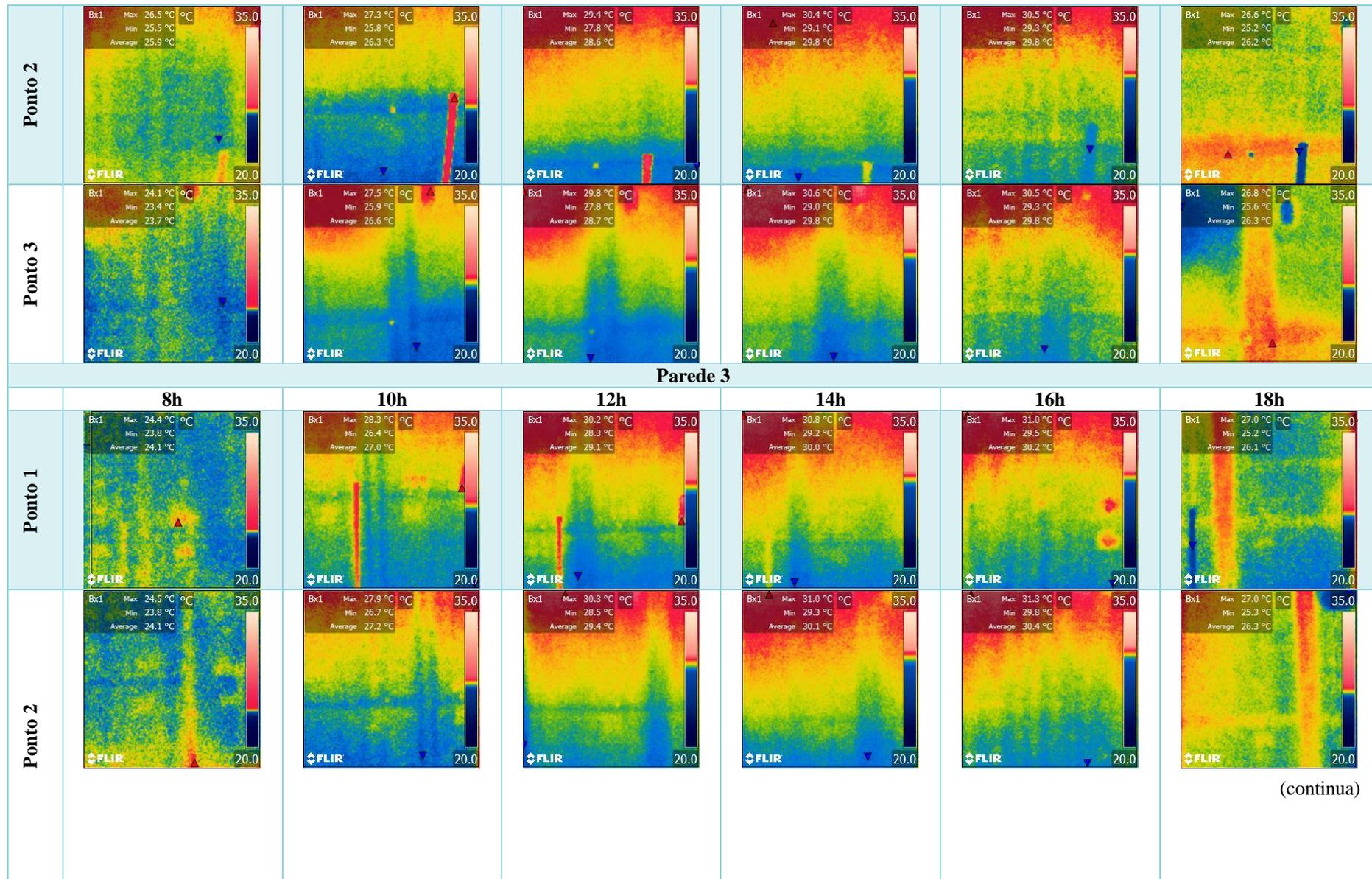


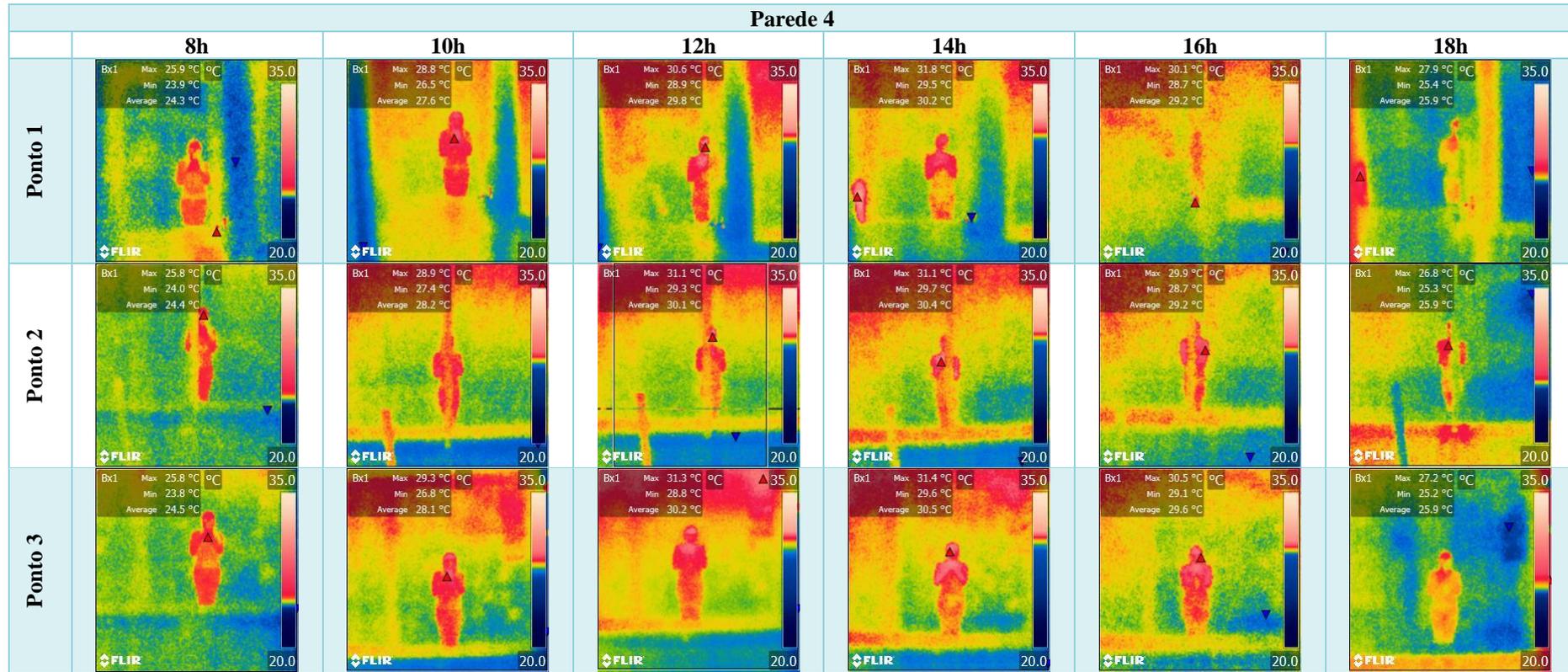






(continua)





ANEXOS



## 8. ANEXOS

### ANEXO A – Elementos construtivos do Projeto Tipo B do Proinfância.

**Quadro 43** – Descrição dos elementos do Projeto Padrão Tipo B.

Elemento	Tipo	Descrição
<b>Fundação</b>	Radier	Laje de piso dimensionada após a execução de sondagens,
<b>Sistema Estrutural</b>	Perfis pultrudados	<b>Viga:</b> 50x200mm - espessura 6mm; <b>Pilar:</b> 30x110mm - espessuras de 6mm nas abas e 4mm na alma; <b>Fixação:</b> 50x110mm - espessura de 6mm; <b>Borda dos painéis:</b> 30x110x45mm - espessuras de 6mm nas abas e 4mm na alma; <b>Cantoneira 01:</b> 51x100mm - espessura de 6mm; <b>Cantoneira 02:</b> 40x40mm - espessura de 6mm.
<b>Vedação Vertical</b>	Wall System	Painéis compostos por um núcleo de Poliestireno Expandido (EPS), placas de gesso acartonado, com 12,5mm de espessura, e, nas duas faces do painel uma lâmina de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) com 2,5 mm de espessura, totalizando 96 mm, As placas são coladas com adesivo poliuretano.
<b>Estruturas de Cobertura</b>	Treliças metálicas	<b>Terças:</b> perfil Ue 90x40x12x0,95mm, vão máximo 120cm, comprimento máximo: 150cm; <b>Tesouras:</b> perfil 90x40x12x0,80mm, vão máximo 840cm, comprimento máximo: 120cm.
<b>Cobertura</b>	Telha CRFS/ondulada	Telhas onduladas de Cimento Reforçado com Fio Sintético (CRFS), h = 51mm, espessura 6mm.
<b>Forro</b>	Wall System	Constituído de placas poliméricas laminadas e o núcleo de Poliestireno Expandido (EPS), com uma placa de gesso acartonado, com espessura final de 50 milímetros.
<b>Esquadrias</b>	Janelas de alumínio	De alumínio anodizado, Os vidros terão espessura mínima 6mm e serão temperados, nos casos dos painéis maiores,
	Portas de madeira	Compostas por madeira compensada de 35 mm, com enchimento sarrafeado, semi ôca, revestidas com compensado de 3mm em ambas as faces.
	Portas de vidro	Vidro temperado de espessura 10mm, duas folhas, 1,60 x 2,10m,
	Fechamentos de vidro do pátio <sup>106</sup>	Vidro temperado de espessura 10mm, Esquadria de alumínio para fechamento do pátio coberto e refeitório.
<b>Impermeabilização</b>	Lona plástica	Com espessura de pelo menos 200 micras na face em contato com o solo, e adesivo polimérico no encontro do perfil pultrudado com o contrapiso.
<b>Acabamentos e Revestimentos</b>	Pintura	Os painéis Wall System podem dispensar pintura quando se utiliza Gel Coat, que é o caso da parte externa desta edificação. Porém, na primeira manutenção anual os painéis deverão ser pintados na parte externa e repintados na parte interna.
<b>Paisagismo e áreas externas</b>	Forração de grama	Planta herbácea de 10-20cm de altura, Tapetes enrolados medindo 40cm de largura por 125cm de comprimento.

Fonte: Adaptado de MVC, 2015.

<sup>106</sup> Alternativa para fechamento em Regiões Frias



## ANEXO B – Propriedades térmicas dos materiais.

**Quadro 44** – Espessura, densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais que constituem as paredes do CEI.

Camada	Material	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m,K))	$c$ (kJ/(kg,K))	Fonte
1	Plástico Reforçado de Fibra de Vidro - PRFV	0,0025	1460	0,33	1,2	ESINGER <sup>107</sup>
2	Placa de gesso acartonado	0,0125	875 <sup>108</sup>	0,35	0,84	ABNT, (2005)
3	Poliestireno Expandido - EPS	0,066	25 <sup>109</sup>	0,04	1,42	ABNT, (2005)
4	Placa de gesso acartonado	0,0125	875	0,35	0,84	ABNT, (2005)
5	Plástico Reforçado de Fibra de Vidro - PRFV	0,0025	1460	0,33	1,2	ESINGER

Fonte: ABNT, (2005) e ESINGER, adaptado pela autora.

**Quadro 45** – Espessura, densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais que constituem os forros do CEI.

Camada	Material	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m,K))	$c$ (kJ/(kg,K))	Fonte
1	Fibrocimento	0,006	2000 <sup>110</sup>	0,95	0,84	ABNT, (2005)
2	Ar	Variável <sup>111</sup>				ABNT, (2005)
3	Plástico Reforçado de Fibra de Vidro - PRFV	0,0015	1460	0,33	1,2	ESINGER
4	Poliestireno Expandido EPS	0,033	25	0,04	1,42	ABNT, (2005)
5	Placa de gesso acartonado	0,0125	875	0,35	0,84	ABNT, (2005)
6	Plástico Reforçado de Fibra de Vidro - PRFV	0,0015	1460	0,33	1,2	ESINGER

Fonte: ABNT, (2005) e ESINGER, adaptado pela autora.

<sup>107</sup> Disponível em: <https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/produtos/tecadur-pbt-gf30#/product-technical-detail-collapse-item-1-lvl-1>. Acesso em: 15 jun. 2019.

<sup>108</sup> A fonte indica de 750 a 1000, adotou-se o valor médio.

<sup>109</sup> A fonte indica de 15 a 35, adotou-se o valor médio.

<sup>110</sup> A fonte indica de 1800 a 2000, adotou-se o valor médio.

<sup>111</sup> A espessura da câmara de ar varia de acordo com os blocos, porém, em todos, é superior a 5cm.