



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



WILMA FERNANDES PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS EM ESCOLAS PÚBLICAS NO
SEMIÁRIDO PARAIBANO SEGUNDO OS PRINCÍPIOS DA ARQUITETURA
BIOCLIMÁTICA**

**JOÃO PESSOA - PB
2023**

WILMA FERNANDES PINHEIRO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS EM ESCOLAS PÚBLICAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO SEGUNDO OS PRINCÍPIOS DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de doutora.

Orientador: Dr. **JOEL SILVA DOS SANTOS**

Eixo temático: **GESTÃO, MEIO AMBIENTE, INDICADORES E POLÍTICAS PÚBLICAS**

**JOÃO PESSOA - PB
2023**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P654a Pinheiro, Wilma Fernandes.

Avaliação das condições térmicas em escolas públicas no semiárido paraibano segundo os princípios da arquitetura bioclimática / Wilma Fernandes Pinheiro. - João Pessoa, 2023.

150 f.: il.

Orientação: Joel Silva dos Santos. Tese
(Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Arquitetura escolar. 2. Escola - Desconforto térmico - Cajazeiras/PB. 3. Políticas públicas. I. Santos, Joel Silva dos. II. Título.

UFPB/BC

CDU 72(043)



Ata da 64ª Sessão pública de Defesa de Tese de WILMA FERNANDES PINHEIRO do Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente em Associação a Rede Prodemá, na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente. No dia vinte e quatro de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três, às 14h00min, reuniram-se no Auditório do PRODEMA, na forma e termos do art. 82 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “stricto sensu” da UFPB, anexo à Resolução CONSEPE no 79/2013, a Banca Examinadora, composta pelos professores(as) doutores(as): JOEL SILVA DOS SANTOS, na qualidade presidente/orientador, BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA – PRODEMA/UFMS e EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA – PRODEMA/UESC, na qualidade de membros internos ao programa, LINCOLN ELOI DE ARAUJO – UFPB, e WILZA GOMES REIS LOPES – UEPB, na qualidade de membros externos, para julgamento da Tese de Doutorado do(a) aluno(a), WILMA FERNANDES PINHEIRO, intitulada “AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM ESCOLAS PÚBLICAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO SEGUNDO OS PRINCÍPIOS DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA”. A sessão pública foi aberta pelo(a) Prof(a). Dr(a). JOEL SILVA DOS SANTOS na qualidade de presidente. Após a apresentação dos integrantes da banca examinadora, o(a) candidato(a) iniciou a exposição de seu trabalho. Em seguida Prof(a). Dr(a). JOEL SILVA DOS SANTOS passou a palavra aos examinadores externos: LINCOLN ELOI DE ARAUJO e WILZA GOMES REIS LOPES. Na sequência, os(as) professores(as) Dr(a) BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA e EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA fizeram seus comentários que foram finalizados pelo(a) Prof(a). Dr(a) JOEL SILVA DOS SANTOS. O(a) presidente da banca examinadora solicitou a retirada da Assembléia para, em sessão secreta, avaliar o(a) candidato(a). Após a análise da banca examinadora foi atribuído o conceito (APROVADO), conforme o art. 83 do anexo à Resolução CONSEPE-UFPB nº 79/2013. Nada mais havendo a tratar, eu, JOEL SILVA DOS SANTOS, lavrei a presente Ata, que lida e aprovada, assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Assinatura Digital via SIPAC
Prof(a) Dr(a) JOEL SILVA DOS SANTOS
Presidente(a)/Orientadora(a)

Assinatura Digital via SIPAC

Prof(a) Dr(a) BARTOLOMEU ISRAEL DE
SOUZA
Avaliador(a) interno(a)

Assinatura Digital via SIPAC

Prof(a) Dr(a) EDUARDO RODRIGUES VIANA DE
LIMA
Avaliador(a) interno(a)

Documento assinado digitalmente
 WILZA GOMES REIS LOPES
Data: 27/02/2023 16:12:18-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Assinatura Digital via SIPAC
Prof(a) Dr(a) LINCOLN ELOI DE ARAUJO
Avaliador(a) externo(a)

Prof(a). Dr(a) WILZA GOMES REIS LOPES
Avaliador(a) externo(a)

Escrita em uma conjuntura “política” partidária descaradamente contra o investimento no ensino público e em meio a pandemia de Covid-19, situação que suspendeu atividades presenciais nas escolas o que sabotou ainda mais a educação escolar pública brasileira por causa da falta de acesso aos recursos digitais para as atividades remotas, **dedico: Aos estudantes brasileiros de escolas públicas**

AGRADECIMENTOS

A escrita desta tese foi um processo solitário, com escolhas e descobertas que aconteceram por etapas em um ritmo progressivo, mediante leituras, observações e interpretações, porém não foi um trabalho individual, sua construção contou com a contribuição de muitas pessoas. Tento aqui expressar meus agradecimentos a essas pessoas.

Início pelo orientador Joel Silva dos Santos, por sua dedicação, comprometimento, confiança e criatividade no acompanhamento e revisão do texto, por sua abertura sobre o tema proposto, pelo acompanhamento no desenvolvimento da metodologia aplicada, assim como sua disponibilidade e todo apoio prestado.

Na vivência do curso de doutorado, sou grata: aos professores componentes das bancas que se dedicaram às leituras e auxiliaram com importantes contribuições e estímulos; aos professores das disciplinas cursadas, com discussões que me sensibilizaram para a interdisciplinaridade e para a solidariedade no saber; aos secretários e coordenadores, pelo atendimento prestado e aos companheiros de turma, Thayana e Lucas, no compartilhar de informações, dúvidas, inquietações e contentamentos.

No cotidiano, a produção foi vivenciada com Rodrigo Pessoa (meu amor) que já realizou essa experiência de forma prazerosa e ouviu-me, em momentos de muitas incertezas, desde da escolha do tema, no escrever, nas melhores descobertas, nas preocupações e, sobretudo, na coleta de dados onde houve uma parceria e um empenho coletivo.

Durante a realização da coleta de dados, foram motivadores a atenção e o acolhimento dos trabalhadores presentes nas escolas e das diretoras, Lucrecia e Danusa, que também contribuíram com informações sobre o funcionamento da escola.

Através de envio de arquivos digitais, amigos gentis possibilitaram a aquisição de dados importantes - Neidinha Alves com informações sobre dados da Secretaria Municipal de Educação de Cajazeiras e George Cruz com os arquivos digitalizados do projeto arquitetônico do IFPB.

No tratamento dos dados, Rodrigo Pinheiro (primo/irmão), com sua experiência em estatística, contribuiu para a elaboração das tabelas e dos gráficos.

O incentivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e a permissão da Unidade Acadêmica de Industria Campus Cajazeiras (UNIND) ao meu afastamento das atividades docentes permitiram a dedicação exclusiva à realização desta pesquisa.

Tenho amor pelas pessoas da comunidade IFPB Cajazeiras e pelo povo do alto sertão da Paraíba, lugar de onde vim e para onde voltei.

Dentre esse povo sertanejo, destaco duas pessoas a quem atribuo o meu mais emocionado agradecimento: João Fernandes e Francisca de Assis que investiram na minha educação com muito amor, gentileza, esforço, zelo, dedicação e organização. Obrigada painho e mainha por me receberem neste mundo com afeto e pela atenção prestada ao meu desenvolvimento. Vocês não tiveram escola na cidade que nasceram, mas proporcionaram as melhores oportunidades possíveis para as suas filhas. Obrigada Painho por sua simplicidade e por tanta generosidade. Obrigada mainha porque sua história de vida me mostrou a importância dos estudos.

Gratidão também as queridas irmãs Willa e Willianne, aos sobrinhos amados (Daniel, Letícia, Samuel e Gabriel), as tias amorosas, aos cuidados de Rosi, as amigas companheiras, aos professores sábios e aos discentes que convivi, pois eles estão no foco deste trabalho. A toda essa rede de coletividade, essa família humana interconectada que estive e/ou está no meu caminho.

Sinto e reconheço Deus dentro de mim trabalhando na minha consciência, na minha espiritualidade, na compreensão das minhas emoções, sentimentos, pensamentos e comportamentos, num processo permanente e instável para evolução da minha visão de mundo e dos meus objetivos de vida, entendendo que eu e tudo o que faço é provisório, imperfeito, não completo, não acabado, não definitivo.

Ciente de que o ato de aprender nem sempre precisa ser institucionalizado, admito a importância da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) na minha vida.

Por fim, percebendo a utilidade do saber acadêmico, agradeço a todos os pesquisadores presentes nas referências bibliográficas desta tese, aceitando que, do meu pequeno alcance, trago, aqui, somente um passo diante de um trabalho de muitas gerações.



Desenho de Letícia (8 anos)

Não considerar os estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade para aprender a conhecer a beleza libertadora do intelecto para o próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual o futuro trabalho pertencer.

Albert Einstein

RESUMO

Baseado no enfoque bioclimático da arquitetura que envolve uma inter-relação entre ambiente construído, elementos climáticos e bem-estar humano, este estudo buscou analisar as condições térmicas em duas escolas públicas localizadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, especificamente na cidade de Cajazeiras/PB, e suas relações com os princípios da arquitetura bioclimática local. Para essa avaliação, utilizou-se do monitoramento e registro das variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar) em duas etapas, por meio de aparelhos termo higrômetros HOBO Data Logger U-10 instalados em duas salas de aula de cada escola, sem ocupação, com janelas abertas e portas fechadas. Na primeira etapa, foram coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar em 7 dias do período seco da região (de 15 a 22 de setembro de 2021). Na segunda etapa, os dados microclimáticos foram coletados durante 7 dias em meses do período chuvoso da região (31 de janeiro de 2022 a 07 de fevereiro de 2022) para fins de análises comparativas. A coleta com salas desocupadas permitiu um maior controle dos dados, pois não sofreu influências do calor interno produzido pela ocupação e, também, da interferência do sistema de resfriamento. Além das salas de aula, dois pontos externos, em cada uma das escolas, serviram como referência da temperatura externa. Os resultados demonstraram que os quatro pontos internos monitorados apresentaram Índice de Desconforto Térmico (IDT) oscilando entre desconfortável à parcialmente confortável. Além disso, os ambientes internos, no período noturno e nas primeiras horas do dia, apresentaram temperaturas mais elevadas que os ambientes externos. Essas constatações comprovaram que os ambientes construídos avaliados nesta pesquisa estão desconectados com os princípios bioclimáticos adequados para essa região do semiárido paraibano. A comparação dos dados climatológicos permitiu observar que a sala de aula com ventilação cruzada é favorável ao conforto térmico, nas primeiras horas do dia. As relações dos dados coletados com os materiais utilizados na cobertura, mostraram que as telhas de fibrocimento contribuíram para o aumento das temperaturas, enquanto as telhas de cerâmica e a laje inclinada absorveram menos radiação térmica para o interior do ambiente, transferindo menos calor para o interior do ambiente. A proximidade com vegetação no entorno imediato apresentou-se como um outro parâmetro diferenciador, com influência na diminuição das temperaturas e, sobretudo, no aumento da umidade relativa do ar.

Palavras-chave: arquitetura escolar; microclima; desconforto térmico.

ABSTRACT

Based on the bioclimatic approach to architecture, which involves an interrelationship between the built environment, climatic elements and human well-being, this study sought to analyze the principles of local bioclimatic architecture and its relationships with thermal comfort conditions in two public schools located in the semi-arid region of the Brazilian Northeast, specifically in the city of Cajazeiras/PB. For the bioclimatic assessment of the schools, monitoring and recording of climate variables (air temperature and relative humidity) were used in two stages, using HOBO Data Logger U-10 thermo-hygrometers installed in two classrooms of each school, unoccupied, with open windows and closed doors. In the first stage, air temperature and relative humidity data were collected in 7 days of the region's dry period (from September 15 to 22, 2021). In the second stage, microclimatic data were collected during 7 days in months of the region's rainy season (January 31, 2022 to February 7, 2022) for comparative analysis purposes. The collection with unoccupied rooms allowed greater control of the data, as it was not influenced by the internal heat produced by the occupation and also by the interference of the cooling system. In addition to the classrooms, two external points, in each of the schools, served as a reference for the external temperature. The results showed that the four monitored internal points presented Thermal Discomfort Index (TDI) ranging from uncomfortable to partially comfortable. In addition, indoor environments, at night and in the early hours of the day, had higher temperatures than outdoor environments. These findings proved that the built environments evaluated in this research are disconnected with the appropriate bioclimatic principles for this semi-arid region of Paraíba. Comparison of climatological data allowed us to observe that classrooms with cross ventilation are more favorable for thermal comfort in the early hours of the day. The relations of the data collected with the materials used in the roof, found that the fiber cement tiles contribute to the increase in temperatures and the ceramic tiles and the inclined slab absorb less thermal radiation towards the interior of the environment. Proximity to vegetation in the immediate surroundings was another differentiating parameter, influencing the decrease in temperatures and, above all, the increase in relative humidity.

Keywords: school architecture; microclimate; thermal discomfort.

RESUMEN

Basado en el enfoque bioclimático de la arquitectura, que implica una interrelación entre el ambiente construido, los elementos climáticos y el bienestar humano, este estudio buscó analizar los principios de la arquitectura bioclimática local y sus relaciones con las condiciones de confort térmico en dos escuelas públicas ubicadas en la región semiárida del Nordeste brasileño, específicamente en la ciudad de Cajazeiras/PB. Para la evaluación bioclimática de las escuelas se utilizó el monitoreo y registro de variables climáticas (temperatura del aire y humedad relativa) en dos etapas, utilizando termohigrómetros HOBO Data Logger U-10 instalados en dos salones de cada escuela, desocupados, con espacio abierto, ventanas y puertas cerradas. En la primera etapa se recolectaron datos de temperatura del aire y humedad relativa en 7 días del período seco de la región (del 15 al 22 de septiembre de 2021). En la segunda etapa, se recolectaron datos microclimáticos durante 7 días en meses de la temporada de lluvias de la región (31 de enero de 2022 al 7 de febrero de 2022) con fines de análisis comparativo. La toma con habitaciones desocupadas permitió un mayor control de los datos, ya que no fue influenciado por el calor interno producido por la ocupación y también por la interferencia del sistema de enfriamiento. Además de las aulas, dos puntos externos, en cada una de las escuelas, sirvieron como referencia para la temperatura externa. Los resultados mostraron que los cuatro puntos internos monitoreados presentaron Índice de Malestar Térmico (TDI) que van desde incómodo hasta parcialmente cómodo. Además, los ambientes interiores, por la noche y en las primeras horas del día, presentaron temperaturas más altas que los ambientes exteriores. Estos hallazgos demostraron que los ambientes construidos evaluados en esta investigación están desconectados de los principios bioclimáticos apropiados para esta región semiárida de Paraíba. La comparación de datos climatológicos permitió observar que las aulas con ventilación cruzada son más favorables para el confort térmico en las primeras horas del día. Las relaciones de los datos recolectados con los materiales utilizados en la cubierta, encontró que las tejas de fibrocemento contribuyen al aumento de las temperaturas y las tejas cerámicas y la losa inclinada absorben menos radiación térmica hacia el interior del ambiente. La proximidad a la vegetación del entorno inmediato fue otro parámetro diferenciador, incidiendo en el descenso de las temperaturas y, sobre todo, en el aumento de la humedad relativa.

Palabras llave: arquitectura escolar; microclima; incomodidad térmica.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Esquema representativo do enfoque bioclimático da arquitetura..... | 24 |
| Figura 2 | Carta Bioclimática de Olgyay..... | 28 |
| Figura 3 | Zona Bioclimática 7, à esquerda e à direita, Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas da cidade de Picos para representar as cidades desta zona..... | 46 |
| Figura 4 | Edifício sede do Ministério de Educação e Saúde – Rio de Janeiro, RJ. À esquerda, vista da fachada norte, à direita, vista da fachada sul. Projeto: Lúcio Costa e equipe, 1937..... | 63 |
| Figura 5 | Escola do conjunto habitacional do Pedregulho..... | 63 |
| Figura 6 | Mapa de localização do município de Cajazeiras/PB e das escolas investigadas..... | 71 |
| Figura 7 | Escolas selecionadas para a pesquisa (à esquerda - o IFPB e à direita - a EECIT) | 78 |
| Figura 8 | Localização das escolas selecionadas no município de Cajazeiras. | 79 |
| Figura 9 | Interior das salas de aula mostrando as miniestações instaladas. | 81 |
| Figura 10 | Pontos externos monitorados mostrando as miniestações instaladas..... | 82 |
| Figura 11 | Mapa mental da pesquisa..... | 85 |
| Figura 12 | Setorização dos blocos da EECIT..... | 86 |
| Figura 13 | Esquema representando áreas verdes, áreas construídas e áreas pavimentadas na EECIT..... | 87 |
| Figura 14 | Localização dos pontos monitorados na EECIT..... | 88 |
| Figura 15 | Circulação do bloco pedagógico mostrando o pátio interno da EECIT..... | 90 |
| Figura 16 | Bloco 03 mostrando a proteção solar utilizada nas janelas das salas de aula da EECT..... | 91 |
| Figura 17 | Localização dos pontos monitorados no IFPB..... | 93 |
| Figura 18 | Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT..... | 93 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 19 | Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nos pontos externos: P3= ponto descoberto na EECIT; P4= ponto arborizado na EECIT..... | 104 |
| Figura 20 | Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB..... | 112 |
| Figura 21 | Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nos pontos externos: P7= ponto descoberto no IFPB e P8= ponto arborizado no IFPB..... | 113 |
| Figura 22 | Exemplos de prateleiras de luz..... | 127 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Gráfico 1 | Registro de temperatura máxima (°C) na estação de São Gonçalo-PB..... | 73 |
| Gráfico 2 | Registro de temperatura mínima (°C) na estação de São Gonçalo-PB..... | 74 |
| Gráfico 3 | Registro de precipitação acumulada (mm) na estação de São Gonçalo-PB..... | 74 |
| Gráfico 4 | Registro de umidade relativa do ar (%) na estação de São Gonçalo-PB..... | 75 |
| Gráfico 5 | Registro da média de temperatura do ar horária (°C) na estação localizada em São Gonçalo-PB, nos dois períodos de medição... | 76 |
| Gráfico 6 | Registro da média de umidade relativa do ar horária (%) na estação de São Gonçalo-PB nos dois períodos de medição..... | 77 |
| Gráfico 7 | Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos P1 e P2 da EECIT..... | 96 |
| Gráfico 8 | Média horária de umidade relativa do ar (%) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT..... | 98 |
| Gráfico 9 | Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P3 e P4 da EECIT..... | 100 |
| Gráfico 10 | Média horária de umidade relativa do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P3 e P4 da EECIT..... | 101 |
| Gráfico 11 | IDT (comportamento horário) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT..... | 102 |
| Gráfico 12 | Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos P5 e P6 do IFPB..... | 106 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Gráfico 13 | Média horária de umidade relativa do ar (%) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB..... | 107 |
| Gráfico 14 | Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P7 e P8 do IFPB..... | 108 |
| Gráfico 15 | Média horária de umidade relativa do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P7 e P8 do IFPB..... | 110 |
| Gráfico 16 | IDT (comportamento horário) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB..... | 111 |
| Gráfico 17 | Comparação entre os pontos internos mostrando a média de umidade relativa do ar (%) no: P1 = sala nordeste na EECT; P2 = sala sudoeste na EECT; P5 = sala terra no IFPB e P6 = sala 2º pavimento no IFPB..... | 118 |
| Gráfico 18 | Comparação entre os pontos monitorados mostrando a média de temperatura do ar (°C) no: P1 = sala nordeste na EECT; P2 = sala sudoeste na EECT; P3 = ponto descoberto na EECT; P4 = ponto sombreado na EECT; P5 = sala terra no IFPB; P6 = sala 2º pavimento no IFPB; P7 = ponto descoberto no IFPB e P8 = ponto sombreado no IFPB..... | 119 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Quadro 1 | Variáveis que influenciam no conforto térmico..... | 27 |
| Quadro 2 | Elementos do clima a serem controlados..... | 38 |
| Quadro 3 | Recomendações do projeto arquitetônico apontadas por Roriz (1996) | 42 |
| Quadro 4 | Recomendações segundo Holanda (1976) | 43 |
| Quadro 5 | Sistematização das recomendações para clima quente e seco... | 47 |
| Quadro 6 | Síntese das recomendações para clima quente-seco e quente-úmido..... | 48 |
| Quadro 7 | Comportamento térmico dos vidros..... | 56 |
| Quadro 8 | Descrição física dos pontos monitorados na EECIT..... | 89 |
| Quadro 9 | Descrição física dos pontos monitorados no IFPB..... | 94 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANTAC | Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CDSA | Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido |
| CAIC | Centro de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente |
| CIAC | Centro Integrado de Apoio à Criança |
| CIEP | Centro Integrado de Educação Pública |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| ENCAC | Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído |
| EECT | Escola Estadual Cidadã Técnica |
| GEE | Gases do Efeito Estufa |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IFPB | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba |
| ICU | Ilha de Calor Urbana |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPCC | Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas |
| LABEEE | Laboratório de Eficiência Energética de Edificações |
| MEC | Ministério da Educação |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PBMC | Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas |
| PME | Plano Municipal de Educação |
| SEST/SE NAT | Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte |
| SUDENE | Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste |

LISTA DE SIMBOLOS

% Percentagem

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.1 | Objetivo geral..... | 22 |
| 1.2 | Objetivos específicos..... | 22 |
| 1.3 | Estrutura da pesquisa..... | 22 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 24 |
| 2.1 | Enfoque bioclimático da arquitetura: a inter-relação entre ambiente construído, clima urbano e saúde humana..... | 24 |
| 2.1.1 | Índices de conforto térmico..... | 27 |
| 2.1.2 | Pesquisas sobre arquitetura bioclimática..... | 29 |
| 2.2 | Enfoques ambientais da arquitetura pertinentes à pesquisa bioclimática..... | 33 |
| 2.2.1 | Abordagem da tradição vernácula..... | 35 |
| 2.2.2 | Enfoque da arquitetura na eficiência energética..... | 35 |
| 2.2.3 | Abordagem do clima urbano e seus efeitos na cidade..... | 36 |
| 2.2.4 | Enfoque do desenho urbano com preocupação ambiental..... | 38 |
| 2.2.5 | Abordagem da arquitetura sustentável..... | 40 |
| 2.3 | O desafio da arquitetura bioclimática..... | 41 |
| 2.3.1 | Atributos arquitetônicos que influenciam o conforto térmico..... | 48 |
| 2.3.1.1 | Implantação da edificação no terreno..... | 49 |
| 2.3.1.2 | Vegetação..... | 52 |
| 2.3.1.3 | Materiais utilizados nas edificações..... | 53 |
| 2.3.1.4 | Aberturas das edificações..... | 57 |
| 2.4 | A arquitetura das escolas brasileiras e as condições de conforto térmico..... | 59 |
| 2.4.1 | Estudos sobre conforto térmico na arquitetura escolar do século XXI. | 68 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 71 |
| 3.1 | Área de estudo..... | 71 |
| 3.1.1 | Localização e caracterização da cidade de Cajazeiras PB..... | 71 |
| 3.1.2 | Caracterização climática regional..... | 72 |
| 3.1.3 | Definição das escolas participantes..... | 77 |
| 3.2 | Procedimentos metodológicos..... | 79 |
| 3.2.1 | Reconhecimento dos pontos investigados..... | 79 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.2.2 | Monitoramento e registro das variáveis climáticas..... | 80 |
| 3.2.3 | Cálculo do Índice de Desconforto Térmico (IDT)..... | 82 |
| 3.2.4 | Análise comparativa dos dados e identificação das estratégias projetuais adequadas ao clima quente e seco..... | 83 |
| 3.3 | Incertezas experimentais..... | 83 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 86 |
| 4.1 | Descrição das escolas e dos pontos monitorados..... | 86 |
| 4.1.1 | Escola Estadual Cidadã Técnica de Cajazeiras (EECIT)..... | 86 |
| 4.1.2 | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)/Cajazeiras..... | 91 |
| 4.2 | Avaliação do comportamento horário das variáveis temperatura e umidade relativa do ar na EECIT..... | 96 |
| 4.2.1 | Salas de aula | 96 |
| 4.2.2 | Ambientes externos..... | 99 |
| 4.3 | Avaliação do comportamento horário do Índice de Conforto Térmico da EECIT..... | 102 |
| 4.3.1 | Salas de aula..... | 102 |
| 4.3.2 | Ambientes externos..... | 104 |
| 4.4 | Avaliação do comportamento horário das variáveis temperatura e umidade relativa do ar no IFPB..... | 105 |
| 4.4.1 | Salas de aula..... | 105 |
| 4.4.2 | Ambientes externos..... | 108 |
| 4.5 | Avaliação do comportamento horário do Índice de Conforto Térmico do IFPB..... | 110 |
| 4.5.1 | Salas de aula..... | 111 |
| 4.5.2 | Ambientes externos..... | 112 |
| 4.6 | Análise comparativa entre os pontos monitorados nas duas escolas..... | 113 |
| 4.6.1. | Salas de aula..... | 113 |
| 4.6.3 | Salas de aula e ambientes externos..... | 118 |
| 4.7 | Arquitetura bioclimática no semiárido: algumas recomendações | 122 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 129 |
| 6 | REFERÊNCIAS..... | 132 |

| | |
|-----------------------|------------|
| APÊNDICES..... | 148 |
|-----------------------|------------|

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho discute sobre a interação entre arquitetura e o clima local, buscando informações sobre o ambiente construído de duas escolas quanto à adequação às características microclimáticas de uma cidade do alto sertão da Paraíba, do estado do Nordeste do Brasil. Apóia-se, portanto, em pesquisas que se voltam para essa interação, porém, esses estudos, muitas vezes, deixam lacunas, pois carecem de informações sobre a adequação do ambiente construído às características microclimáticas locais.

Considera-se o foco desta pesquisa como inovador, uma vez que, segundo Roriz (2012), existe imprecisão na caracterização climática das cidades brasileiras, revelando a necessidade de análises das particularidades climáticas locais com verificações *in loco* para se obter diretrizes construtivas mais adequadas.

Além disso, nas escolas, em geral, tem sido comum a adoção de projetos-padrão, e por isso diversos autores (MUELLER, 2007; KOWALTOWSKI, 2011; CHOAS, 2016; LAMENHA, 2016) apontam a necessidade de estudos que considerem as particularidades locais no contexto bioclimatológico dos ambientes de ensino.

Entende-se que é crescente o número de pesquisas científicas brasileiras na exploração da arquitetura bioclimática, e percebe-se que esse tipo de estudo ainda é pouco realizado na região do semiárido brasileiro. Uma prova disso, é o pequeno volume de trabalhos encontrados no banco de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foram encontradas três dissertações que abordam as características arquitetônicas e o conforto térmico de usuários em escolas no clima semiárido brasileiro: o de Oliveira (2017); o de Souza (2018) e o de Medeiros (2019). O primeiro aborda de forma mais aprofundada as características arquitetônicas, relacionando-as com o consumo de energia. Os outros dois focam no conforto térmico, mas não investigam com profundidade as soluções de arquitetura adaptadas ao clima.

Kowaltowski et al. (2001), afirmam que poucos estudos avaliam o conhecimento dos usuários, no que diz respeito às soluções construtivas capazes de melhorar o conforto térmico. O desconhecimento pelos usuários sobre as questões arquitetônicas associadas às condições térmicas, diminui ainda mais a tentativa por melhorias. Diante disso, fica clara a importância da realização de mais pesquisas

sobre as características arquitetônicas locais que promovem condições térmicas favoráveis ao conforto térmico nas edificações.

As construções brasileiras, influenciadas pela arquitetura internacional, perderam a harmonização com o clima tropical, passando a depender do ar-condicionado e da iluminação artificial (CORBELLA; CONER, 2017). Contudo, o entendimento do impacto ambiental das construções no alto consumo de energia e/ou no desconforto térmico dos usuários, desperta para a necessidade de estudos que levem em consideração as condições climáticas locais nos projetos de arquitetura.

É diante desse contexto que este trabalho se insere, partindo da compreensão de que a arquitetura possui um papel imprescindível na redução dos impactos ambientais e sanitários gerados pelo ambiente construído e na necessidade de discutir a adequação da edificação escolar ao contexto bioclimático local. As lacunas nas pesquisas e a necessidade de maiores conhecimentos sobre as particularidades construtivas das edificações adaptadas ao clima quente e seco, se configuram como razões para explicar a escolha pelo tema e, diante disso, esta pesquisa parte dos seguintes questionamentos:

- Como se encontram as condições térmicas em escolas públicas localizadas em uma cidade do semiárido?
- Que aspectos projetuais provocam condições térmicas favoráveis ou desfavoráveis ao conforto térmico em clima quente e seco?

A partir da análise dessas questões, este estudo procura enriquecer o conhecimento sobre a arquitetura escolar e sobre as soluções construtivas para melhorar as condições térmicas em construções localizadas no clima quente e seco. Sendo assim, a escolha deste objeto de estudo está apoiada também em uma motivação pessoal, em estudar e readequar, segundo as premissas do enfoque bioclimático da arquitetura, o ambiente que envolve profissionalmente a pesquisadora como professora.

A hipótese principal desta pesquisa é a de que escolas construídas em área com clima semiárido do Nordeste brasileiro, apresentam condições desfavoráveis, com elevada temperatura do ar e baixa umidade relativa do ar, devido à ausência de aspectos arquitetônicos que levem em consideração esse contexto bioclimático. Admite-se, hipoteticamente, a existência, dentro do espaço da escola, de áreas mais prejudicadas que outras, em virtude das características arquitetônicas e da sua influência nas modificações microclimáticas.

Diante do exposto, os objetivos do trabalho são apresentados a seguir.

1.1 Objetivo geral:

Analisar as condições térmicas em escolas públicas localizadas no semiárido paraibano, e suas relações com os princípios da arquitetura bioclimática.

1.2 Objetivos específicos:

1. Caracterizar as condições microclimáticas dos ambientes monitorados;
2. Avaliar os atributos arquitetônicos presentes nas salas de aula monitoradas;
3. Comparar as relações entre dados microclimáticos e atributos arquitetônicos observados em salas de aula de três edificações e em áreas externas;
4. Propor diretrizes arquitetônicas para as escolas analisadas, considerando as características bioclimáticas locais.

1.3 Estrutura da pesquisa

A estrutura desta tese, compreende a introdução e três capítulos estruturados da seguinte maneira:

No primeiro capítulo, apresentam-se os pressupostos teóricos que fundamentam este estudo, tendo como pontos centrais os princípios da arquitetura bioclimática e as características da arquitetura escolar brasileira com um olhar nas condições térmicas, não se restringindo ao ambiente físico, mas abordando também aspectos da pedagogia, da história e das políticas públicas.

No segundo capítulo, inicialmente, contextualiza-se o lugar sobre o qual se realizou este estudo, a cidade de Cajazeiras/PB, apresentando a localização do município no Brasil e na Paraíba, a delimitação da área urbana no município de Cajazeiras, a caracterização climática regional e a definição das escolas participantes da investigação: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e a Escola Estadual Cidadã Técnica de Cajazeiras (EECIT). Por fim, são detalhados os procedimentos metodológicos para a análise bioclimática, explicitando os instrumentos planejados para coletar e sistematizar as informações levantadas, permitindo entender a pesquisa de campo e as falhas experimentais ocorridas.

No terceiro capítulo, são descritas as escolas selecionadas e os pontos monitorados, em seguida são apresentados os resultados das análises interpretativas das condições climáticas locais. Os dados climáticos auxiliaram a compreender o

problema desta pesquisa, com constatações decorrentes das análises, por meio do cruzamento dos dados, no entendimento de diferentes interações de elementos do clima que ocorrem nas três distintas edificações: duas delas localizadas na instituição federal e a outra na escola estadual. Nesse capítulo, também foi possível trazer algumas recomendações para o projeto de arquitetura, de forma a auxiliar arquitetos, diretores, gestores, professores e estudantes na discussão sobre o projeto da edificação em clima quente e seco.

Nas considerações finais são mostrados os aspectos mais significativos da pesquisa e as sugestões para futuros trabalhos.

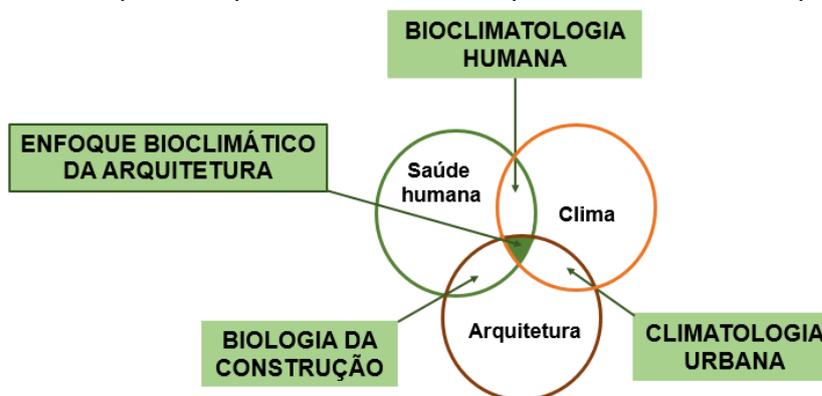
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Enfoque bioclimático da arquitetura: a inter-relação entre ambiente construído, clima urbano e saúde humana

Romero (2013), esclarece que a inter-relação entre o ambiente construído, o clima urbano e a saúde humana são abordadas pela Bioclimatologia humana¹, envolvendo um tratamento interdisciplinar de três ciências: a arquitetura, com definições das condições ambientais ideais; a climatologia, na interpretação das variáveis atmosféricas que afetam a sensação térmica, e a biologia, na compreensão da fisiologia humana. Para essa autora, essa interação trata-se de um enfoque bioclimático da arquitetura ou, como colocam Lamberts et al. (2014), trata-se da bioclimatologia humana aplicada à arquitetura.

No esquema da Figura 1 está sintetizado o enfoque bioclimático da arquitetura na confluência dessas três áreas do conhecimento. Dessa forma, verifica-se a importância da compreensão do problema por meio de um olhar holístico e interdisciplinar.

Figura 1: Esquema representativo do enfoque bioclimático da arquitetura



Fonte: Elaboração própria

Ao definir o termo arquitetura bioclimática, Barbirato et al. (2007, p.12), afirmam que “consiste na adequada e harmoniosa relação entre ambiente construído, clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo final o conforto ambiental humano”. Esses autores destacam que os elementos climáticos (temperatura do ar, umidade do ar, vento e radiação solar) são afetados por fatores locais que podem

¹ A Bioclimatologia humana é um ramo da climatologia que estuda a relação dos fenômenos climáticos e biológicos (VIANA, 2013)

gerar um microclima, ou seja, um clima característico daquele lugar (BARBIRATO, et al, 2007).

De acordo com Lamberts et al. (2014), o clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em levantamentos, realizados durante aproximadamente trinta anos, sobre as características dos elementos climatológicos e os fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, maritimidade).

Contudo, observando o crescimento das cidades e as consequências sobre a qualidade do ar, pesquisas que tratam de clima urbano constataam alterações nos elementos atmosféricos locais, provocadas pelas construções, com alterações no campo térmico. Dessa forma, o clima urbano precisa ser compreendido também pela relação com os fatores locais (ação humana, edificações, topografia, vegetação), que influenciam na geração de microclimas. Esse entendimento sobre microclima é igualmente descrito em diversos trabalhos sobre clima urbano, como destacam Oke (1978), Monteiro (1976) e Mascaró (1996).

Estudos sobre clima urbano (LOMBARDO, 1985; COSTA, 2003; GARTLAND, 2010; SANTOS, 2011 e ROMERO et al., 2019), revelam que o aumento da temperatura tem sido a maior evidência das alterações climáticas nas cidades, provocando desconforto térmico e estimulando o uso de refrigeradores de ar, e com isso, aumentando o consumo de energia.

A urbanização e as novas tecnologias construtivas, têm conduzido o homem para a construção de edificações, de maneira a substituir a vegetação nativa por pavimentação de grandes áreas, causando efeitos negativos ao clima local (COSTA, 2003). As construções nas cidades, ao retirarem a vegetação, modificam o relevo, impermeabilizam solos, alteram a paisagem natural e provocam modificações no microclima local, através da diminuição da umidade, do aumento da temperatura, da alteração na velocidade dos ventos e no regime de chuvas (BARBIRATO, et al, 2007).

Se por um lado as construções modificam o clima local, por outro, o ambiente interno das edificações também é afetado pelas condições climáticas do seu entorno. Diante dessa alteração das condições climáticas no interior das edificações, há uma tendência de utilização de tecnologias de climatização artificial² através de

² Uma pesquisa brasileira, realizada nos anos de 2004 e 2006, denominada Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos indicou que o uso de ar condicionado representa 20% do total de energia consumida. Em sua primeira versão, no ano de 1998, esta porcentagem era de apenas 8% (LAMBERTS et al, 2007).

refrigeradores de ar, que retiram o calor do interior e ao mesmo tempo liberam calor residual no ambiente externo, o que é preocupante, pois aumenta o consumo de energia e torna ainda mais intensa a temperatura do ar externo.

Munck et al. (2013), verificaram que o uso de ar condicionado pode aumentar a temperatura do ar externo. Os autores constataram que os sistemas de resfriamento utilizados em ambientes internos geram um aumento sistemático da temperatura do ar de 0,5°C até 2°C nas ruas de Paris. Essa investigação revela um círculo vicioso, pois o aumento da temperatura também aumenta o uso de ar condicionado, ou seja, é um processo de retroalimentação que potencializa o desconforto térmico.

Nesse sentido, é importante compreender o desconforto térmico que, em regiões quentes, ocorre quando a temperatura do ar está muito elevada ou o nível de atividade física aumenta, fazendo com que o corpo humano acione os mecanismos de termorregulação, através da pele, na busca de manter o equilíbrio, e conseqüentemente começa a suar. Isso pode influenciar negativamente no desempenho das atividades laborais, causando estresse térmico, desconcentração, cansaço físico, irritabilidade, desidratação, entre outros problemas físicos ou emocionais (FROTA; SCHIFFER, 2001; BRITO; SILVA, 2017; VIANA, 2013).

Vale destacar, que esse desconforto térmico, quando ocorre em ambientes escolares, produz impactos negativos do ponto de vista do ensino, comprometendo a produtividade de alunos e professores (YANG, et al, 2013; MARÇAL, 2016; BRITO et al, 2019).

Dessa forma, é necessário também compreender o conceito de conforto térmico que, segundo a norma americana ASHRAE (2010), é definido como “a condição da mente ou o estado de espírito que expressa satisfação com o seu ambiente térmico”. Não se trata exatamente da temperatura do ambiente, mas da sensação humana, térmica e subjetiva, quanto a sua própria temperatura, que se altera de acordo com uma série de variáveis ambientais e pessoais: organismo, vestimenta³ e atividade física (FANGER, 1972).

Sobre os aspectos pessoais, além da atividade e do vestuário, Corbella e Coner (2017), acrescentam a massa corporal⁴ e a adaptação climática de cada pessoa

³ A vestimenta funciona como uma barreira para as trocas de calor (FROTA e SCHIFFER, 2001)

⁴ A taxa metabólica da pessoa obesa tende a ser mais alta e a gordura do corpo funciona como isolante térmico (ARAÚJO, 2001).

(componente cultural). Frota e Schiffer (2001), consideram também os alimentos ingeridos, porque afetam o metabolismo. Kowaltowski (2011) aponta idade⁵, sexo⁶ e estado de saúde como elementos que influenciam na sensação de conforto térmico, e Bogo et al. (1994), ainda colocam o fator psicológico envolvido no sentimento de satisfação.

Sendo assim, as variáveis envolvidas nas condições de conforto térmico podem ser de natureza pessoal ou ambiental (quadro 01). As ambientais estão diretamente relacionadas ao ambiente construído (projeto arquitetônico e equipamentos tecnológicos) e às variáveis climáticas, envolvendo a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a umidade relativa do ar e a velocidade do ar.

Quadro 01: Variáveis que influenciam no conforto térmico e na sensação térmica

| Variáveis pessoais (dados individuais) | Variáveis ambientais | |
|---|---|---|
| | Variáveis climáticas | Variáveis do ambiente construído |
| Atividade desempenhada Vestimenta Peso corporal e altura Adaptação climática Hábitos alimentares Estado de saúde Fatores psicológicos | Temperatura do ar Temperatura radiante média Umidade Relativa do ar Velocidade do ar | Implantação do edifício no lote Vegetação Materiais construtivos Aberturas Número de ocupantes Equipamentos tecnológicos |

Fonte: Adaptado de Bogo et al. (1994), Frota e Schiffer (2001), Kowaltowski (2011) e Corbella e Coner (2017)

No Quadro 01, apresentou-se o resumo das variáveis pessoais, climáticas e do ambiente construído, apontadas na literatura, que influenciam no conforto térmico e na sensação térmica.

2.1.1 Índices de conforto térmico

No sentido de uma melhor compreensão das condições ambientais e individuais que proporcionam condições de conforto térmico, foram desenvolvidos,

⁵ O idoso prefere ambientes mais aquecidos (CARVALHO, 2006), devido à redução do metabolismo basal (ARAÚJO, 2001)

⁶ As mulheres preferem ambientes um pouco mais aquecidos, se comparadas aos homens, por causa do seu metabolismo (CARVALHO, 2006), contudo essa diferença não tem sido considerada estaticamente significativa (FANGER, 1972), podendo está mais relacionada às vestimentas.

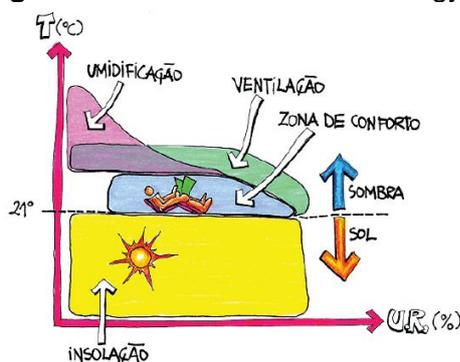
sob a influência dos estudos realizados por higienistas (ARAÚJO, 2001), índices de desconforto ou de conforto térmico para diversas regiões, baseados em diferentes aspectos do conforto térmico.

Frota e Schiffer (2001), classifica-os em três categorias: índices biofísicos (baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente); índices fisiológicos (baseados nas reações fisiológicas ocasionadas pelos elementos climáticos) e índices subjetivos (baseados nas sensações subjetivas de conforto). Para a geração do índice de conforto térmico são utilizadas algumas variáveis importantes para o estudo.

Dentre dezenas de índices de conforto térmico, Frota e Schiffer (2001) destacam a Carta Bioclimática de Olgay (1963), o índice de Conforto Equatorial de Webb e a Temperatura Efetiva de Yaglou e Houghthen, considerando a possibilidade de aplicação às condições climáticas brasileiras e às condições ambientais dos edifícios, como habitações, escolas, entre outros ambientes construídos.

A Carta Bioclimática⁷ de Olgay (1963), trata-se de um índice biofísico que estabelece zonas de conforto, por meio de um gráfico, relacionando temperatura e umidade aos padrões fisiológicos aceitáveis (considerando atividade sedentária e vestimenta em 1 Clo⁸). Esse índice corrigido e atualizado por Givoni (1992), indica estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural, quando as condições estão fora ou no limite da zona de conforto. As sugestões apontadas no diagrama envolvem necessidade do sombreamento ou da incidência de radiação solar e aumento da ventilação e/ou umidificação.

Figura 2: Carta Bioclimática de Olgay



Fonte: Lamberts et al. (2014)

⁷ Elaborada através dos algoritmos das relações psicrométricas ASHRAE, 1996), apresenta, em células, as umidades absolutas (gramas de vapor d'água/quilo de ar seco), as temperaturas e as umidades relativas correspondentes às temperaturas médias mensais (ABNT, NBR15220-3, 2005).

⁸ Clo é a unidade de isolamento térmico de uma peça de roupa

O índice de Conforto Equatorial de Webb foi desenvolvido através da relação entre os dados climáticos de Singapura e a sensação de calor, incorporando dados referentes a produção de suor em quatro horas. Trata-se de um índice fisiológico aplicado a habitantes de climas tropicais quentes e úmidos, como, por exemplo, a Amazônia (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Quanto aos índices subjetivos, a Temperatura Efetiva de Yaglou e Houghthen foi definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, apresentadas sob a forma de nomograma, e utilizada em conjunto com a Carta Psicrométrica⁹.

Outro índice subjetivo, o Índice de Desconforto de Thom (THOM, 1959), foi aplicado com resultados satisfatórios em pesquisas sobre as condições de conforto térmico em regiões brasileiras como o semiárido (NERES et al., 2015) e no clima tropical úmido (SANTOS, 2011). Esse índice consegue representar a sensação térmica da maioria das pessoas mediante as variações das condições climáticas de um ambiente, e permite identificar, a partir das informações sobre a sensação térmica dos usuários, uma medida razoável do grau de desconforto (SANTOS, 2011).

Vale destacar que os índices subjetivos assumem a abordagem adaptativa, ao perceber que as pessoas podem aceitar um intervalo de temperaturas diferente do que é proposto nos índices biofísicos, e ao compreender que o indivíduo se adapta ao lugar em que vive através de três mecanismos de ajustes: comportamentais (roupa, atividade, abrir janela, ligar ventilador), fisiológicos (genética e aclimação) e psicológicos (percepção e reações que podem diminuir a intensidade da sensação) (LAMBERTS et al., 2011).

2.1.2 Pesquisas sobre arquitetura bioclimática

A necessidade da compreensão das condições de conforto térmico que proporcionem bem-estar e saúde humana, motivou os estudos da bioclimatologia humana e as investigações científicas relacionadas à arquitetura bioclimática. Olgyay (1963) foi pioneiro nessa abordagem bioclimática para a arquitetura. Ele realizou um procedimento sistemático para adaptar o projeto de uma edificação às condições

⁹ Diagrama que mostra propriedades do ar úmido e suas relações com a temperatura

climáticas locais, buscando satisfazer as exigências de conforto através de técnicas e materiais disponíveis.

Olgay (1963), Givoni (1976) e Fanger (1972), autores clássicos nos estudos bioclimáticos, exploraram índices e revelaram que o conforto térmico depende das tecnologias, dos materiais empregados em sua construção e do desempenho perante o clima do lugar (ROMERO, 2001), mostrando a interdisciplinaridade entre clima, biologia, tecnologia e arquitetura.

Fanger (1972), estudou as zonas de conforto humano dentro das edificações, considerando a influência dos vários tipos de atividades, de vestimentas e da percepção da população. Ele influenciou as pesquisas e práticas em conforto térmico, delineando condições necessárias, métodos e princípios para avaliação e análise dos ambientes em relação a esse tema.

Givoni (1992), analisou os elementos de intercâmbio de calor entre o homem e seu ambiente térmico, conforme suas respostas fisiológicas e a relação entre a superfície externa dos edifícios e os efeitos das variáveis climáticas, a partir das propriedades termo-físicas das edificações. Seu estudo buscou avaliar as condições internas de conforto térmico, procurando ser mais inerte em relação ao clima externo, embora não seja possível desconsiderar os seus efeitos.

Vale salientar que os primeiros estudos bioclimáticos ocorreram quando esse tipo de preocupação ganhava destaque, nas décadas de 1960 e 1970, diante de um contexto de avanços sobre a consciência ambiental, através de conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU). Hoje, existem diversas pesquisas acadêmicas internacionais e nacionais¹⁰, em diferentes áreas, mostrando inter-relações entre clima, edificações de ensino e bem-estar humano.

Theodosiou e Ordoumpozanis (2008), realizaram um estudo em escolas localizadas na zona de clima frio da Grécia, envolvendo o conforto térmico, a eficiência energética e a qualidade interna do ar, através de medições do consumo de energia e da aplicação de questionários. Os autores destacam os componentes das aberturas (janelas e portas) como o maior problema encontrado, porque apresentam grande perda de calor devido ao emprego de vidros simples sem a devida vedação.

¹⁰ A Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) apresenta produção acadêmica na área de conforto consolidando esta área de conhecimento (BOGO *et al.*, 1994)

Corgnati et al (2009), verificaram os índices de conforto de Fanger (voto médio previsto e porcentagem prevista de pessoas insatisfeitas) em salas de aula com grandes dimensões, de escolas na Itália, e compararam com os resultados das medições em campo (temperatura do ar interno, média temperatura radiante, umidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura do ar externo), e com observações físicas e comportamentais. Eles consideraram zonas térmicas bem definidas (proximidade de paredes, portas, janelas, corredores, centro, lateral, etc.) e demonstraram uma preferência por ambientes térmicos neutros ou ligeiramente quentes em função da estação do ano.

Ochoa et al. (2012), avaliaram três modalidades de conforto ambiental (térmico, lumínico e acústico) em quatro salas de aula de duas edificações da Universidade Federal de Goiás. Quanto ao conforto térmico, esses autores utilizaram questionário e medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar, procurando correlacionar os dados climáticos, a satisfação dos usuários e os elementos arquitetônicos observados para controle da radiação solar. Verificando que as salas de aula se encontravam, em mais de 90% do ano, na zona de conforto térmico, Ochoa (2010) considerou positivas as escolhas arquitetônicas nos edifícios analisados, destacando o uso de brises para sombreamento. Como outro resultado, os autores identificaram um percentual bem inferior a 90%, de usuários satisfeitos.

Walikewitz et al. (2015), com medições em quatro salas de aula de uma edificação em Berlim, verificaram que materiais de construção como concreto e vidro, o tamanho dos ambientes e da janela, bem como a orientação das paredes e o tempo de exposição ao sol, foram determinantes para a temperatura interna das salas avaliadas no verão da Alemanha do ano de 2013. Os autores verificaram que as salas com paredes de janelas voltadas para sudeste e sudoeste, apresentaram as maiores disparidades entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, constatando as diferenças térmicas das superfícies.

Brito e Silva (2017), numa investigação em salas de informática climatizadas de sete instituições brasileiras, por meio da medição das variáveis térmicas e de uma breve caracterização dos elementos arquitetônicos, perceberam que a troca de calor por radiação mais acentuada ocorreu em uma instituição paraibana com número elevado de equipamentos e com aglomeração de usuários. Essa pesquisa aponta a arquitetura como fator que contribui para o aumento da radiação num ambiente de trabalho, mas a metodologia aplicada comprovou, através de um modelo matemático,

a relação entre o aumento da temperatura e o desempenho dos estudantes em laboratórios de João Pessoa-PB.

Brito et al (2019), baseados em Silva (2013), alertam para as radiações dissipadas pelos equipamentos que se convertem em radiação térmica e juntamente com o calor humano, a vestimenta, o ambiente e as variáveis climáticas, tornam ainda mais intensa a radiação total numa sala de aula.

Com base nessas pesquisas que abordam a arquitetura bioclimática, observa-se que, além da arquitetura, outros temas são considerados em ambientes escolares: os equipamentos; o desempenho dos estudantes e a qualidade do ar.

Quanto à qualidade do ar, percebe-se que ambientes fechados em regiões quentes favorecem o uso de climatização artificial, dificultando a renovação do ar, aumentando a concentração de poluentes, diminuindo a umidade relativa do ar e ressecando o muco protetor que reveste as mucosas das vias aéreas, o que contribui para o aparecimento de infecções respiratórias ou problemas pulmonares. Além disso, o ar-condicionado provoca choque térmico devido a troca rápida entre o ambiente resfriado (no interior do edifício) e o de temperatura mais elevada (fora do edifício), o que também causa irritação do sistema respiratório.

Outro problema apontado é a aglomeração de pessoas dentro dos ambientes confinados, contribuindo com a contaminação do ar através da respiração, transpiração e transporte de microrganismos, facilitando a transmissão de vírus, fungos e bactérias. Quadros et al. (2009), analisaram ambientes internos hospitalares e verificaram uma relação direta entre a concentração de dióxido de carbono e o número de ocupantes dos edifícios, evidenciando que os sistemas de ar-condicionado devem ser planejados para atender a um determinado grau de ocupação no ambiente.

Lamberts et al. (2014), associaram a densidade de usuários nos espaços internos a uma forte influência na quantidade de calor produzido no interior da edificação, o que leva ao consumo elevado do ar-condicionado e da iluminação artificial. Os autores verificaram essa relação, mesmo quando o clima externo indicou conforto térmico.

No momento em que este capítulo foi escrito, o mundo vivenciava a pandemia do novo coronavírus, uma emergência sanitária que estava levando pessoas de todo o mundo a refletir sobre evidências de que o ambiente construído influencia na propagação de vírus. A situação provocada por essa pandemia estimulou e estimula, ainda mais, as pesquisas sobre as edificações e as alterações nos elementos

climáticos, dentre outros motivos, devido ao aumento das temperaturas, da poluição atmosférica e, sobretudo, dos problemas respiratórios provenientes de ambientes fechados com uso de refrigeradores de ar.

Somado a tudo isso, o fato de a construção civil ser um segmento que explora bens e serviços naturais, reforça a responsabilidade da arquitetura nos problemas ambientais atuais e na necessidade de se pensar em ambientes saudáveis adequados às condições climáticas locais. Os materiais utilizados nas construções, muitas vezes inadequados ao clima, associados ao uso de ar-condicionado, agravam ainda mais a situação da saúde da população, gerando desconforto térmico e alto consumo de energia.

Lamberts et al. (2014), ressaltam que o enfoque bioclimático da arquitetura contribui não só para a saúde humana, mas para a eficiência energética, porque reduz o consumo energético, podendo diminuir ou evitar o uso de dispositivos artificiais para refrigeração. Esse autor também destaca que a arquitetura bioclimática tem como objetivo o projeto de edificações, de modo a adaptá-las de maneira eficaz ao seu contexto climático, sem ignorar as condições do lugar, considerando fatores como topografia, orientação solar, especificação dos materiais, disposição das aberturas, uso de elementos de proteção solar, entorno e paisagismo. Todos esses fatores de forma conjugada podem contribuir para reduzir a sensação de desconforto térmico.

Diante do exposto e em consonância com Oliveira e Leder (2014), considera-se que o conhecimento das condições térmicas permite definir a elaboração de um projeto arquitetônico mais adequado às características do lugar analisado. Trata-se de uma prática e não de um tipo de arquitetura, porque as preocupações bioclimáticas devem estar presentes em qualquer projeto arquitetônico.

2.2 Enfoques ambientais da arquitetura pertinentes à pesquisa bioclimática

Com base no que a literatura tem apresentado referente a prática da arquitetura bioclimática, um dos trabalhos que servem de parâmetro para as pesquisas sobre o tema são as investigações de Romero (2015), que apresenta quatro grupos temáticos dos enfoques ambientais da arquitetura, considerados, pela autora, como pertinentes ao estudo bioclimático:

1. Tradição vernácula (utiliza conhecimentos transmitidos por gerações);
2. Arquitetura na eficiência energética;

3. Clima urbano (considera os efeitos da urbanização);
4. Desenho urbano com preocupação ambiental.

Além desses enfoques ambientais da arquitetura apontados por Romero (2015), comenta-se também sobre a abordagem mais ampla da preocupação ambiental - a sustentabilidade. Sobre esse tema, Silva (2003), insere a importância da construção de edifícios para o atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas metas¹¹, e Mülfarth (2003), defende a necessidade de desenvolvimento de uma arquitetura sustentável com baixo impacto humano e ambiental, incluindo o papel da sociedade no equilíbrio entre os interesses econômicos e a redução dos impactos ambientais e sociais. A sustentabilidade é um tema mais abrangente, onde a arquitetura bioclimática se insere como um caminho para o seu alcance.

2.2.1 Abordagem da tradição vernácula

A história documentou que o homem sempre buscou se proteger das intempéries do clima. Para isso, tentou realizar adequações para a moradia (cavernas, cabanas e casas), utilizando-se do conhecimento empírico das características climáticas locais, o que revela a sabedoria popular empregada à arquitetura.

A abordagem da tradição vernácula não faz relação aos dados climáticos, mas revela exemplos de construções em harmonia com o ambiente, por exemplo: as construções indígenas com materiais vegetais; as casas ribeirinhas no território amazônico; as casas paulistas com alpendres; as casas do sertão nordestino feitas com barro e uma trama de madeira, dentre outros exemplos (BARBIRATO et al., 2007).

Essas edificações são como legado para a construção bioclimática, porque se beneficiam do emprego adequado dos materiais locais (ROMERO, 2013). Segundo Romero (2015, p. 25), “a arquitetura bioclimática [...] tem, na arquitetura vernácula, os antecedentes que servem como exemplos de respostas adequadas do homem às exigências do meio ambiente”.

¹¹ Uma das metas do ODS 4, Educação de Qualidade, é construir e melhorar instalações físicas para educação, de forma a proporcionar ambientes de aprendizagem eficazes.

Uma característica marcante na tradição vernácula é o uso de materiais disponíveis localmente. No Brasil, vê-se o uso do barro em regiões com pouca vegetação arbórea e o uso da madeira em áreas com abundância desse recurso. Esse enfoque, pode ser considerado como uma arquitetura original/regional que não copia os modelos estrangeiros, mas, ao contrário, valoriza a cultura local e as condições climáticas da região.

Esse regionalismo é destacado nas obras do arquiteto Severiano Mario Porto, que atuou no clima quente e úmido da Amazônia projetando edificações com madeira local, buscando assim, inspiração nas construções vernaculares da região (MENDES, 2019).

No clima quente e seco, Romero (2013), aponta as casas tradicionais iraquianas como um exemplo de sabedoria na adequação ao clima, com pátio interno e câmara subterrânea fria para conduzir ar resfriado ao interior. Outro exemplo de adaptação a esse tipo de clima, são as edificações subterrâneas construídas na China e na Tunísia, mencionadas por Lamberts et al. (2014) e Romero (2013), como forma de proteção das altas temperaturas e das tempestades de ventos.

Apesar dessas práticas de adaptação dos assentamentos humanos às condições locais, o crescimento urbano e o desenvolvimento tecnológico têm estimulado o uso de materiais mais elaborados, muitas vezes vindos de outros locais, estabelecendo um padrão globalizado nas cidades que levou e leva à construção de prédios com fachadas envidraçadas em regiões tropicais, sem considerar as características climáticas locais, o que causa excesso de insolação e necessidade de refrigeração de alto valor econômico (CORBELLAS;YANNAS, 2009). Além disso, esse padrão globalizado de construção tem contribuído para alterações no campo térmico urbano, com a formação das ilhas de calor e a geração de desconforto térmico.

2.2.2 Enfoque da arquitetura na eficiência energética

Com o aumento do consumo e do preço da energia, assim como da poluição, em 1973, surgiu uma “crise energética” que reforçou a necessidade em uma arquitetura integrada ao clima local e com adaptações às restrições energéticas. Essa temática levou à realização do “Seminário de Arquitetura Bioclimática”, ocorrido em 1983, no Rio de Janeiro, onde produção e conservação de energia foram incorporados aos temas abordados (TOLEDO, 1999, apud NEVES, 2016).

Nesse sentido, Romero (2015), cita os estudos que avaliam os fatores relacionados ao consumo de energia, ao uso e a obtenção de energia de fontes renováveis nos espaços construídos, entre eles o de Robert e Brenda Vale (1978), que apresentam os princípios de uma casa com autonomia energética, e o de Romero (1978), com propostas de soluções arquitetônicas relativamente independentes de fontes de energias esgotáveis.

Lamberts et al. (2010), depois de dois anos de monitoramento em uma casa, demonstraram a eficiência energética com o uso de diversas tecnologias de aproveitamento da energia solar, de adaptações ao clima local e do uso eficiente de energia com soluções aplicadas ao clima de Florianópolis.

Além desses trabalhos, normas de desempenho térmico e energético regulamentam os parâmetros para as edificações, dentre as quais, a NBR 15575, norma para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT, 2013), e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

A NBR 15575 (ABNT, 2013), é utilizada como guia para definir os requisitos iniciais a serem atendidos pelas edificações residenciais. Essa norma abrange aspectos sobre o desempenho térmico de paredes e coberturas.

No Brasil, entrou em vigor também, em agosto de 2014, uma Instrução Normativa (IN 2) que instituiu a obrigatoriedade da etiquetagem de eficiência energética das edificações públicas federais.

2.2.3 Abordagem do clima urbano e seus efeitos na cidade

O Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) tem produzido relatórios que indicam o aumento da temperatura como umas das maiores evidências do impacto das cidades, com consequências diversas no bem-estar e na saúde da população. Em nível nacional, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016) considera a emissão antropogênica de Gases do Efeito Estufa (GEE) como a maior causadora do aumento da temperatura e estima a continuação do aquecimento entre 2,6°C e 4,8°C para os próximos anos.

Estudos sobre o clima urbano, a exemplo de Gartland (2010), afirmam que quando uma determinada área urbana apresenta um aumento da temperatura e modificações nas condições microclimáticas, diferentes das áreas rurais, ocorre o

fenômeno de Ilha de Calor Urbana (ICU). Sobre esse fenômeno, a autora citada aponta os seguintes efeitos: evaporação reduzida; maior armazenamento de calor; aumento do saldo de radiação; redução da convecção e calor antropogênico aumentado.

As ilhas de calor são, portanto, expressões visíveis das alterações no campo térmico urbano, com implicações na saúde e no bem-estar da população. Por isso, as preocupações com essas alterações microclimáticas e esses efeitos em áreas urbanas têm levado a uma extensa produção científica com abordagens distintas no que diz respeito ao objeto de estudo e aos procedimentos metodológicos. Em alguns trabalhos, observou-se que o aumento da temperatura do ar foi a principal evidência das alterações climáticas investigadas nas cidades. As pesquisas de Lombardo (1985), Costa (2003), Amorim (2010), Gartland (2010), Santos (2011) e Romero et al. (2019), apontaram diferenças térmicas entre superfícies naturais e construídas e afirmaram que a impermeabilização dos solos tem contribuído para o aumento da temperatura do ar e o desconforto térmico nesses ambientes.

Nesse sentido, Mendonça (1995), destaca que a ocupação do solo por construções de concreto e pavimentação de asfalto, associado ao aumento do índice de desmatamento em áreas urbanas, são fatores que podem influenciar diretamente o clima das cidades e tem consequências sobre o bem-estar e a saúde da população.

De forma semelhante, Oke (1976), verificou que as modificações no clima urbano são resultado de condições particulares do meio ambiente urbano, seja pela rugosidade do tecido urbano, pela sua ocupação, permeabilidade ou pelas propriedades térmicas dos materiais que o compõem. Ou seja, o aumento de temperatura em áreas urbanas estaria diretamente relacionado ao processo de urbanização acelerada e as modificações no uso e cobertura do solo urbano.

Lombardo (1985), destaca a correlação entre os tipos de uso do solo e a variação da temperatura do ar na cidade de São Paulo, e demonstra que as altas temperaturas se apresentaram, sobretudo, onde a vegetação é escassa, nas áreas mais industrializadas e em áreas residenciais com maior verticalização das edificações e maior densidade demográfica.

Conti (1998 apud SANTOS, 2011), também apontou que o intenso aumento da temperatura nas cidades, é influenciado pela forma arquitetônica dos edifícios, pela natureza dos materiais de construção, pelas cores das paredes e pela densidade da área construída. Amorim (2010), verificou o maior aquecimento no ambiente urbano

decorrente da combinação dos materiais utilizados nas construções, com as cores escuras das edificações e dos pavimentos, absorvendo e armazenando mais energia solar.

Gartland (2010), em seu estudo sobre as ilhas de calor urbanas, destacou algumas características para o aumento do calor nas cidades: falta de vegetação; utilização de superfícies impermeáveis; baixa refletância solar dos materiais; aumento da poluição; aumento do uso de energia; geometrias que aprisionam calor e diminuem a velocidade dos ventos.

Tais trabalhos sobre clima urbano, considerando os efeitos dos elementos construtivos, indicam que as áreas verdes e os materiais utilizados na construção civil são itens a serem considerados, pois, dentre as características locais, a diminuição da vegetação e as superfícies das construções, potencializam o aumento da temperatura e geram desconforto térmico, especialmente em áreas urbanas.

2.2.4 Enfoque do desenho urbano com preocupação ambiental

Esse enfoque busca aplicar soluções bioclimáticas no espaço urbano com reflexos nos conjuntos de edifícios da cidade. Nessa perspectiva, Romero (2013), trabalha a forma urbana, as ruas, o parcelamento e o tamanho dos espaços públicos. A autora propõe princípios bioclimáticos de desenho urbano para três tipos de clima das regiões tropicais: quente-úmido; quente-seco e tropical de altitude. No quadro 2, a referida autora esquematiza a maneira de controlar os elementos do clima para as distintas condições climáticas ou microclimáticas.

Quadro 2: Elementos do clima a serem controlados

| Elementos a controlar | Estações quente-secas | Estações quente-úmidas | Clima ameno dos planaltos |
|------------------------------|---|---|--|
| Temperatura | Reduzir a produção de calor devido a condução e convecção dos impactos externos. | Reduzir a produção de calor (diminuir a temperatura) Procurar perda de calor pela evaporação e pela convecção. | Reduzir a produção de calor na época seca diurna. |
| Ventos | Nas regiões sem inverno: diminuir o movimento do ar durante o dia e ventilar à noite. Nas regiões com | Incrementar o movimento do ar. | Incrementar o movimento do ar no período úmido e no período seco sem pó. |

| | | | |
|-----------------|---|--|---|
| | inverno: diminuir o movimento do ar. | | |
| Umidade | Aumentar a umidade com a introdução de superfícies de água. | Evitar a absorção de umidade e diminuir a pressão de vapor. Promover a evaporação. | Aumentar a umidade na época seca diurna e noturna. |
| Radiação | Nas regiões sem inverno: reduzir a absorção de radiação e promover sua perda. Nas regiões com inverno: reduzir as perdas de calor por radiação à noite. | Reduzir a absorção de radiação. | Reduzir a absorção de radiação no urbano, permitindo a radiação nos edifícios, principalmente, no período seco. |
| Chuvas | Mínima proteção nos espaços públicos | Máxima proteção nos espaços públicos | |

Fonte: Romero (2013, p.87)

Para as regiões tropicais quentes e secas, de forma mais detalhada, Romero (2013), propõe: forma urbana densa e sombreada; ruas estreitas e curtas com muitas mudanças de direção para impedir a ventilação indesejada; lotes estreitos e longos para evitar a reflexão da luminosidade no interior das edificações, espaços públicos pequenos com presença de água, sombreados por edifícios altos e por outros elementos arquitetônicos como marquises, beirais, etc.

Mascaró (1985), também demonstra preocupação bioclimática em relação ao desenho urbano, ao afirmar que a forma dos edifícios, a distância entre eles e a posição em relação aos ventos, definem a eficiência da ventilação no espaço urbano. A autora destaca que as ruas paralelas à direção do vento dominante formam canais de vento e por isso, quanto mais largas, menos obstáculos à ventilação, enquanto a largura das ruas perpendiculares à direção do vento tem pouco efeito sobre a ventilação.

Mascaró (1985), chama atenção para os efeitos aerodinâmicos do vento sobre os edifícios e seu entorno, porque podem favorecer ou minimizar a ventilação. Romero (2013), além de atentar para esses efeitos, esclarece que, nas regiões de clima quente-seco, a ventilação precisa ser minimizada, enquanto nas de clima quente-úmido a ventilação necessita ser favorecida.

Carvalho (2006), realizou um estudo de conforto térmico na cidade do Porto/Portugal e propôs um relatório síntese de recomendações bioclimáticas para o planejamento urbano, a partir de medidas mitigadoras e de adaptação das construções às alterações climáticas, com as seguintes indicações: orientação e largura das ruas, conscientização da necessidade de espaços verdes, formas de evitar alguns efeitos indesejáveis do vento, orientação do edifício, altura e tipologia do edifício, tipos de isolamento mais adequado às necessidades térmicas verificadas, importância dos materiais de elevada massa térmica, vegetação na envolvente do edifício (localização, tipo e densidade), cor das superfícies externas do edifício e dimensionamento, tipo e proteção solar das aberturas.

Costa (2003), baseado em Katzschner(1997) e Oliveira (1988), analisou um bairro da cidade de Natal-RN considerando os seguintes aspectos: topografia, altura das edificações, uso do solo, áreas verdes e tipo de recobrimento do solo. Juntamente com a avaliação de dados da temperatura do ar, umidade relativa do ar e ventilação, a autora definiu um zoneamento para o bairro investigado identificando áreas a serem melhoradas e áreas a serem protegidas, bem como propôs diretrizes para ocupação no sentido de orientar o crescimento do bairro estudado.

2.2.5 Abordagem da arquitetura sustentável

Corbellas e Yannas (2009, p.19), definem a arquitetura sustentável como sendo a "[...] continuidade mais natural da bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida".

Dessa forma, quando se fala em sustentabilidade, tem-se um compromisso mais amplo com os problemas ambientais, econômicos e sociais (MÜLFARTH, 2003). Nesse sentido, o enfoque bioclimático da arquitetura é uma prática que contribui para o desenvolvimento sustentável, pois está voltada ao atendimento de alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como: o ODS 13 (combate as alterações climáticas), na reflexão das condições microclimáticas dos ambientes internos e externos; o ODS 7 (energia acessível e limpa) na responsabilidade com a economia do consumo de energia e o ODS 3 (boa saúde e bem-estar) envolvendo a preocupação com o conforto térmico das pessoas. Além desses ODS, a adaptação

dos elementos construtivos ao contexto climático vai se voltar também para os ODS 9, 11, 12 e 15, ampliando os conhecimentos sobre uso dos materiais, das tecnologias, da vegetação e dos bens e serviços disponíveis na natureza.

Quanto às incertezas, desafios e dificuldades de se implantar novas bases para a obtenção de uma arquitetura mais sustentável, Mülfarth (2003), alerta que, mesmo existindo uma rede mundial de organizações voltadas para essa temática, fruto da preocupação e necessidade mundial de mudança na sociedade, muitas questões precisam ser resolvidas sobre as ligações possíveis aos aspectos técnicos, naturais, sociais, políticos e econômicos, e também sobre a valorização dos aspectos humanos e ambientais num modelo social empresarial, onde o desenvolvimento é baseado na lógica econômica. Para essa autora, a estrutura social como está montada dificulta as ações sustentáveis e por isso, segundo ela, é utópico e equivocado afirmar que as escolhas relacionadas com melhor desempenho ambiental e social exerçam muita influência nas políticas públicas, nas ações empresariais e nas práticas da sociedade.

Frente ao desafio da implementação de projetos sustentáveis, Mülfarth (2003) destaca que algumas instituições, organizações, centros de pesquisa e escritórios, realizaram ações para implantação de uma arquitetura mais sustentável, como: diretrizes de projeto, elaboração de listas de materiais construtivos com menor impacto ambiental; softwares que auxiliam os profissionais nas escolhas; classificação de projetos; selos verdes; entre outros.

2.3 O desafio da arquitetura bioclimática

Diante das incertezas e das dificuldades na execução de ações sustentáveis, o enfoque bioclimático da arquitetura se coloca como um dos caminhos para uma arquitetura em direção à sustentabilidade, à medida que trata de pontos importantes como a eficiência energética, a adaptação dos elementos construtivos ao contexto climático e o conforto e satisfação dos usuários.

Na perspectiva de alcançar esse objetivo, alguns autores já desenvolveram pesquisas apontando recomendações no clima quente e úmido (HOLANDA, 1976; GIVONI, 1992; RORIZ, 1996; COSTA, 1982; COBERLLA e YANNAS, 2009; LAMBERTS, 2014; HEYWOOD, 2015) e no clima quente e seco (MASCARÓ, 1985; FROTA e SCHIFFER, 2001; NBR15220-3, 2005; ROMERO, 2013; HEYWOOD, 2015; OLIVEIRA, 2017).

Givoni (1992), apresenta seis estratégias bioclimáticas passivas para corrigir as condições de conforto térmico: ventilação; resfriamento evaporativo; massa térmica de resfriamento; umidificação; massa térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo. Ele apresenta duas estratégias artificiais: zona de ar-condicionado e zona de aquecimento artificial.

O quadro abaixo apresenta as recomendações do projeto arquitetônico apontadas por Roriz (1996):

Quadro 3: Recomendações do projeto arquitetônico apontadas por Roriz (1996)

| | Recomendação |
|----------------------------------|--|
| Implantação | edificações alongadas, com fachadas maiores orientadas para norte e sul |
| Espaçamento entre as edificações | Acentuada - cinco vezes maiores que a altura dos edifícios |
| Ventilação | otimizar a ventilação cruzada |
| Tamanho das aberturas | grandes de 40 a 80% das fachadas sul e norte |
| Posição das aberturas | fachadas norte e sul, permitindo ventilação no nível dos corpos dos ocupantes e com aberturas de saída do ar maiores e mais altas que as de entrada. |
| Proteção das aberturas | protegidas contra a radiação solar direta |
| Paredes | paredes leves com superfícies externas de cores claras |
| Coberturas | leves, mas com alta resistência térmica. |

Fonte: Roriz (1996)

Lamberts (2014), destaca que as condições naturais são essenciais para o melhor aproveitamento da arquitetura bioclimática, chamando atenção para considerar a iluminação natural, a ventilação natural, as propriedades térmicas dos materiais e os equipamentos eficientes.

Holanda (1976), fez uma crítica à produção da arquitetura brasileira que copiava modelos estrangeiros e trouxe uma contribuição com recomendações de como devem ser as edificações no Nordeste para adequação ao clima e as características da cultura local. Porém, apontou algumas propostas (quadro 4), com recomendações aplicáveis ao clima tropical quente e úmido, o que não abrange todas as regiões nordestinas, pois o Nordeste como um todo não possui o mesmo clima.

Quadro 4: Recomendações segundo Holanda (1976)

| | |
|----------------------------|--|
| 1. Criar sombra | grande cobertura para proteção do sol e das chuvas |
| 2. Recuar paredes | proteger do sol, do calor, das chuvas e da umidade |
| 3. Vazar muros | filtrar a luz e deixar a brisa penetrar |
| 4. Proteger janela | abrigadas e sombreadas |
| 5. Abrir as portas | entrar a luz e permitir circulação do ar nos ambientes |
| 6. Continuar os espaços | permitir que o ar circule por toda a edificação |
| 7. Construir com pouco | componentes com possibilidade combinatórias |
| 8. Conviver com a natureza | utilizar o sombreamento vegetal |
| 9. Construir frondoso | sombra aberta |

Fonte: Holanda (1976)

Na perspectiva de modelos de intervenção no projeto arquitetônico, Corbella e Yannas (2009), analisaram bons exemplos de edifícios modernos sem uso de ar-condicionado e de edificações com forte dependência dos sistemas de energia. As pesquisas realizadas pelos referidos autores, em edificações que funcionam bem ou mal, revelaram algumas questões de interesse para as regiões tropicais com alta umidade, entre elas, os autores destacam: a combinação de um controle solar efetivo em todas as orientações, somada a uma adequada inércia térmica e uma ventilação cruzada eficaz. Esses autores recomendam: controlar os ganhos de calor; dissipar a energia térmica do interior do edifício; remover a umidade em excesso; controlar o ruído; promover o movimento do ar e o uso da iluminação natural.

Vale salientar que essas recomendações apresentadas são voltadas para clima quente e úmido, não sendo adequadas para todos os contextos climáticos. No clima quente e seco, por exemplo, de acordo com a literatura, a ventilação natural, durante o dia, precisa ser controlada.

Lamberts et al. (2014), destacam o sombreamento e a ventilação natural como as estratégias mais importantes para o Brasil, porém afirmam que para temperaturas acima de 32°C, a ventilação pode funcionar mais como aquecimento do que como resfriamento do ambiente, e mesmo para temperaturas entre 27 e 32° C, a ventilação só é eficiente se a umidade relativa do ar tiver valores entre 15% e 75%.

Romero (2013), também alerta quanto aos cuidados com a ventilação no clima quente e seco, ao afirmar que os ventos nessas regiões carregam pó em suspensão

e são demasiadamente quentes, o que não contribui para o resfriamento das superfícies construídas, ao contrário, aquece ainda mais.

De forma semelhante, Frota e Schiffer (2001), afirmam que a ventilação em clima quente e seco não é útil, porque o vento externo apresenta-se, durante o dia, mais quente que a temperatura do ar interno. Diante disso, Mascaró (1985) recomenda, nos climas quentes e secos, reduzir ao mínimo a ventilação durante o dia, usando somente a ventilação higiênica para retirada dos odores gerados dentro da edificação.

Heywood (2015), prescreve quatro regras para o clima quente e seco: reduzir a taxa de aquecimento no interior da edificação em dias de verão, através de massas termoacumuladoras e sombreamento; promover a refrigeração rápida nas noites de verão com torres de ventilação e/ou ventilação cruzada; usar refrigeração passiva no verão, se houver água disponível, e empregar a calefação natural (passiva) no inverno.

Frota e Schiffer (2001), também apresentam recomendações de como construir edificações no clima quente e seco. Dentre as sugestões, essas autoras recomendam: aberturas com pequenas dimensões; edificações compactas para obter menores superfícies expostas à radiação; proximidade entre as edificações para fazer sombras umas às outras; uso de vegetação como barreira aos ventos quentes; uso da água nos espaços abertos para umidificação e a preferência ao uso de cores claras no exterior das edificações.

A partir de simulações computacionais, Oliveira (2017), propôs cinco recomendações para edificações da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA-Campus Mossoró-RN), localizada em clima tropical semiárido, de forma a reduzir o consumo de eletricidade pelo sistema de condicionamento artificial de ar:

- 1 Planejar ruas, lotes e quarteirões de modo a permitir que, na implantação das edificações, as fachadas com maiores dimensões estejam orientadas para o norte e/ou para o sul, estendendo essas edificações longitudinalmente de leste para oeste;
- 2 Revestimentos de cores claras e refletivas com baixa absorvância térmica (inferior a 50%);
- 3 Cobertura com transmitância térmica inferior a $1,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$;
- 4 Paredes externas com transmitância térmica inferior a $3,0\text{W}/\text{m}^2$;
- 5 Baixo percentual de áreas envidraçadas nas fachadas e marquises para sombreamento das paredes externas e das aberturas envidraçadas das fachadas nos

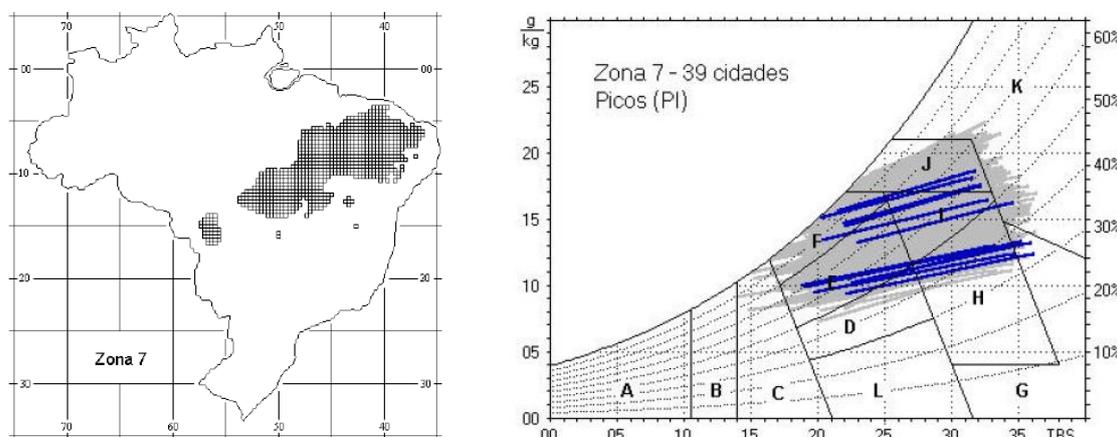
períodos mais quentes do dia, ao longo do ano, desde que não se prejudique a iluminação natural dos ambientes.

Segundo Oliveira (2017), essas medidas foram suficientes para que as envoltórias das três edificações analisadas em sua pesquisa, tivessem desempenho melhor do que os propostos pelo Inmetro na avaliação de eficiência energética de edifícios.

Muitos autores como Lamberts et al. (2014), trabalham a arquitetura e o clima conforme o zoneamento bioclimático brasileiro, considerando fatores como tamanho das aberturas, vedações externas, elementos de proteção solar e estratégias de condicionamento térmico passivo. Esses autores defendem que embora a norma NBR15220-3 seja direcionada para habitações de interesse social, pode servir como parâmetro inicial para projetos de edificações destinadas a outros usos, uma vez que se refere a adequação climática e otimização do desempenho térmico de edificações.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 15220-3), definiu um zoneamento bioclimático brasileiro com diretrizes construtivas. A região analisada nesta pesquisa está inserida na zona bioclimática 7, com as seguintes diretrizes construtivas: aberturas pequenas para ventilação; sombreamento das aberturas; vedações externas (paredes e coberturas) espessas; ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa); resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. Vale salientar que, nesta norma, a ventilação não é recomendada para essa zona, o que leva em conta os efeitos de movimento do ar quando a temperatura está muito elevada, associada com a baixa umidade, característica de clima quente e seco.

Figura 3: Zona Bioclimática 7, à esquerda e à direita, Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas da cidade de Picos para representar as cidades desta zona



As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

| | |
|--|---|
| A – Zona de aquecimento artificial (calefação) | G + H – Zona de resfriamento evaporativo |
| B – Zona de aquecimento solar da edificação | H + I – Zona de massa térmica de refrigeração |
| C – Zona de massa térmica para aquecimento | I + J – Zona de ventilação |
| D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade) | K – Zona de refrigeração artificial |
| E – Zona de Conforto Térmico | L – Zona de umidificação do ar |
| F – Zona de desumidificação (renovação do ar) | |

Fonte: ABNT, NBR15220-3, 2005

É inegável que essa norma brasileira com as diretrizes bioclimáticas a partir do zoneamento bioclimático do país, constitui um importante instrumento para pesquisas e para a elaboração de projetos. Contudo, Roriz (2012), alerta para imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras, o que, segundo ele, é motivo de muitas críticas ao zoneamento.

Roriz et al. (2001) e Roriz (2012), propuseram a atualização de dados climáticos e novas divisões do zoneamento, com um número maior de zonas bioclimáticas, visando obter diretrizes construtivas mais adequadas para o clima de cada cidade, de maneira a refletir a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações, o que, para eles, envolve aspectos complexos e uma excessiva quantidade de zonas.

Hanna Tondo (2017), em sua avaliação da influência de algumas estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma para a região de Joinville, demonstrou, através de simulação computacional, que as paredes externas com maior atraso térmico apresentaram melhores resultados do que as paredes leves, o que contraria a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Martins et al (2012), analisaram a referida norma quanto à adequabilidade de suas diretrizes para duas cidades localizadas no semiárido brasileiro (Petrolina-PE e

Pão de Açúcar-AL) e verificaram, através de simulações, que as recomendações são inadequadas para a cidade alagoana.

Oliveira (2013), avaliou o desempenho térmico da envoltória de uma edificação de interesse social em duas cidades paraibanas (Campina Grande e Patos) e observou que as recomendações sugeridas pela norma em relação ao valor de transmitância térmica, não são adequadas em Patos, mas resultaram em condições favoráveis para Campina Grande, confirmando a necessidade de atualização das recomendações e diretrizes construtivas dessa norma.

A partir dessas considerações, acredita-se que a norma brasileira é um instrumento abrangente, o que revela a necessidade de análise das particularidades climáticas locais para se definir estratégias bioclimáticas adequadas.

O quadro 5 apresenta uma síntese dos estudos sobre as diretrizes projetuais voltadas para clima quente e seco, apresentando as recomendações que foram mais importantes entre os autores: ventilação minimizada com aberturas pequenas; sombreamento; presença de água e vegetação para aumentar a umidade; massas termoacumuladoras e cores claras nas superfícies externas.

Quadro 5: Sistematização das recomendações para clima quente e seco

| Recomendação | Frota e Schiffer (2001) | Romero (2013) | Lamberts (2014) | Heywood (2015) | Oliveira (2017) | NBR 15220 |
|---|-------------------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------|
| Ventilação natural reduzida Abertura pequenas | x | x | x | | | x |
| Sombreamento | x | x | | x | x | x |
| Umidificação Presença de água e/ou vegetação | x | x | | x | | x |
| Vedações externas (paredes e coberturas) espessas | | | | x | x | x |
| Cores claras nas superfícies externas | x | | | | x | x |

Fonte: Elaboração própria

A partir dessas observações, pode-se comparar com o quadro a seguir, as diferenças nas recomendações para as edificações no clima quente-seco e para as edificações no clima quente-úmido.

Quadro 6: Síntese das recomendações para clima quente-seco e quente-úmido

| Elementos | Recomendações para clima quente-seco | Recomendações para clima quente-úmido |
|------------------|---|--|
| Temperatura | Sombreamento Paredes e coberturas espessas e cores claras Aberturas pequenas protegidas da radiação | Sombreamento Paredes e coberturas leves com alta resistência térmica e cores claras |
| Ventilação | Aberturas pequenas Aproximar as edificações | Aberturas grandes protegidas da radiação Distanciar as edificações |
| Umidade | Uso da vegetação e da água nos espaços abertos para umidificação | Permitir que o ar circule por toda a edificação para evaporação |

Fonte: Elaboração própria

Além das diferenças climáticas, as estratégias bioclimáticas também podem ser contraditórias nas diferentes estações do ano ou uma pode se opor a outra. Lamberts et al. (2014), esclarecem algumas contradições: a ventilação natural pode ser boa no verão, mas um problema no inverno; o aquecimento solar é desejado no inverno e o sombreamento no verão; a iluminação natural pode aumentar o calor no ambiente interno e exigir mais ventilação; a boa acústica pode depender da estanqueidade de seus fechamentos e isso pode ser contraditório à boa ventilação e iluminação natural. Além disso, a boa ventilação pode criar um problema acústico grave em salas de aula. Daí a complexidade e os desafios da arquitetura bioclimática.

2.3.1 Atributos arquitetônicos que influenciam o conforto térmico

Olgay (1963), interpretou princípios arquitetônicos bioclimáticos para quatro regiões, considerando os efeitos térmicos dos materiais, o controle solar, os efeitos do vento e dos padrões de fluxo do ar, bem como aspectos relacionados a implantação do terreno (seleção do lugar, forma da construção e orientação solar). Baseado nesse autor e no referencial teórico explorado, pode-se considerar os seguintes atributos arquitetônicos que mais influenciam no conforto térmico: a implantação da edificação; a existência de vegetação; os materiais construtivos e as aberturas. A seguir estão

explicitadas essas características arquitetônicas a serem analisadas no clima quente e seco de Cajazeiras-PB.

2.3.1.1 Implantação da edificação no terreno

A legislação de cada município estabelece para o edifício um número máximo de pavimentos e recuos mínimos (frontal, laterais e nos fundos do terreno). Porém, Corbella e Coner (2017), Lamberts et al. (2014) e Aluci (2007) criticam os Códigos de Obras e Edificações municipais porque estabelecem requisitos para implantação de edificações no terreno sem contemplar os fatores locais e as questões de conforto ambiental (térmico, luminoso e acústico).

Aluci (2007), propõe uma metodologia com alternativas para implantação de uma edificação no terreno, considerando conjuntamente: os aspectos climáticos locais; as características físicas das edificações, calçadas e vias existentes no entorno; o tráfego urbano, as informações sobre o terreno (orientação, topografia e dimensões) e sobre o projeto arquitetônico da edificação a ser implantada (dimensões do prédio, particularidades das aberturas e conhecimentos sobre as funções e usos). Essa metodologia considera a avaliação de desempenho térmico, acústico, luminoso e energético de uma edificação, procurando oferecer alternativas para atender critérios, de acordo com a prioridade do projetista.

Corbella e Coner (2017), atentam para a observação da posição do sol, o percurso da trajetória solar e a direção dos ventos na definição da implantação. Eles aconselham a utilização de programas computacionais e dos diagramas solares que servem para indicar os planos de maior incidência solar, os períodos de insolação e as sombras. Segundo os estudos desses autores para o clima tropical úmido, as superfícies que mais recebem sol no verão são: a cobertura e as fachadas leste e oeste. A recomendação seria, orientar as fachadas de maior área para as direções norte e sul que constitui um procedimento para reduzir o calor que penetra na edificação. Contudo, os referidos autores apontam a importância do controle solar em todas as orientações, inclusive para baixar a carga dos aparelhos de ar-condicionado.

Hazboun (2018), avaliou o aproveitamento da luz natural em ambientes de escritório com aberturas voltadas para leste, e observou o uso recorrente de cortinas fechadas devido ao ofuscamento e contraste com o monitor, causando insuficiência

de luz natural, obstrução da vista ao exterior, uso excessivo da luz artificial e condicionamento de ar.

Kowaltowski (2001), através de medições, questionários e observações, investigou as condições de conforto de vários prédios escolares existentes na cidade de Campinas/SP, e identificou problemas quanto a falta de ventilação no verão, devido ao ofuscamento nas lousas de muitas das salas de aula analisadas, o que levava ao fechamento das janelas e cortinas. Ela ressaltou que a orientação da maioria dos edifícios escolares analisados possuía aberturas das salas de aula para leste, possibilitando, segundo a autora, a incidência da radiação direta nos ambientes e nas pessoas, em grande parte da manhã.

Corbella e Yannas (2009), analisaram uma escola em Porto Alegre com salas de aulas voltadas para leste e oeste e destacaram que o uso de proteção através de elementos vazados de cimento não teve sombreamento eficiente quando o sol está baixo na posição leste e oeste, o que revela a complexidade em proteger as aberturas voltadas para essa orientação.

Embora a orientação leste tenha um risco baixo de superaquecimento, e por isso é considerada saudável, Kowaltowski (2001), atenta para o fato de que as atividades desenvolvidas nas escolas são prejudicadas pela insolação direta nas salas com essa orientação.

Essas informações revelam a importância da orientação do edifício escolar, onde as atividades se iniciam cedo da manhã. Segundo Heywood (2015), o conhecimento da posição e duração do sol, e do vento dominante, auxilia o projetista na decisão da orientação, da forma da edificação, da setorização dos ambientes internos e do tamanho das aberturas, de modo a aproveitar a ventilação e a iluminação.

Lamberts et al. (2014), destacam que a orientação e a implantação do edifício no terreno influenciam também a ventilação natural em ambientes, podendo ainda ser modificada pela vegetação e pelas superfícies edificadas que direcionam a intensidade com a qual o vento atinge a edificação, servindo como barreiras de vento.

Paes (2016), baseado em Allard (1998), aponta a importância da localização, da organização espacial, da forma, da orientação do edifício e do paisagismo na proteção aos ventos indesejáveis, fluxo de poeira e poluentes, além da prevenção contra o desconforto das altas velocidades do vento em áreas livres.

Outra questão observada, tem relação com as características físicas das edificações, dos elementos naturais, das calçadas e das vias existentes no entorno, pois a altura dos edifícios e seus espaçamentos determinam a incidência da radiação solar (ROMERO, 2013). Com relação a vizinhança, Corbella e Yannas (2009) consideram também: a densidade urbana; as fontes de ruído; os tipos de cobertura de solo e os ventos que predominam, observando as estações do ano e o período do dia (manhã, tarde e noite).

Quanto às orientações para a escolha do terreno no clima quente e seco, Romero (2013), recomenda: localização protegida do sol e do vento quente, orientação norte para o hemisfério sul, localização com aproveitamento das depressões, proteção contra poeira; uso de fontes e espelhos d'água para umidificação e espaços compactos com possibilidade de armazenamento de umidade.

No que diz respeito à escolha do terreno e implantação de equipamentos escolares, Paes (2016), observou quatro problemas: as restrições de cunho político, econômico e organizacional impostas ao projeto; a prática da padronização; a difícil obtenção de lotes adequados em áreas urbanas estabelecidas e a pouca importância dada aos ambientes abertos nas escolas que, muitas vezes, são insuficientes para futuras ampliações e para a prática de atividades pedagógicas ao ar livre, recreação e educação física. Esses problemas, verificados pela autora em escolas cariocas, resultaram na utilização de praças públicas e parques, em ampliações excessivas, e na verticalização da construção, com a quadra esportiva na cobertura da edificação, o que comprovou sua hipótese de que os terrenos utilizados para a construção das escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro, geralmente, são inadequados aos projetos padronizados. Essa autora alerta para a necessidade de o edifício escolar estar em consonância com as condições oferecidas pelo clima, pelo terreno e pelo entorno, afirmando que é o projeto que deve se adequar ao sítio, e não o contrário.

Azevedo et al. (2017), também, chamam atenção quanto a pouca importância dada na concepção dos pátios escolares. Os autores destacam a função ambiental dos espaços externos das escolas valorizando a aproximação com a vegetação e seu potencial para a educação ambiental.

2.3.1.2 Vegetação

Para Mascaró e Mascaró (2002), a vegetação proporciona embelezamento, direcionamento, identidade e delimitação de espaços, contribuindo para o controle do clima e economia de energia com o sombreamento, a redução da temperatura, a retenção da água no solo, a canalização ou obstrução dos ventos e o aumento da umidade relativa do ar, sobretudo no período onde há maior densidade foliar da vegetação, além de permitir também o controle da poluição com a amenização de ruídos e da poluição atmosférica.

Akbari e Taha (1992), constataram que árvores e trepadeiras plantadas estrategicamente próximas aos edifícios podem reduzir os gastos com condicionamento de ar, no verão, entre 20 e 35%. Jensen (2000), também relacionou o sombreamento proporcionado pelas árvores nas fachadas com a economia no uso de ar-condicionado.

Bartholomei (2003), observou, por meio de dados atmosféricos, a redução da radiação solar de acordo com as espécies, densidade da folhagem, condições de transparência do céu e posição relativa do sol. Essa autora também observou a melhoria do conforto térmico em duas salas de aula, antes e após a implantação de algumas árvores da espécie *Ficus benjamina*, e constatou uma diminuição de 1,5°C na temperatura do ar. Essa pesquisa revela que a escolha da vegetação deve considerar: tipo, porte e idade; local onde serão plantadas; manutenção necessária para cada espécie e edificações próximas.

Barbirato et al. (2007), afirmam que a vegetação, o solo gramado e as espécies arbóreas de copas permeáveis, são favoráveis ao sombreamento e proteção do solo da radiação solar direta, por isso devem ser valorizados em projetos para regiões de clima quente. Esses autores também chamam a atenção em relação à altura, a massa, a textura e a localização da vegetação, para não gerar conflitos com os elementos construídos. Além disso, eles destacam a importância das áreas verdes como estímulo ao uso de espaços coletivos.

Pensando nos espaços coletivos da escola, Kowaltowski (2001) e Paes (2016) valorizam a presença da vegetação não só para o conforto térmico, mas também como um elemento pedagógico e de humanização da arquitetura. Nas pesquisas realizadas por essas autoras, foram identificadas situações desconfortáveis e um desprezo na elaboração, uso e manutenção desses espaços. Diante disso, Kowaltowski (2001)

sugere, para as áreas livres da escola, um projeto paisagístico de fácil manutenção com horta e protegido da canalização de ventos e da insolação excessiva, principalmente, à tarde.

Souza et al. (2018), coletaram, em agosto de 2017, dados climáticos (temperatura do ar, temperatura das superfícies e umidade do ar) das 7:00 às 18:00h, em ambientes escolares (salas de aula, pátios e áreas arborizadas). As autoras compararam áreas arborizadas e áreas não arborizadas em quatro escolas públicas localizadas na área urbana de uma cidade com clima semiárido. Elas chamam atenção à baixa umidade registrada nas quatro escolas, com dados classificados como não recomendados à saúde humana pela OMS (Organização Mundial da Saúde) e destacam a contribuição da arborização na atenuação da incidência da radiação solar ao verificar melhores resultados nos locais onde havia arborização, porém perceberam que a variação da temperatura do ar e da umidade do ar também pode estar relacionada com a grande quantidade de alunos e aos materiais construtivos observados nas escolas, uma vez que as instituições avaliadas tinham características físicas e estruturais diferentes.

2.3.1.3 Materiais utilizados nas edificações

Os materiais da construção civil apresentam comportamentos térmicos de acordo com suas propriedades térmicas relacionadas à absorção, reflexão, retenção e transmissão de calor (LAMBERTS et al., 2014), por isso a escolha dos materiais utilizados no exterior e no interior da edificação influencia no conforto térmico.

Mascaró (1985), explica a diferença do intercâmbio térmico em ambientes quentes e secos e quentes e úmidos, evidenciando a presença das nuvens no clima quente e úmido como fator de redução da incidência da radiação solar direta. De acordo com a autora, no clima quente e seco, onde predomina o céu claro com poucas nuvens, a radiação solar atinge diretamente, especialmente sobre a cobertura das edificações que estão expostas a incidência máxima da radiação solar ao meio-dia. Por causa dessa exposição da cobertura ao sol, a autora afirma que os edifícios térreos são os que recebem maior carga térmica, independente do clima, e sugere, para a cobertura, a diminuição da transmissão de calor do exterior para o interior.

A definição dos materiais, nos climas quentes, considera, portanto, a necessidade de minimizar a radiação solar, isolando o calor que é transmitido por:

condução (contato entre sólidos); convecção (calor transferido entre sólido e um fluido em movimento); radiação (através de ondas eletromagnéticas) e evaporação ou transpiração (através da mudança do estado líquido para o gasoso).

Os materiais condutores transmitem calor mais facilmente do que os materiais isolantes (cortiça, isopor, lã de vidro, concreto celular, entre outros materiais de baixa densidade e porosos), que retém o ar parado nos poros e por isso tem baixa condutividade térmica (LAMBERTS et al., 2014).

Corbella e Coner (2017), afirmam que o ar imóvel é o melhor isolante, por isso materiais que contém ar ou espaços pequenos, com limites dificultando a convecção do ar, são considerados bons isolantes térmicos.

Antes de transmitir calor, o material pode reter parte desse calor que, posteriormente, poderá ser liberado. Lamberts et al. (2014), esclarecem que essa capacidade de armazenar calor e atrasar a sua transmissão, caracteriza um material com alta inércia térmica e proporciona um amortecimento benéfico em regiões de clima quente e seco, onde a variação das temperaturas diurnas e noturnas é maior, porém, os autores comentam que essa estratégia de alta inércia térmica em componentes de coberturas e paredes a oeste, não garante resultado positivo, devido à grande incidência solar nas superfícies com essa orientação.

Os materiais da construção civil podem ser classificados quanto à sua função em: materiais estruturais; materiais de vedação e materiais de revestimento. O material estrutural mais utilizado, atualmente, é o concreto armado presente em lajes, vigas e paredes, que por conter ferro em seu interior, tem alta condutividade térmica (CORBELLA; CONER, 2017). O material de vedação mais comum é o tijolo furado de barro cozido que, segundo Corbella e Coner (2017), apresenta resistência térmica maior que os tijolos maciços, por conter ar em seu interior.

Para a escolha dos materiais das paredes externas, assim como da cobertura de um edifício, deve-se considerar o fato de estarem em contato direto com as intempéries, e as suas propriedades de absorção solar (α), de atraso térmico (Φ) e da transmitância térmica (U). Algumas indicações sobre essas informações são fornecidas nas normas da ABNT (NBR 15220, 2005; NBR 15575, 2013 e no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R, Instituto, 2010), que segundo Marques (2013), por serem baseadas em normas internacionais europeias ou norte-americanas, podem não ser

adequadas para o caso brasileiro. Além disso, essa autora destaca algumas divergências entre os valores de transmitância recomendados nas três normas.

A climatização pode tornar a escolha dos materiais ainda mais difícil, porque se a energia térmica proveniente do seu entorno entrar no interior da edificação, aumentará a potência e o custo do sistema de ar-condicionado. Para resolver essa situação, Corbella e Coner (2017), recomendam que as paredes externas e o forro no interior de salas climatizadas tenham materiais isolantes, com o objetivo de diminuir a passagem de calor que vem do exterior.

Por outro lado, Roriz et al. (2009), advertem que o alto isolamento de um material nem sempre é favorável ao conforto térmico, porque o isolamento restringe as perdas do calor produzido no interior da edificação. Diante desse dilema e do alto custo do isolamento térmico, esses autores indicam aliar a boa orientação com baixa absorvância, inércia, sombreamento e baixo isolamento. Além dessa sugestão, eles incentivam a revisão das normas técnicas brasileiras sobre o comportamento térmico de edificações.

Em vista disso, entende-se que utilizar materiais isolantes em uma sala de aula com número elevado de ocupantes, com equipamentos tecnológicos dissipando radiação e com ganhos solares através de vidros, pode atrapalhar mais do que ajudar no conforto térmico. Contribuindo com essa compreensão, Pereira e Ghisi (2011) destacam a ocupação dos espaços como fator a ser considerado, juntamente com as propriedades da envolvente, contudo, esses autores constataram que a inércia térmica contribui mais para o desconforto térmico do que a transmitância térmica.

Outro aspecto a ser bem definido são os fechamentos transparentes utilizados nas aberturas, pois os materiais translúcidos, diferentes dos materiais opacos, permitem uma transmissão mais direta para o ambiente interior. Diante disso, Lamberts et al. (2014), sugerem, sobretudo, o controle da radiação solar (luz natural e calor solar) através de tratamentos para aumentar a reflexão, reduzir a absorção e diminuir a transmissividade do vidro. Dessa forma, Corbella e Coner (2017) e Lamberts et al. (2014), comparam os vidros utilizados nas construções, relacionando cada tipo com seu comportamento térmico. O quadro 6 apresenta alguns dessas observações.

Quadro 7: Comportamento térmico dos vidros

| Tipo de vidro | Comportamento térmico |
|------------------------|---|
| Simple | Transmite a radiação solar quase inteiramente. Com o acúmulo do calor no interior, causa o efeito estufa. |
| Temperado | São menos transparentes por ter cor |
| Laminado | Depende das propriedades óticas das películas |
| Refletivo ou espelhado | Reflete a radiação solar e reduz o ingresso de calor |
| Duplo | Varia conforme a espessura da camada de ar entre os vidros |
| Duplo refletivo | Reflete a radiação solar |
| Aramado | Absorve muita radiação solar por causa de uma malha metálica em seu interior para evitar quebra |

Fonte: Baseado em Corbella e Coner (2017) e Lamberts et al. (2014)

Apesar da vantagem do controle da radiação solar, Lamberts *et al.* (2014), advertem que vidros com tratamentos, geralmente, bloqueiam a luz natural, escurecendo o ambiente interior e induzindo ao uso da iluminação artificial ou ao aumento da área de abertura. Já o vidro simples tem a vantagem de permitir boa visibilidade, mas não é por esse motivo que ele é o mais empregado nas edificações brasileiras. Segundo os autores supracitados, o uso do vidro simples está relacionado ao baixo custo e disponibilidade no mercado.

Para avaliar o comportamento dos materiais, alguns autores como Roriz et al. (2009), utilizam a simulação computacional com comparações entre a temperatura externa e a temperatura interna dos ambientes de maior permanência, para os dias típicos de verão e inverno, baseados na norma que fornece dados climáticos e de localização geográfica de algumas cidades brasileiras.

Silva (2016), desenvolveu um método e aplicou em um estudo para verificar os resultados numa edificação residencial unifamiliar. O método permite avaliar o desempenho térmico e energético de edificações, aplicando análise de incertezas e sensibilidade em simulações computacionais no programa Energy Plus. Ele determinou alternativas de desempenho térmico e energético para as edificações baseando-se no clima subtropical úmido de Florianópolis, na geometria solar, nas propriedades térmicas de todos os materiais da residência analisada e ainda na parte mecânica e elétrica de cada equipamento. Quanto às dificuldades, esse autor destaca a ausência de dados sobre as propriedades físicas dos materiais.

2.3.1.4 Aberturas das edificações

As aberturas de uma edificação (janelas, portas, elementos vazados e aberturas zenitais) permitem a visão para o exterior e a entrada da luz natural, da ventilação e dos ruídos. Dependendo das características do lugar e das atividades a serem desenvolvidas no ambiente, a entrada do calor proveniente da radiação solar, dos ventos, da iluminação natural e do som externo, pode causar conflitos. Em sala de aula, por exemplo, a entrada da luz natural pode implicar ganho de calor indesejável e ofuscamento. Por causa disso, Kowaltowski (2001), afirma que a maior parte dos ambientes escolares usa a iluminação natural de forma combinada com a iluminação artificial.

Pensando na otimização da eficiência energética, Ghisi et al. (2005), evidenciaram a preocupação com o correto dimensionamento da área de janela, sobretudo, quando existe essa integração da iluminação natural com a artificial, uma vez que as lâmpadas liberam energia térmica, se constituindo fonte de calor no interior da edificação.

Cintra (2011), investigou, por meio de simulações, a área de abertura e a profundidade máxima dos ambientes para que haja iluminação adequada com luz natural, sem excesso de incidência de carga térmica, considerando a presença ou não de sombreamento nas aberturas. Segundo essa autora, as normas, os manuais e os códigos de obras de edificações não consideram as características arquitetônicas e as características locais (condição do céu, posição do sol, latitude, época do ano, horário, entre outras) que influenciam nas condições de iluminação natural e artificial apropriadas ao contexto climático.

O sombreamento da abertura por dispositivos de proteção fixos ou móveis, como os brises, bloqueia a radiação direta, melhora o aproveitamento da luz natural e evita o ofuscamento. Corbella e Yannas (2009), observaram o uso de quebra-sol na fachada norte e a pouca proteção na fachada sul no edifício sede do Ministério da Educação e Saúde, e apontaram para a importância do controle solar em todas as orientações, inclusive para baixar a carga de ar-condicionado. Em contrapartida, esses autores advertem que os elementos verticais e/ou horizontais oblíquos para controle solar projetados em concreto, por causa da grande espessura desses elementos, prejudica a iluminação natural. Esses autores destacam as varandas como

outra alternativa positiva, criando um ambiente intermediário sombreado protegendo da radiação solar sem prejudicar a ventilação.

Lamberts et al. (2014), atentam para o uso de outros elementos arquitetônicos como: marquises, grandes beirais, vegetação e a própria volumetria do edifício com saliência ou reentrância criando sombras.

Quanto a eficiência dos brises, Gutierrez (2004), estudou três tipologias de brises e verificou bons resultados, quanto à proteção solar, na tipologia horizontal, piores resultados na tipologia vertical fixa e uma melhor eficiência térmica no brise-soleil combinado e no elemento vazado devido ao sombreamento mais abrangente, porém o melhor sombreamento apresenta desvantagem ao reduzir muito a luz natural, enquanto que os brises verticais facilitam a iluminação, a circulação de ar e a perda de calor por diferença de temperatura.

Além do dimensionamento e da proteção solar, outro aspecto abordado é o posicionamento das aberturas que influencia na ventilação natural, uma vez que o ar entra e se distribui nos compartimentos, de acordo com a distribuição das pressões nas fachadas que varia conforme velocidade, frequência e direção dos ventos (COBERLLA; CONER, 2017).

Para Mascaró (1985), a ventilação cruzada é necessária, sobretudo, no clima quente e úmido, uma vez que a maior quantidade de água no ar, associada ao ganho térmico, tende a causar desconforto, e os ventos que vem de fora e entram na edificação pelas aberturas ajudam a renovar o ar e evaporar o suor. Contudo, a mesma autora alerta que essa renovação do ar, também chamada de ventilação higiênica, ajuda a manter a qualidade do ar e por isso deve ser produzida acima do usuário, para evitar desconforto, considerando as circunstâncias e necessidades de cada clima.

A tipologia das aberturas é outra observação considerada nas implicações quanto à ventilação. Sobre a diversidade de tipologias existentes, Mascaró (1985), classifica em três tipos básicos: aberturas simples (de correr vertical ou horizontal); pivotante horizontal e pivotante vertical. As primeiras possibilitam 50% de aproveitamento da área da esquadria para ventilação, enquanto as pivotantes aproveitam mais a ventilação, quanto maior for o ângulo de abertura.

Corbella e Yannas (2009), apresentam a Escola EPG Jardim Ipê, em São Bernardo do Campo - SP, como um exemplo positivo, com um grande espaço central

destinado a recreio e jogos, com pé-direito duplo e enormes *sheds*¹² protegidos com anteparos, o que permite uma iluminação zenital¹³ sem a excessiva entrada da radiação solar direta.

2.4 A arquitetura das escolas brasileiras e as condições de conforto térmico

A fim de compreender e examinar criticamente a arquitetura das escolas brasileiras, buscou-se algumas reflexões sobre a organização do espaço escolar no Brasil, procurando apreender o que a literatura apresenta sobre as condições térmicas dos ambientes destinados ao ensino. Essa discussão não se restringe ao ambiente físico, aborda também aspectos da pedagogia, da história e de políticas públicas.

Baltar (1999), Elali (2002), Azevedo (2002), Bencostta (2005), Kowaltowski (2011) e Souza (2018), afirmam que ao longo do século XIX, as escolas não ocupavam um lugar próprio, estavam anexadas a outros espaços residenciais, comerciais ou religiosos.

Kowaltowski (2011), fundamentada em Buffa e Pinto (2002), apontou condições desfavoráveis de conforto nesses ambientes adaptados, pela falta de organização, e porque, muitas vezes, funcionavam em salas pouco ventiladas e pouco iluminadas. Buffa (2015), também, denunciou a situação precária dessas escolas em prédios alugados, que perdurou por muitas décadas (dos séculos XIX e XX) sem condições higiênicas adequadas.

Esses autores afirmam que as construções das escolas brasileiras se iniciam, na segunda metade do século XIX, a partir das demandas existentes na cidade industrial, quando o Estado rompe com a supremacia da Igreja na educação e assume a responsabilidade das instituições de ensino, visando o treinamento da população para suprir a demanda do mercado por mão de obra qualificada. A partir desse momento, Azevedo (2002), destaca que a escola passa a ser vista como um equipamento social essencial, com a necessidade de construção de prédios específicos destinados ao ensino formalizado.

Houve o reconhecimento da necessidade de a escola funcionar em um prédio que tivesse condições higiênicas adequadas. Kowaltowski (2011), afirma que nos

¹² *Sheds* são elementos utilizados na cobertura com aberturas que funcionam para acrescentar iluminação e ventilação natural nos ambientes internos.

¹³ Iluminação zenital trata-se do aproveitamento da luz natural através de aberturas localizadas na cobertura de uma edificação.

primeiros anos da República foram realizadas as construções das primeiras escolas: as escolas normais e os grupos escolares. Paralelamente, iniciou-se também a organização do serviço de inspeção das escolas adaptadas. Mesmo assim, segundo Chahin (2018), a maioria das escolas funcionava em precárias instalações alugadas, improvisadas, sem mobiliário e equipamentos adequados ao desenvolvimento das atividades pedagógicas.

A respeito das primeiras escolas brasileiras, Elali (2002) e Kowaltowski (2011) destacam que eram inspiradas em modelos europeus, construídas com materiais importados e com mão de obra de imigrantes, exemplos de uma arquitetura voltada para as elites do país, com imponência e implantadas em locais privilegiados, em áreas centrais, próximo a praças, como referência à expressão de poder e da nova ordem política. Segundo as autoras, o programa arquitetônico era composto apenas por salas de aula e ambientes administrativos com separação por idade e sexo, podendo contar também com biblioteca, anfiteatros e laboratórios.

Ainda sobre as primeiras construções escolares, Silva (2012), apontou que as salas de aula amplas e com janelas grandes permitiam boa iluminação e ventilação, contudo esse autor criticou a escala monumental das portas e janelas, pois não estava de acordo com o tamanho das crianças. Com outro ponto de vista, Segawa (1999) afirmou que as janelas dessas escolas não proporcionavam conforto ambiental interno, pelo fato de que as edificações não eram bem orientadas quanto à insolação e ventilação.

Quanto às áreas de circulação das primeiras escolas, Wolff (1993), destaca que eram pouco ventiladas e mal iluminadas, funcionando em prédios dos grupos escolares, de volume compacto com um longo corredor central. Para proporcionar mais ventilação e claridade aos corredores, Baltar (1999), evidenciou o pátio interno escolar como uma importante inovação construtiva do século XIX.

No século XX, a escola tenta afirmar-se como uma instituição central na sociedade (SILVA, 2012). As pesquisas de Buffa (2015), Elali (2002) e Kowaltowski (2011) revelam mudanças paradigmáticas no início da modernidade (década de 1930), tanto na educação como na arquitetura das escolas dos grandes centros. Segundo essas pesquisas, na educação, tais mudanças refletiram-se na adoção do modelo da Escola Nova ou Educação Nova que defendia a universalização da escola pública, laica e gratuita, com a necessidade de dar atenção à criança como protagonista do processo de ensino-aprendizagem e opondo-se as práticas

autoritárias da escola tradicional. Na arquitetura, as mudanças nos edifícios seguem os preceitos modernos: formas geométricas simples (sem ornamentos), uso de concreto armado, estrutura independente da vedação, pátios internos sob pilotis e grandes aberturas envidraçadas (BUFFA, 2015).

A partir desse momento, o projeto arquitetônico acrescenta diferentes volumes para distintas funções. Chahin (2018, p.59-60), afirma que “as escolas deixavam de ser volumes compactos, organizados em sequências de salas estruturadas por corredores para receber auditórios, instalações esportivas, laboratórios e oficinas com equipamentos”. Segundo essa autora, os novos entendimentos de saúde e higiene influenciaram a abertura para o ambiente exterior, uma vez que a aproximação com a natureza traz ar fresco ao espaço interno e promove a circulação do ar.

Chahin (2018), ressalta, também, que além da melhora nas condições ambientais, a ideia de abrir escolas para áreas verdes envolvia também as preocupações pedagógicas, pois ecoava na defesa do uso de espaços ao ar livre, de modo a possibilitar à criança a observação direta do meio ambiente.

Nesse contexto, segundo Kowaltowski (2011), Anísio Teixeira, como administrador público, apoiando-se nas experiências norte americanas com as escolas comunitárias num conceito de convívio com a comunidade, propôs o programa da escola-parque de tempo integral, onde funcionavam as atividades complementares da sala de aula: práticas corporais; sociais; artísticas e profissionalizantes. Essa proposta já havia sido feita no Rio de Janeiro, também por Anísio Teixeira, mas foi concretizada apenas no Centro Educacional Carneiro Ribeiro em Salvador, numa região carente de infraestrutura (DÓREA, 2003).

No sul do Brasil foi inaugurado, na década de 1950, um “exemplo” de escola com grandes espaços para práticas esportivas - o Colégio Estadual do Paraná. Bencostta e Correia (2011), analisaram a arquitetura moderna dessa escola, divulgada como símbolo de progresso da cidade de Curitiba. Para esses autores, apesar do discurso de modernização e progresso, esse colégio foi projetado apenas para a educação da elite, pois não alcançou de forma proporcional as demais escolas do Estado do Paraná.

No que diz respeito ao tamanho das escolas e das salas de aula, Kowaltowski et al. (2011), consideram como um assunto polêmico na pedagogia, pois a escola grande oferece um programa mais rico e diversificado, enquanto a escola pequena, favorece maiores oportunidades aos alunos em ações práticas.

Pensando na prevenção de doenças, Chahin (2018), baseada em Moser (1933), destaca que as unidades escolares menores, com poucas salas de aula distantes umas das outras, são mais adequadas, o que contraria as grandes dimensões tão valorizadas nas escolas “modelo de progresso”.

Com relação as preocupações higienistas devido as epidemias existentes, Souza (2018), atribuiu ao movimento do Estado Novo e a criação do Ministério da Educação e Saúde, a possibilidade de novos conhecimentos sobre iluminação, ventilação e instalações sanitárias. O mesmo autor destaca a incorporação dos gabinetes dentários e médicos no projeto da escola.

No que diz respeito ao edifício sede do Ministério da Educação e Saúde, Elali (2002), destacou a importância dele como marco da arquitetura mundial e desenvolvimento de uma forte influência europeia. Corbella e Yannas (2003), afirmam que essa edificação é um dos primeiros exemplos de utilização de proteção solar do modernismo brasileiro, os chamados brises-soleis (verticais e horizontais) que foram utilizados na fachada norte dessa edificação para captar a ventilação natural, dar privacidade visual e controlar/filtrar a radiação solar.

Laar (2001), destaca que, embora essa edificação funcione sem ar-condicionado e seus usuários demonstrem satisfação com a temperatura, as lâmpadas estão sempre acesas. Além disso, o lado sul desse edifício, também composto por um grande plano de vidro, influência do “estilo internacional” da arquitetura modernista, não recebeu proteção solar.

Corbella e Yannas (2003), por meio de medições de temperatura e simulações computacionais, verificaram o aquecimento solar perto da fachada sul, em manhãs de verão, e confirmaram a necessidade dessa fachada ter sido protegida do sol, tanto quanto a fachada norte.

Figura 4: Edifício sede do Ministério de Educação e Saúde – Rio de Janeiro, RJ. À esquerda, vista da fachada norte, à direita, vista da fachada sul. Projeto: Lúcio Costa e equipe, 1937

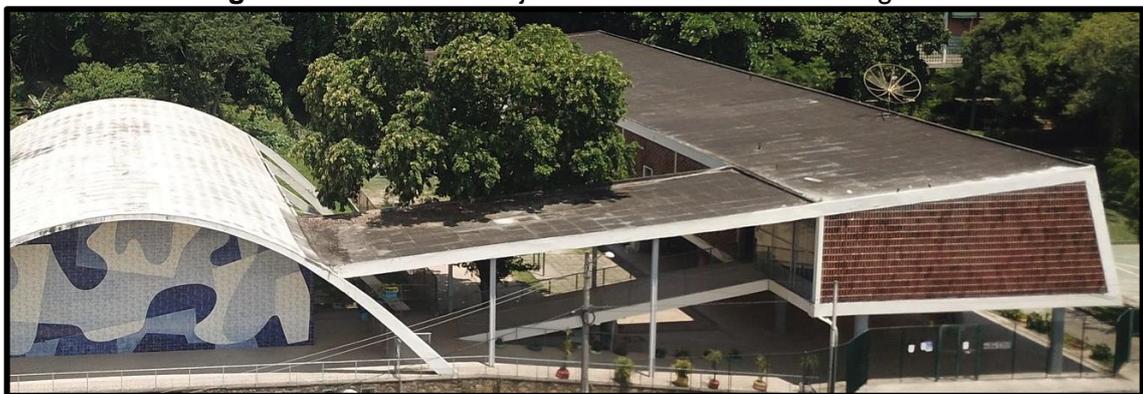


Fonte: www.archdaily.com.br

Partindo da premissa de que os princípios da arquitetura moderna serviram de base e repercutiram no contexto brasileiro, as construções de escolas, a partir dos anos 40, incorporaram os elementos modernistas.

Nesse contexto e na busca por adaptações ao clima tropical, Elali (2002), baseada em Silva (1988), destaca a contribuição nordestina com uma solução chamada de cobogó, elemento vazado, a princípio de cimento, usado como proteção solar em substituição ao brise-soleil, por ter um custo baixo e ser viável para produção em série. A escola construída, em 1947, no conjunto habitacional do Pedregulho, no Rio de Janeiro, é um exemplo do uso do cobogó de cerâmica e dos preceitos do estilo internacional preconizados pela arquitetura moderna.

Figura 5: Escola do conjunto habitacional do Pedregulho



Fonte: <https://www.flickr.com/photos/riotur/50122923437>

Paulert (2012), destaca a relação do brise-soleil e do cobogó com os muxarabis da arquitetura islâmica, muito utilizados na arquitetura colonial portuguesa e brasileira. A mesma autora afirma que diversos arquitetos modernistas e contemporâneos exploraram a disposição criativa de cobogós, em diferentes tipologias de edificações, na busca por adequações bioclimáticas, no Brasil e no mundo.

No âmbito dessa problemática sobre a adaptabilidade da arquitetura às condições locais, os estudos apontam que o planejamento e a construção dos prédios públicos escolares não levaram em consideração as particularidades climáticas de cada região do país. A industrialização e a urbanização acelerada aumentaram a necessidade quantitativa das escolas e visando diminuir os gastos públicos, nas décadas de 1960 e 1970, iniciou-se a utilização de elementos pré-fabricados e evidenciou-se uma maior racionalização construtiva no setor da educação que, segundo Kowaltowski (2011), condicionavam os arquitetos a seguirem manuais e normas num sistema de padronização com definição de dimensões, técnicas construtivas e materiais.

Para Kowaltowski (2011) e Elali (2002), a padronização e as normas impostas pelos órgãos públicos procuravam atender a funcionalidade e a racionalidade construtiva e econômica, sem a preocupação com os fatores climáticos e as situações locais específicas. Essas autoras afirmam que os manuais priorizam o aspecto dimensional de ambientes escolares e nem sempre se baseiam em pesquisas científicas.

Marçal (2016), atenta para o fato de que esses manuais até sintetizam recomendações em relação ao conforto térmico, com o objetivo de reduzir a radiação solar direta nas salas de aula, porém evidencia que não consideram os diferentes contextos climáticos. Além disso, nesses manuais, não há considerações técnicas sobre a organização de ambientes externos confortáveis, o que revela a falta de planejamento e a desvalorização dos espaços abertos para convivência social.

Com um olhar para a educação, Buffa (2015), afirma que essas definições estabelecidas para o projeto do edifício escolar priorizou os aspectos funcionais e econômicos, deixando de lado o diálogo entre educadores e arquitetos. Para ela, a construção das edificações escolares brasileiras sempre aconteceu em número insuficiente, com medidas paliativas que desvalorizavam o ensino.

Sobre a padronização das edificações escolares consolidada nas décadas de 1980 e 1990, é oportuna a colocação de Kowaltowski (2011), quando afirma que a

utilização dos projetos padrão permite o reconhecimento da tipologia construtiva e a identificação de um determinado momento político, funcionando como um símbolo de gestão, geralmente, desvinculado das preocupações pedagógicas. Essa mesma autora também critica a padronização de projetos por não considerar as características locais (formato do lote, topografia, orientação solar, ventos dominantes, condições geológicas, presença de poluição sonora, entre outras peculiaridades).

O Centro Integrado de Apoio à Criança (CIAC) e o Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) são exemplos dessa organização escolar padronizada com um projeto pedagógico único. O CIAC, também conhecido por CAIC, com seu sistema racional em peças pré-moldadas de argamassa armada foi, segundo Elali (2002), baseado em Lima (1999), disseminado por todo o país pela tipologia construtiva econômica, facilidade de montagem, uso de elementos para promover a ventilação cruzada e adaptação das peças às diferentes condições de terreno. Porém, Kowaltowski (2011), chama atenção quanto à dificuldade de manutenção dessas peças e das complicações na ampliação dos espaços por causa da técnica construtiva não convencional.

Costa (2009), ao realizar uma análise climática de três instituições de ensino do programa nacional CAIC implantadas em localidades distintas na cidade de Maceió, verificou aspectos desfavoráveis quanto a utilização de recursos naturais de ventilação e iluminação e apontou que as unidades estudadas poderiam ter apresentado melhor desempenho se tivessem sido implantadas com a adequada orientação em relação ao sol e ventos e se observado, em cada caso, o entorno próximo.

Diante do exposto e em consonância com Bencostta (2001, p. 106), é possível perceber, ao longo da história, que o investimento do estado na escola pública brasileira “[...] não correspondeu às expectativas de um discurso que propunha a restauração da sociedade por meio da educação”. Para esse autor, a construção de estabelecimentos de ensino no país, é mais uma estratégia de visibilidade conveniente aos cofres do estado, pelo retorno econômico, do que ação que democratize a escola.

Gonçalves (1996), argumenta que existe um duplo interesse: habilitar as pessoas para uma atividade lucrativa e manter a hegemonia com pessoas passíveis de serem dominadas. Foi neste duplo interesse e diante da escassez de prédios

escolares que o estado assumiu a responsabilidade das instituições de ensino para atender as empresas privadas que precisavam de trabalhadores qualificados e minimamente instruídos.

A finalidade das escolas não é, de fato, desenvolver o conhecimento que liberta ou formar cidadãos conscientes. Para o estado, o principal objetivo é suprir a necessidade do mercado de trabalho. Gonçalves (1996), aponta a semelhança da forma e composição da escola com as fábricas e sua padronização, racionalização e reprodução em série.

Por outro lado, destaca-se, de forma sábia, a atuação de educadores, como Anísio Teixeira, Darcy Ribeiro e Paulo Freire, citados como figuras importantes da educação pública brasileira do século XX. Esses pedagogos foram importantes ao implementarem reformas e medidas educacionais que valorizaram o planejamento das edificações escolares, quantitativamente e qualitativamente, com propostas que priorizaram a participação dos estudantes em espaços flexíveis que permitam a interação social, a organização política, o debate de ideias, as reflexões, as soluções e o diálogo.

Situando-se em meio a esse dilema, Kowaltowski (2011, p. 65), aponta que a arquitetura escolar, na história, teve duas tendências dialéticas: de um lado, o desejo de controle e disciplina com salas de aula ordenadas, e do outro lado, a valorização da criatividade, dos espaços externos, dos jardins, das reuniões sociais e das artes. Esse primeiro direcionamento foi explicado por Foucault (2013), como espaço que facilita a vigilância dos usuários de forma a consagrar a hierarquia. Enquanto as teorias pedagógicas se baseiam no pensamento reformador das metodologias tradicionais utilizadas em sala de aula, com o objetivo de priorizar um ensino interdisciplinar (COSTA, 2017).

Existe, portanto, um modelo de desenvolvimento que investe em algumas unidades do sistema de ensino impondo restrições econômicas à arquitetura escolar (com controle e disciplina), e existe uma influência pedagógica que valoriza a educação pública, busca mais e melhores espaços de ensino e aprendizagem, com espaços flexíveis para encontros sociais e atividades artísticas, bem como a integração com a natureza.

Apesar dos esforços, a influência pedagógica positiva na valorização da educação não impediu a precária expansão da rede física escolar brasileira, isso porque as contribuições desses educadores vocacionados não são devidamente

reconhecidas no Brasil. Sendo assim, as construções de escolas brasileiras são limitadas aos espaços fechados e a presença da natureza na escola não é incentivada (GONÇALVES, 1996). O estado desenvolve, portanto, uma arquitetura escolar simplificada, com formas padronizadas, seguindo uma restrição ao investimento público.

Para Wolff (1992), o investimento na arquitetura escolar, além de recente, ocorreu de forma desigual em cada estado, e sempre baseado em um ideal de um único modelo de arquitetura escolar, repetido em várias localidades a um mínimo custo.

Soares Neto et al. (2013), constataram a deficiência qualitativa e numérica de prédios escolares situados no Brasil. Eles avaliaram, com base no Censo Escolar de 2011, a infraestrutura escolar no cenário nacional, e ressaltaram as desigualdades de infraestrutura existentes entre as escolas. Verificaram a existência de 24 itens em escolas públicas brasileiras e classificaram as escolas em quatro níveis: elementar; básico; adequado e avançado. Das unidades do Nordeste, 65% foram consideradas no nível elementar, o mais precário. No Sudeste, Sul e Centro-Oeste, o maior percentual de escolas está no nível básico. Em todas as regiões a taxa de colégios públicos classificados como de infraestrutura avançada não excede os 2%. Outro fato apresentado é o das grandes diferenças existentes entre as escolas federais e estaduais em relação às municipais. Faltam investimentos nessa área social e os mecanismos da desigualdade de oportunidades contam com o apoio do poder “público”.

Gonçalves (1996), estudou as relações entre arquitetura escolar e as políticas públicas de educação no Brasil e afirmou que a situação da rede física escolar brasileira é resultado de um determinado modelo de desenvolvimento econômico, social e político, onde, em nome da economia, as soluções arquitetônicas são comprometidas, mesmo diante do avanço da tecnologia e do conhecimento na arquitetura.

Diante do exposto, pode-se considerar, sobre as condições de conforto térmico dos ambientes destinados ao ensino no Brasil, que a literatura apresenta alguns cuidados quanto aos aspectos de iluminação e ventilação (WOLFF, 1993; SEGAWA, 1999; BALTAR, 1999; SILVA, 2012). A insolação também passou a ser considerada na arquitetura moderna, com o uso de elementos para proteção solar como estratégia de adaptação bioclimática (CORBELLA; YANNAS, 2003; BUFFA,

2015). Contudo, a baixa umidade característica da região do semiárido é menos estudada e compreendida nas edificações escolares, demonstrando uma certa invisibilidade dessa área do país.

2.4.1 Estudos sobre conforto térmico na arquitetura escolar do século XXI

Kowaltowski (2011), afirma que, atualmente, muitos trabalhos discutem as questões arquitetônicas dos edifícios escolares no Brasil, pela conexão com as pedagogias ou pelas soluções de conforto ambiental (térmico, luminoso e acústico).

Quanto as pesquisas voltadas, especificamente, ao conforto térmico em salas de aula, Zomorodian et al. (2016), analisaram 48 artigos de 1969 a 2015 e constataram que a partir de 2000 um número maior de pesquisas sobre esse tema em escolas vem sendo publicado no mundo, mas alertam para a necessidade de mais estudos sobre a satisfação do usuário no ambiente construído, considerando as características arquitetônicas dos edifícios escolares.

Perillo (2017), realizou o Mapeamento Sistemático da Literatura (SMS) e a Revisão Sistemática da Literatura (SLR) encontrada em bases de dados internacionais: *Science Direct*, *Scopus* e *Engineer Village*, consideradas, por ele, de relevância para a área analisada. Esse autor, apesar de ter verificado muitos estudos realizados em países em desenvolvimento, sobretudo no sudoeste asiático, identificou poucos estudos realizados no Brasil e nenhuma avaliação em clima quente e seco.

Medeiros (2019), também realizou revisão de 32 artigos sobre conforto térmico em ambientes escolares, publicados no Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) entre 2000 e 2017, e observou diferentes ferramentas de análise, como PMB/PPD; Monitoramento; Modelo adaptativo; Índice PET; Índice de conforto e simulação computacional, destacando a introdução da simulação computacional a partir da década de 2010.

Zomorodian et al. (2016), realizaram revisão de literatura sobre conforto térmico em salas de aula e verificaram a necessidade de investigações sobre conforto térmico em nível micro, devido a existência da disparidade de neutralidades térmicas em pesquisas realizados na mesma zona climática.

Dentre as pesquisas sobre essa temática realizadas em escolas no semiárido brasileiro, foram encontradas três dissertações (MEDEIROS, 2019; SOUZA, 2018;

OLIVEIRA, 2017) e quatro artigos (AMORIM et al., 2018; SOUZA et al., 2018; LIMA et al, 2019).

Amorim et al. (2018), Souza et al (2018) e Lima et al. (2019), encontraram índices de umidade relativa muito baixos, inferior ao valor limite de 60% recomendado pela Organização Mundial de Saúde. As três pesquisas verificaram que o período da tarde apresenta as maiores temperaturas, o que segundo Amorim et al. (2018), revela a necessidade do emprego de aparelhos condicionadores de ar para resfriamento das salas de aula no horário da tarde.

Quanto às estratégias bioclimáticas, Amorim et al. (2018), baseados nos dados coletados em salas de aula climatizadas da cidade de Cajazeiras-PB, afirmam que o sombreamento das aberturas, o emprego de massa térmica e o resfriamento evaporativo, diminuem o ganho térmico e a demanda do consumo de energia, no período da tarde, e torna desnecessário o sistema de condicionamento artificial durante o período da manhã. No entanto, nos meses de verão, esses autores verificaram um percentual de horários dentro da zona de conforto inferior a 10%, mesmo com adoção dessas estratégias bioclimáticas. Essa pesquisa verificou também que o sistema de refrigeração de ar contribui para a diminuição da umidade relativa do ar, pois foram registrados valores preocupantes, na faixa entre 12 e 30%, nos turnos da tarde e da noite, em boa parte do tempo investigado.

Medeiros (2019), avaliou as condições de conforto térmico de usuários em salas de aula com ventilação natural de duas escolas no semiárido potiguar. Ao considerar as soluções bioclimáticas do zoneamento brasileiro, esse autor observou que a escola com a maior porcentagem de horas com conforto térmico contava com as seguintes características: proteção das aberturas; pé direito de 3,50m; aumento de espessura das paredes com cerca de 40cm; laje de concreto armado com maior atraso térmico em relação ao forro de PVC utilizado na outra escola e elementos vazados na parte superior da parede permitindo exaustão de ar.

Oliveira (2017), analisou a influência das variáveis arquitetônicas no consumo de energia elétrica de três edifícios situados no Campus da Universidade Federal Rural do Semiárido, localizado em Mossoró/RN, por meio da inserção das características das edificações investigadas no programa Energy Plus, que simula o consumo de eletricidade predial ao longo do ano, com testes de parâmetros por meio de modelos comparativos. Com isso, o autor verificou a maior influência dos elementos de envoltória no consumo anual de eletricidade de laboratórios o que,

segundo ele, pode estar associado as cargas térmicas dissipadas nos ambientes internos desse tipo de uso e ao condicionamento artificial de ar, que foi o principal responsável pela variação de consumo anual de eletricidade nas três edificações analisadas. O autor demonstrou também que o alinhamento ao norte ou ao sul das fachadas mais extensas, facilita reduzir o consumo anual de eletricidade, comparativamente as demais orientações. Observou também que a mudança do consumo de energia elétrica total ou consumo pelo condicionamento de ar, tendeu a ser menor, nos casos em que a transmitância de cobertura é inferior a $2,0\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$, e nos casos em que a transmitância das paredes externas é inferior a $3,0\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$.

Souza (2018), fez uma relação entre as variáveis microclimáticas e as sensações, percepções e preferências de usuários com histórico térmico diferentes, através de medições e aplicação de questionário em ambientes ventilados naturalmente e condicionados artificialmente, de três instituições: Universidade Federal de Campina Grande; Universidade Estadual da Paraíba e Museu de Arte Popular da Paraíba, todas na cidade de Campina Grande-PB. Essa autora identificou, nas universidades, o uso de estratégias adaptativas em busca de uma melhoria do conforto térmico, e concluiu que a alteração do espaço físico foi pouco observada nas respostas do questionário, além disso, apontou que os 583 participantes da pesquisa possuem pouco conhecimento de estratégias bioclimáticas passivas aplicadas na arquitetura.

Diante desse estado da arte, é possível compreender que a comunidade científica está se voltando para uma preocupação com a arquitetura escolar do século XXI. As pesquisas científicas de áreas multidisciplinares revelam que a busca por maiores conhecimentos, quanto ao conforto térmico no ambiente escolar, se encontra em fase de discussão, revelando o longo caminho que ainda deve ser percorrido na busca pela implementação de condutas que evitem ou mitiguem os problemas causados por edificações inadequadas ao contexto bioclimático local.

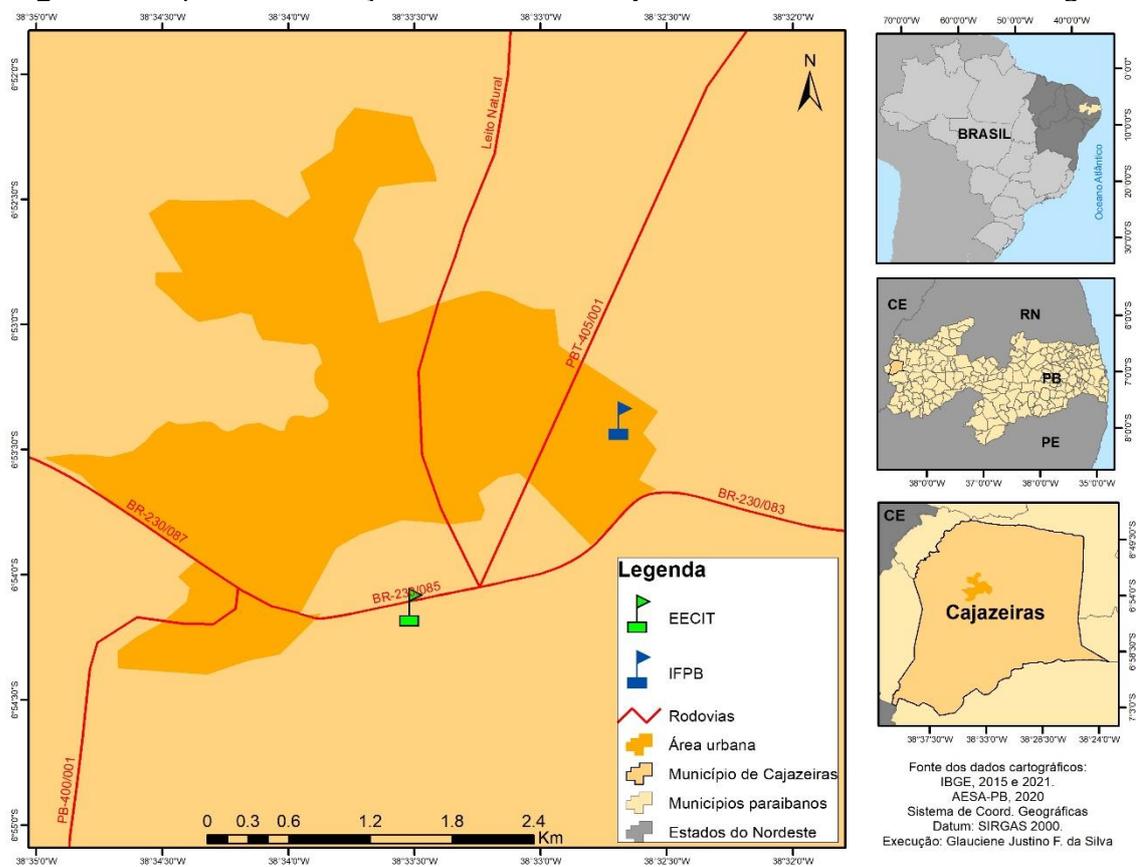
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

3.1.1 Localização e caracterização da cidade de Cajazeiras PB

Cajazeiras está localizada na mesorregião do Sertão Paraibano. Situa-se às margens da rodovia BR 230, no extremo oeste do estado da Paraíba, a 295 m de altitude em relação ao nível do mar, e limita-se com os seguintes municípios: ao Sul com São José de Piranhas; a Norte e Leste com São João do Rio do Peixe; a Sudeste com Nazarezinho; a Oeste com Cachoeira dos Índios e Bom Jesus e a noroeste com Santa Helena. A figura 6, a seguir, apresenta a localização de Cajazeiras, a delimitação da área urbana no município de Cajazeiras e a localização das duas escolas selecionadas para a pesquisa: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e a Escola Estadual Cidadã Técnica de Cajazeiras (EECIT).

Figura 6: Mapa de localização da cidade de Cajazeiras/PB e das escolas investigadas



Fonte: Elaboração da autora – 2022

Distante aproximadamente 470km de João pessoa, capital do Estado da Paraíba, possui uma localização estratégica, próxima do estado do Ceará, de Pernambuco e do Rio Grande do Norte, sendo considerado um dos principais polos econômicos da região sertaneja, e atuando como importante centro educacional.

A cidade conta com a presença de instituições de ensino público e privado nos mais diversos níveis. De acordo com o documento base do Plano Municipal de Educação (PME, 2015), aprovado em 2015, o município conta:

- Na educação infantil, com 24 escolas públicas municipais, 04 creches, sendo três municipais e uma filantrópica e 24 escolas privadas.
- No ensino fundamental, com 25 escolas públicas municipais, 16 estaduais e 24 privadas, perfazendo um total de 65 escolas do ensino fundamental.
- No ensino médio, possui 11 escolas, sendo 05 estaduais, 02 federais e 04 privadas.
- Cinco instituições de educação superior, sendo duas federais: a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), e três particulares: a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Cajazeiras (FAFIC); a Faculdade Santa Maria (FSM) e a Faculdade São Francisco da Paraíba (FASP).

Essa estrutura educacional é responsável por um importante fluxo de estudantes procedentes de outros municípios paraibanos e de outros estados, o que representa um aumento da população flutuante na cidade.

3.1.2 Caracterização climática regional

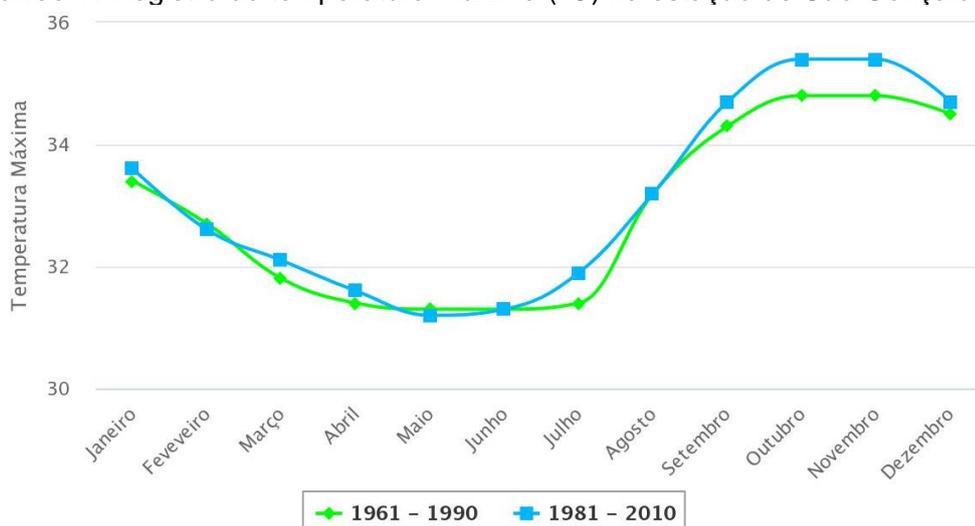
Conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), Cajazeiras está incluída na região climática tropical quente, estabelecida pelo Mapa de Clima do Brasil da Fundação IBGE, como clima semiárido, cujas características predominantes são aridez do solo, precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm e insuficiência hídrica (7 a 8 meses secos).

Para a caracterização climática da área de estudo num contexto regional, foram utilizados dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET), localizada na cidade de São Gonçalo-PB, a 35 km de Cajazeiras-PB¹⁴. Essas medições do INMET são apresentadas em dois períodos, de 1961 a 1990 e de 1981 a 2010. Também foram considerados os dados fornecidos pelo INMET no período da coleta de dados desta pesquisa. Além disso, utilizou-se os trabalhos elaborados por Souza (2013) e Romero (2013, 2015), para complementar a caracterização climática regional.

Verifica-se, através dos registros do INMET (gráfico 1), no recorte temporal entre 1981 e 2010, que a temperatura média anual varia de 25,1° C a 27,9° C, havendo máximas diárias de 34,7° C a 35,4° C nos meses mais quentes, apontados como setembro, outubro, novembro e dezembro.

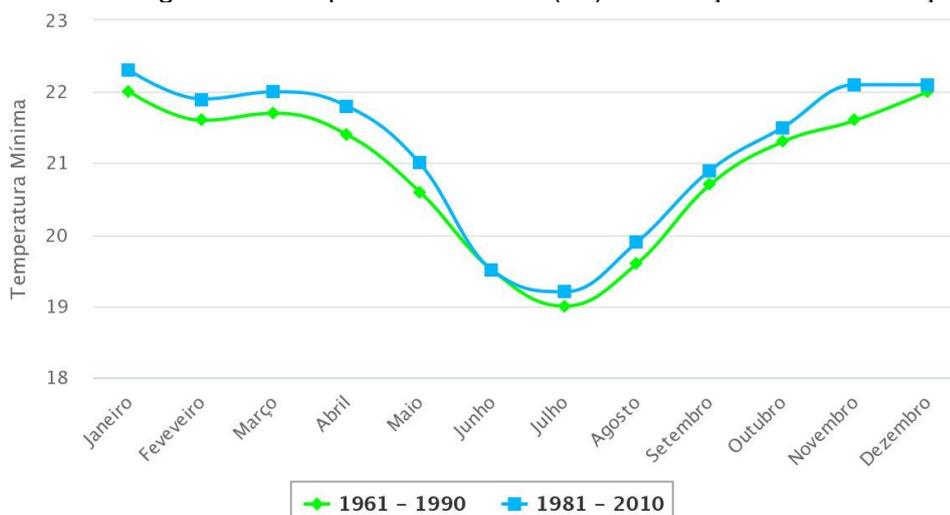
Gráfico 1: Registro de temperatura máxima (°C) na estação de São Gonçalo-PB



Fonte: INMET, 2020

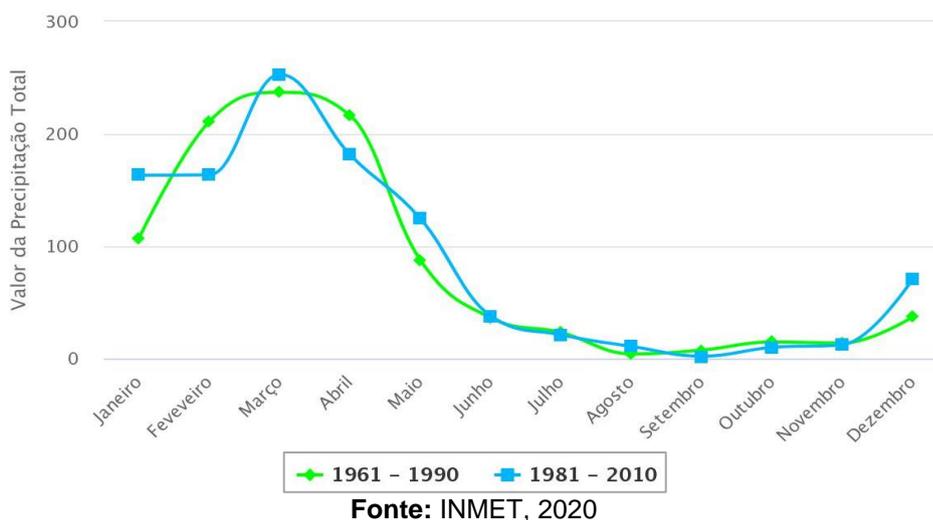
Em Cajazeiras, a temperatura mínima registrada, no período de 1981 a 2010, segundo os dados do INMET, foi de 19,2 ° C no mês de julho, no inverno, o que corresponde ao início da estação seca. Nos meses mais quentes a temperatura mínima anual chega a aproximadamente 22° C.

¹⁴ O INMET não possui estação situada na cidade de Cajazeiras-PB

Gráfico 2: Registro de temperatura mínima (°C) na estação de São Gonçalo-PB

Fonte: INMET, 2020

Quanto às precipitações pluviométricas, Souza (2013), apresenta dados com médias anuais de até 800 mm para a área de estudo, concentradas em quatro meses, entre janeiro e abril, o que revela a sua irregularidade temporal anual. As normais climatológicas mostram que a partir do mês de maio ocorre uma diminuição considerável das precipitações (ver gráfico 3).

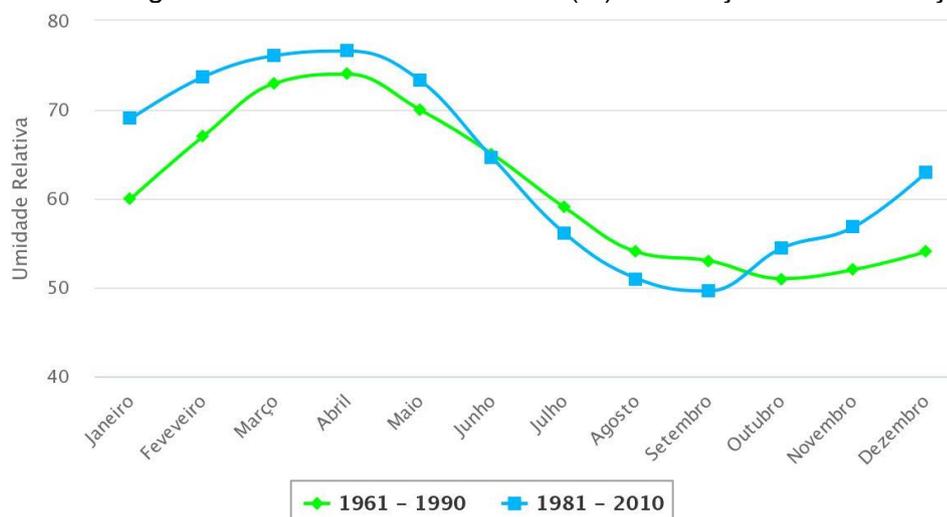
Gráfico 3: Registro de precipitação acumulada (mm) na estação de São Gonçalo-PB

Fonte: INMET, 2020

Dessa forma, baseado em Romero (2013), pode-se afirmar que a cidade de Cajazeiras, assim como outras cidades localizadas em clima semiárido, caracteriza-se pela presença de duas estações climáticas bem definidas: uma com um longo período de seca (8 meses) e a outra com um curto período de chuvas, restrito aos primeiros quatro meses do ano.

O gráfico 4 demonstra a variação brusca da curva de umidade relativa do ar, com picos de 75% para os meses do período chuvoso, e decréscimo no meio do ano, chegando a uma umidade relativa abaixo de 50%.

Gráfico 4: Registro de umidade relativa do ar (%) na estação de São Gonçalo-PB



Fonte: INMET, 2020

Os dados sobre a ventilação predominante, no recorte temporal entre 1981 e 2010, indicam orientação dos ventos nos sentidos nordeste, leste e sudeste, mas com predominância na orientação leste e sudeste, conforme pode ser visto na tabela 1.

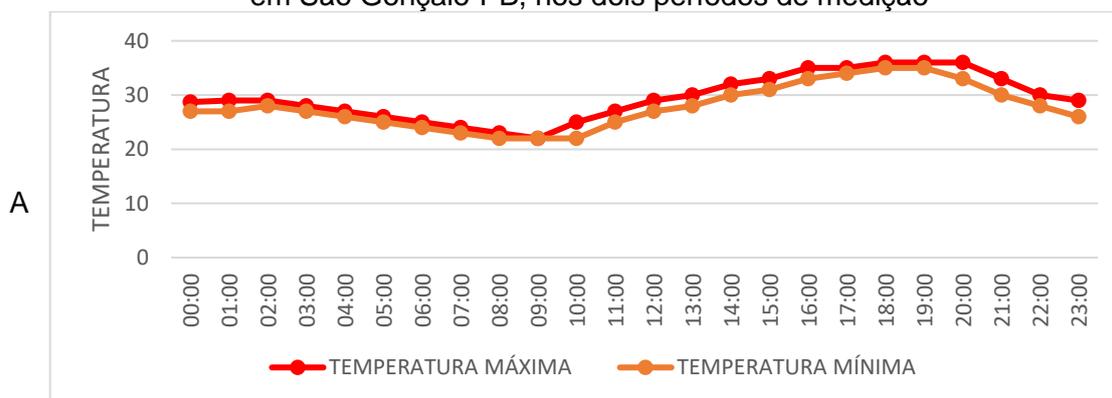
Tabela 1: Ventilação predominante na estação localizada em São Gonçalo-PB, a 35 km de Cajazeiras

| Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Mai | Junho | Julho | Agosto | Set | Out | Nov | Dez |
|---------|-----------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|
| NE | E | NE | E | SE | SE | SE | SE | E | E | E | E |

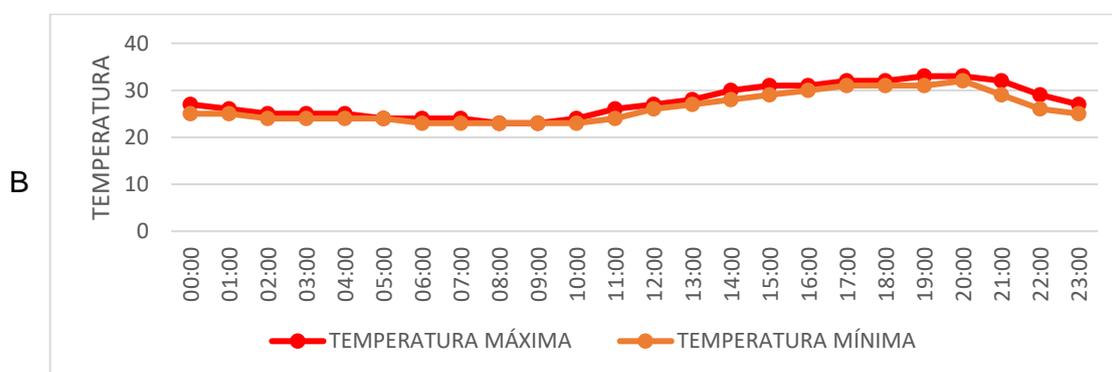
Fonte: Normal climatológica do Brasil 1981-2010 - INMET, 2020

No que diz respeito aos registros, enviados pelo INMET, referentes aos dias de medição desta pesquisa, os dados de temperatura do ar (gráfico 5) revelam diferenças térmicas ao longo do dia de 14°C, no período seco, e de 10°C, no período chuvoso. Martins et al (2012), apontam essa oscilação na temperatura ou a grande amplitude térmica como uma característica significativa da semiaridez.

Gráfico 5: Registro da média de temperatura do ar horária (°C) na estação localizada em São Gonçalo-PB, nos dois períodos de medição



Fonte: dados enviados pelo INMET referente aos dias 15 a 22 de setembro de 2021, período seco.



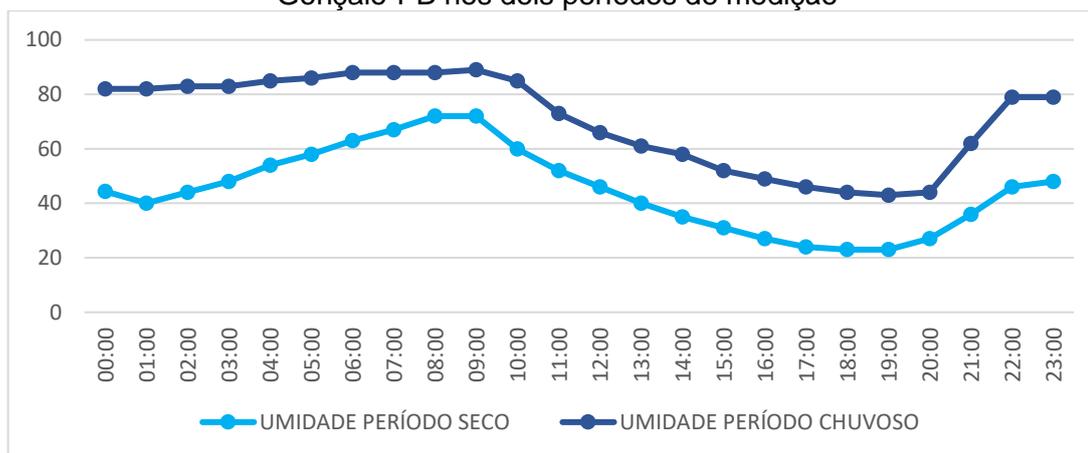
Fonte: dados enviados pelo INMET referente aos dias 31 de janeiro a 07 de fevereiro de 2022, período chuvoso.

Os dados registrados pelo INMET, entre 15/09/2021 e 22/09/2021, confirmaram as condições meteorológicas padrão que caracterizam a região nesse mês do ano: temperatura máxima de 36°C; temperatura mínima de 22°C; pouca nebulosidade e baixo índice pluviométrico. Durante esse período da coleta dos dados *in loco*, houve ocorrência pontual de chuva, no dia 15/09/2021, às 20:00 horas, e no dia 16/09/2021, às 23:00 horas, ambas inferiores a 1 mm, conforme os dados do INMET.

Os dados enviados pelo INMET, no período chuvoso, entre 31/01/2022 e 07/02/2022, indicaram: temperatura máxima de 33°C e temperatura mínima de 23°C. Esses dados também mostraram ocorrência de chuva, com precipitação em três dias. No dia 05/02/2022, houve registro de precipitação em três horários (4:00, 5:00 e 13:00h) totalizando 14,8 ml, no dia 06/02/2022 choveu 9,8 mm também em três horários e no dia 07/02/2022 choveu 1,2 ml.

A variação térmica diária, nos registros do INMET, foi compatível com a variação da umidade relativa do ar, que diminuiu com a elevação da temperatura (Gráfico 6). Foi justamente no período de declínio da temperatura (de 20:00 às 9:00 h), que a umidade aumentou até atingir o máximo de 72%, no período seco e 89%, no período chuvoso.

Gráfico 6: Registro da média de umidade relativa do ar horária (%) na estação de São Gonçalo-PB nos dois períodos de medição



Fonte: dados enviados pelo INMET referente aos dias 15 a 22 de setembro de 2021, período seco e referente aos dias 31 de janeiro a 07 de fevereiro de 2022, período chuvoso.

De acordo com os dados enviados pelo INMET, a situação da umidade relativa do ar, no período seco, desperta preocupação porque apresentou, na maioria dos horários, valores abaixo do limite de 50% recomendado pela Organização Mundial da Saúde. Vale destacar que, das 16:00 às 20:00h, esses valores mostraram-se abaixo de 30%.

Quanto ao período chuvoso, baseados nesses valores de umidade relativa do ar e de temperatura do ar, pode-se concordar com Romero (2015), quando afirma que, no início dos meses chuvosos, o semiárido não atinge as características das regiões tropicais-úmidas e por causa da baixa umidade, existe pouca radiação difusa, predominando a radiação direta e intensa.

3.1.3 Definição das escolas pesquisadas

Para a realização deste trabalho, como já destacado anteriormente, foram definidas duas escolas públicas localizadas em Cajazeiras, sendo uma federal e uma estadual: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), inaugurado em 1994 e a Escola Estadual Cidadã Técnica de Cajazeiras (EECIT),

inaugurada em 2016, que faz parte do Programa Brasil Profissionalizado, com um padrão construtivo adotado pelo Ministério da Educação (MEC) nas últimas gestões do governo federal.

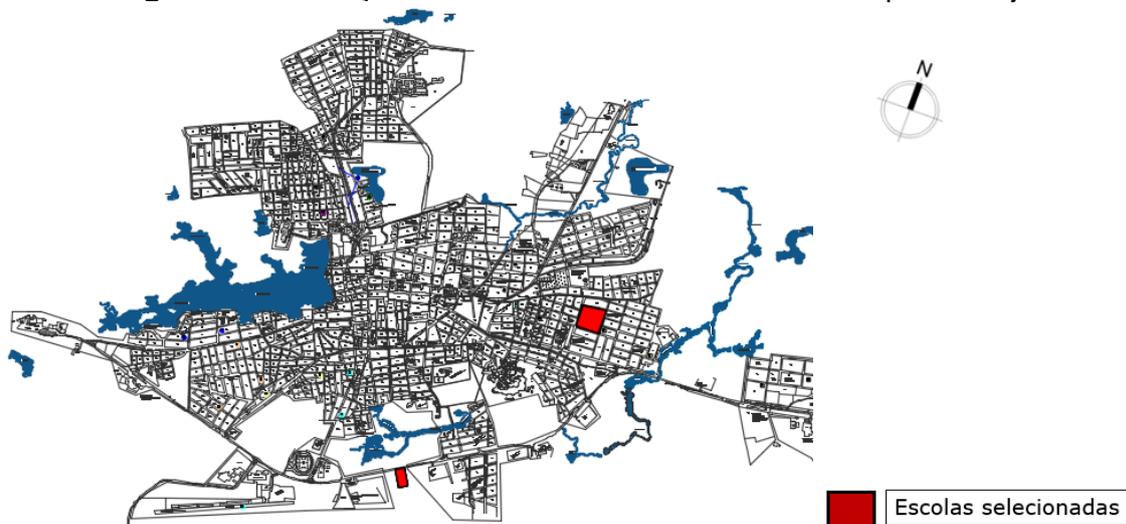
Figura 7: Escolas selecionadas para a pesquisa (acima - o IFPB e abaixo - a EECIT)



Fonte: Arquivo fotográfico publicado nas redes sociais do IFPB e trabalho de campo

A escolha dessas instituições de ensino foi realizada a partir dos seguintes critérios: acesso aos arquivos digitais dos projetos arquitetônicos disponíveis para consulta; segurança para a instalação dos equipamentos (sensores climáticos) e diferenças nos atributos que influenciam no conforto térmico, visando assim, comparação entre os ambientes investigados. A figura 8, a seguir, apresenta a localização das escolas selecionadas na área urbana de Cajazeiras.

Figura 8: Localização das escolas selecionadas no município de Cajazeiras



Fonte: adaptado da prefeitura municipal de Cajazeiras

A EECIT de Cajazeiras localiza-se às margens da Rodovia Governador Antônio Mariz, BR 230. Oferece cursos técnicos de Informática e Vestuário (Integrado ao ensino médio), com aproximadamente 436 estudantes matriculados e 41 funcionários. As aulas presenciais retornaram em outubro de 2021, após empenho financeiro do governo do estado, que possibilitou a execução das atividades de forma híbrida, no período diurno, nos turnos da manhã (das 8:15h às 11:00h) e da tarde (das 13:10h às 16:50h).

O IFPB situa-se em área de expansão urbana da cidade. Oferece cursos técnicos de Informática (Integrado ao ensino médio), Meio Ambiente (Proeja), Eletromecânica e Edificações (Integrados ao ensino médio e Subsequentes) e cursos superiores de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Engenharia de Controle e Automação, Bacharelado em Engenharia Civil e Licenciatura em Matemática. Ainda conta com um curso de especialização em Matemática. Todos esses cursos funcionam de forma presencial, o que causa a necessidade de uso da estrutura física nos três períodos do dia (manhã, tarde e noite), para atender cerca de 1.150 estudantes matriculados e 256 funcionários. Porém, durante a pandemia, os cursos estão funcionando de forma remota, com algumas atividades práticas suspensas.

3.2 Procedimentos metodológicos

3.2.1. Reconhecimento dos pontos investigados

Para uma melhor compreensão dos ambientes estudados, foram realizadas leituras dos projetos de arquitetura das escolas selecionadas e visitas nas instituições.

Vale destacar que o projeto arquitetônico em formato dwg (arquivos do programa de Desenho Auxiliado por Computador - AutoCAD) e as especificações técnicas de arquitetura da Escola Estadual Cidadã Técnica foram obtidos no *site* do MEC (2020), uma vez que faz parte do Programa Brasil Profissionalizado Escola Padrão MEC. Já o projeto arquitetônico do IFPB foi disponibilizado em arquivos no formato pdf referentes a digitalização das 22 pranchas dos desenhos originais, elaborados à mão em junho de 1988.

Além disso, foram feitas observações com registros fotográficos e anotações sobre móveis e equipamentos (tipo, localização, materiais e quantidade) presentes nas salas de aula investigadas. Foram realizados registros com informações desses ambientes utilizando fichas (Apêndices A e B).

3.2.2. Monitoramento e registro das variáveis microclimáticas

Para a análise do microclima local e das condições de conforto térmico, foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar em meses representativos do período seco (15 a 22 de setembro de 2021) e do período chuvoso da região (31 de janeiro de 2022 a 07 de fevereiro de 2022) para fins de análises comparativas.

Em cada escola foram escolhidas duas salas de aula para serem monitoradas, considerando a representatividade dos atributos arquitetônicos, sendo uma sala com algumas características mais favoráveis ao conforto térmico (menor exposição ao sol e proximidade com vegetação) e a outra sala com características menos favoráveis ao conforto térmico (maior exposição a insolação e distância de áreas verdes).

Na escola estadual todas as salas de aula estão localizadas em uma única edificação, enquanto que na escola federal existem duas tipologias de edificações para abrigar as salas de aula e os laboratórios. Dessa forma, foram avaliadas quatro salas de aula em três edifícios diferentes.

Também foram definidos, em cada uma das escolas, dois pontos externos (um descoberto e um sombreado). O critério de escolha se deu em função das condições de sombreamento ou não. Os dados dessas áreas externas permitiram compreender as condições microclimáticas no entorno das edificações.

Os aparelhos termo-higrômetros HOBO Data Logger U-10 foram programados para registrar 24 medições diárias da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. As medições ocorreram no intervalo de uma hora, de forma ininterrupta e simultânea para todos os pontos de coleta de dados.

Os sensores instalados nas salas de aula, foram fixados em mesas posicionadas no centro de cada sala (Figuras 9a, 9b, 9c e 9d), na altura da área de trabalho dos estudantes sentados em suas cadeiras.

Vale salientar que janelas, cortinas e portas não foram acionadas durante o monitoramento. As janelas com folhas móveis, em todas as salas, permaneceram abertas e as portas mantiveram-se fechadas, considerando o conforto acústico durante as aulas e também por causa da presença de cães nas escolas.

As salas de aula, durante as medições, foram identificadas com fitas zebreadas nas portas, nas janelas e no contorno da mesa onde o aparelho de medição foi fixado. Colocou-se também na porta o seguinte texto: “sala monitorada para pesquisa científica, não entrar”. Além disso, houve a comunicação sobre a pesquisa ao responsável pela organização das atividades dos servidores que fazem a limpeza nas salas de aula. Dessa forma, nos dias de monitoramento, ficou assegurado que os aparelhos condicionadores de ar, as portas e as janelas não fossem acionados.

Figura 9: Interior das salas de aula mostrando as miniestações instaladas

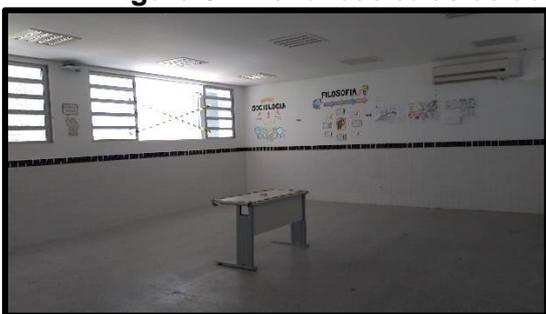


Figura 9a. Sala nordeste na EECIT (P1)



Figura 9b. Sala sudoeste na EECIT (P2)



Figura 9c. Sala térrea no IFPB (P5)



Figura 9d. Sala no 2º pavimento do IFPB (P6)

Fonte: trabalho de campo realizado em setembro de 2021

Os equipamentos instalados nos pontos externos foram fixados a aproximadamente 1,5 metros acima do chão e protegidas do sol e chuva com caixa plástica furada para permitir ventilação (Figuras 10a, 10b, 10c e 10d). Nos pontos sombreados essas caixas foram amarradas com arames em postes e nos pontos descobertos foram fixadas em uma haste plástica e inserida na terra em um tijolo de 8 furos para maior sustentação.

Figura 10: Pontos externos monitorados mostrando as miniestações instaladas



Figura 10a. Ponto descoberto na EECIT (P3)



Figura 10b. Ponto sombreado na EECIT (P4)



Figura 10c. Ponto descoberto no IFPB (P7)



Figura 10d. Ponto sombreado no IFPB (P8)

Fonte: trabalho de campo realizado em setembro de 2021.

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar extraídos dos aparelhos foram tratados em planilhas do Excel, e, em seguida, foram organizados em tabelas e gráficos, para que posteriormente os resultados fossem discutidos com base no referencial teórico adotado.

3.2.3 Cálculo do Índice de Desconforto Térmico (IDT)

Para a avaliação do IDT, foi utilizado um índice subjetivo, o Índice de Thom e as faixas de sensações térmicas ajustadas para regiões inseridas no clima semiárido, conforme Neres, Santos e Carvalho (2015), ver tabela 2.

Tabela 2: Faixas de conforto térmico

| Índice de Desconforto Térmico ajustado para a cidade de Mossoró- RN | Valor do índice IDT (°C) | Classificação do índice IDT |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| I | $IDT \leq 25,0$ | Confortável |
| II | $25,1 < IDT < 26,3$ | Parcialmente confortável |
| III | $26,4 < IDT < 30,0$ | Desconfortável |
| IV | $IDT \geq 30,0$ | Muito Desconfortável |

Fonte: Neres, Santos e Carvalho (2015)

O Índice de Thom considera a abordagem adaptativa e é calculado a partir da seguinte equação:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 UR)(T - 14,5)$$

Onde T é a temperatura do ar (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%).

3.2.4. Análise comparativa dos dados e identificação das estratégias projetuais adequadas ao clima quente e seco

Para compreender os ambientes investigados em relação ao microclima, buscou-se as relações existentes entre os dados climáticos e as características físicas dos espaços investigados, com o objetivo de verificar se as alterações no microclima local estão relacionadas as características arquitetônicas dos ambientes investigados.

Sendo assim, foi adotado o método comparativo, que consiste no confronto de elementos, considerando seus atributos, visando identificar semelhanças e explicar diferenças que possam ser constatadas, bem como verificar a existência de relações entre os elementos comparados (MARCONI; LAKATOS, 2017).

3.3 Incertezas experimentais

Baseado na compreensão de que o conforto térmico de um indivíduo se trata de uma satisfação do ambiente térmico expressa pelo usuário, pretendia-se aplicar questionário nas salas de aula monitoradas, cujo projeto foi enviado e devidamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), buscando respostas a respeito da sensação dos participantes e sobre suas preferências no ambiente construído quanto ao sistema de resfriamento. Além disso, o questionário poderia fornecer informações sobre dados pessoais que podem influenciar o conforto térmico.

Porém, a coleta de dados nas escolas selecionadas se deu em uma realidade sem ocupação dos espaços, tratando-se de uma situação específica do momento da

realização da pesquisa imposta pela pandemia de Covid-19 que impossibilitou atividades presenciais nas escolas, desde março de 2020.

Embora seja considerada uma desvantagem, a coleta de dados sem aplicação dos questionários possibilitou registrar dados sem a influência do calor interno produzido pela ocupação, pela iluminação artificial e pelo sistema de resfriamento, além de outros equipamentos. Foi uma circunstância impeditiva para avaliação da sensação subjetiva de conforto térmico por parte do público-alvo (estudantes), mas que trouxe vantagens para a análise dos atributos arquitetônicos que influenciam no conforto térmico, foco deste trabalho.

O agravamento da pandemia em março de 2021, também alterou as datas da coleta de dados climáticos do período chuvoso que estava prevista para abril de 2021. A primeira coleta de dados climáticos, no período seco, foi realizada em setembro de 2021, quando foi enviado requerimento (ver apêndice C) para aprovação de um comitê de enfrentamento da Covid, solicitando a realização das visitas, exigência de uma das escolas.

Outras circunstâncias não vantajosas ocorreram na coleta de dados, como a quantidade dos Hobos disponíveis e defeito de alguns deles, que não possibilitou o registro da umidade relativa do ar em dois pontos internos, nas medições realizadas em setembro de 2021.

Por causa desses problemas nas medições da umidade relativa do ar, foram realizadas verificações de todas as estações com comparações entre os aparelhos, antes da instalação dos equipamentos nos pontos de medição, no período chuvoso. Essa avaliação constatou defeito em três equipamentos, dos dez disponíveis. Dessa forma, um dos oito pontos também não registrou umidade relativa do ar, no período chuvoso (janeiro e fevereiro de 2022). Isso mostra que a pesquisa de campo nem sempre acontece como se deseja.

Diante disso e tendo em vista o planejamento das ações e a compreensão dos procedimentos metodológicos e dos instrumentos de coleta de dados que puderam ser utilizados na pesquisa de campo, elaborou-se um mapa mental com o panorama geral da pesquisa (Figura 11).

Figura 11: Mapa mental da pesquisa



Fonte: Elaboração própria com o GoConqr

Com esse caminho, as técnicas utilizadas nesta investigação foram compatíveis com o objetivo da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição das escolas e dos pontos monitorados

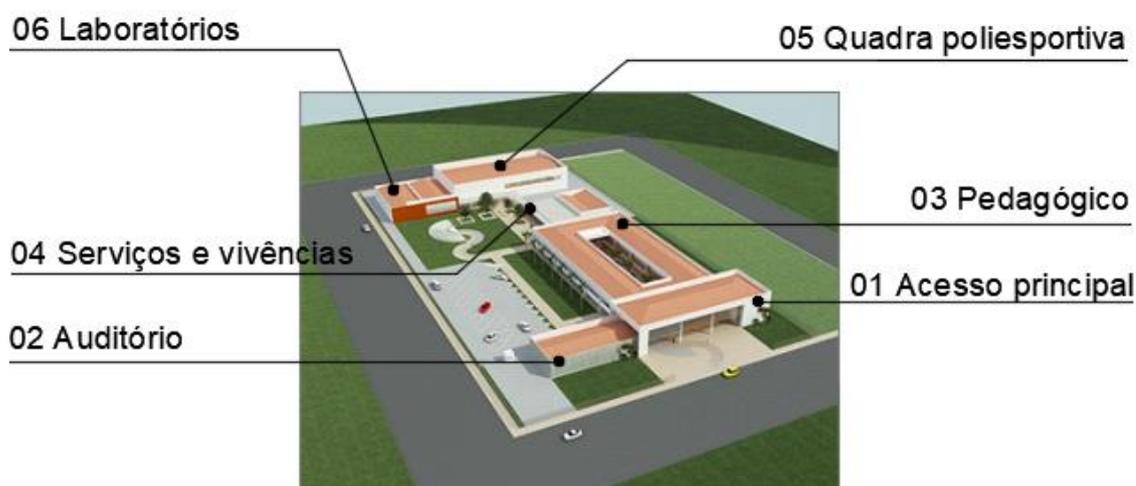
4.1.1 Escola Estadual Cidadã Técnica de Cajazeiras (EECIT)

A EECIT está situada em um terreno plano. Trata-se de uma área com poucos elementos construídos em seu entorno, possuindo manchas de solo exposto e áreas verdes com a presença de corpos d'água. A via que dá acesso a instituição é de pavimento asfáltico que, segundo Callejas et al. (2015), é um material potencial para o aumento da temperatura do ar, pois armazena muito calor e o libera por meio de convecção e radiação.

É importante destacar que a referida escola está localizada nas extremidades do perímetro urbano, tendo como construções mais próximas o condomínio Cidade Madura (40 residências térreas destinadas aos idosos) e o Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SEST SENAT).

A escola está setorizada em seis blocos com 5.577 m² de área construída total (Figura 12), contendo: bloco de acesso principal (hall coberto, circulação vertical e biblioteca); bloco do auditório; bloco pedagógico/ administrativo (salas de aulas, espaços administrativos, laboratórios e banheiros); bloco de serviços com área descoberta para vivências; bloco da quadra poliesportiva e bloco com dois laboratórios.

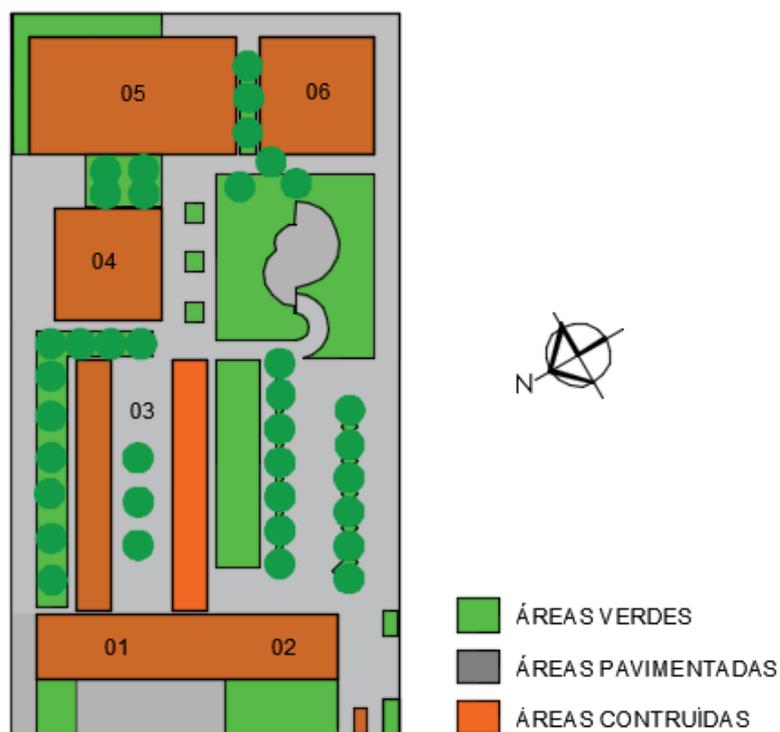
Figura 12: Setorização dos blocos da EECIT



Fonte: MEC, 2011

Das áreas verdes ou áreas destinadas a vegetação da EECIT (Figura 13), 46% dos espaços são permeáveis. No estudo de Chang e Li (2014), uma porcentagem de áreas verdes em espaços abertos com atividades durante o dia, acima de 30%, pode favorecer o conforto térmico, se forem plantadas árvores, arbustos e existirem outras sombras adequadas. Porém o que se ver nas áreas verde da EECIT é a inserção de uma única espécie de árvore – a *Azadirachta indica*, popularmente conhecida como nim indiano, além da presença de algumas agaves e cactos. A arborização desta escola, com crescimento rápido, revela a ausência de um projeto paisagístico para as áreas externas.

Figura 13: Esquema representando áreas verdes, áreas construídas e áreas pavimentadas na EECIT



Fonte: A autora, 2021 - Adaptado do PPET-MEC, 2011.

No que diz respeito a implantação das edificações no terreno, observou-se que o bloco pedagógico da EECIT de Cajazeiras (bloco 03), onde estão localizadas as salas de aula no pavimento superior, apresenta uma situação desfavorável ao conforto térmico no interior das salas de aulas, com janelas maiores voltadas para sudoeste, por causa da maior exposição do edifício ao sol da tarde.

Kowaltowski (2001), Corbella e Yannas (2009), Romero (2013), e Oliveira (2017), recomendam orientação norte-sul para as fachadas de maior dimensão, por

causa da menor incidência da radiação solar e, conseqüentemente, menor acúmulo de carga térmica e menor consumo de energia.

Vale salientar que o posicionamento das edificações construídas no terreno da EECIT de Cajazeiras também causa maior exposição ao sol nas áreas de convivência externas, uma vez que as edificações foram implantadas de maneira que o recuo lateral nordeste é menor do que o recuo lateral sudoeste, proporcionando uma maior área do terreno voltada para sudoeste (ver figuras 12 e 13).

A maior exposição ao sol da tarde revela a desatenção aos ambientes abertos dessa escola e a inadequação da proposta de implantação e setorização em relação às condições locais. Essa constatação está em consonância com pesquisas, como por exemplo, de Kowaltowski (2011) e Paes (2016), que identificaram, em escolas, situações desconfortáveis e desconsideração na elaboração, uso e manutenção dos espaços de convivência.

A localização dos pontos selecionados para o registro e monitoramento de dados microclimáticos podem ser vistos na figura 14.

Figura 14: Localização dos pontos monitorados na EECIT de Cajazeiras

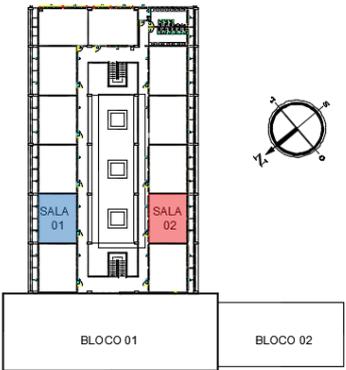


Fonte: Google Earth em 27/10/2021

O bloco pedagógico, com 2.281,42m² de área construída, contém a maior parte dos ambientes da escola, abrangendo todas as 12 salas de aula no pavimento superior e as salas administrativas e 6 laboratórios, no pavimento térreo. Por esse motivo, nesta escola, os dois pontos internos monitorados estão situados na mesma edificação.

A seguir, no quadro 8, são resumidas as características arquitetônicas das duas salas de aula monitoradas no bloco pedagógico desta escola, bem como os dois pontos externos monitorados.

Quadro 8: Pontos monitorados na EECIT

| | | |
|--|---|--|
| <p>Ponto P1 (Sala de aula com janelas maiores voltadas para nordeste)</p> | <p>Orientação mais favorável ao conforto térmico, com face externa arborizada voltada para nordeste.</p>  <p>Vista da fachada nordeste da edificação que abriga as salas de aula</p> | <p>Situadas na mesma edificação (bloco pedagógico) Mesmas dimensões e materiais Dois tipos de janelas de correr em alumínio e vidro (janela baixa e janela alta) Localizadas no pavimento superior Capacidade para 42 alunos Brises horizontais metálicos fixos Cobertura: forro de gesso e telhas metálicas 45m² de área construída, possui dois equipamentos condicionadores de ar do tipo Split de 24.000 BTUs e não há ventiladores.</p>  <p>Planta baixa</p> |
| <p>Ponto P2 (Sala de aula com janelas maiores voltadas para sudoeste)</p> | <p>Orientação menos favorável ao conforto térmico, com janelas voltadas para sudoeste.</p>  <p>Vista mostrando fachadas sudoeste e sudeste da edificação que abriga as salas de aula, no período chuvoso</p> | |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Ponto P3 (Ponto descoberto)</p> |  <p>Vista mostrando o ponto descoberto, no período seco</p> | <p>Situado na área de vivência, próximo ao refeitório piso pavimentado e com áreas destinadas a vegetação, onde encontram-se espécies de cacto e de agave, e também areia e brita.</p> |
| <p>Ponto P4 (Ponto sombreado por árvores)</p> |  <p>Vista mostrando o ponto sombreado, no período chuvoso</p> | <p>Localizado próximo a quadra poliesportiva e ao bloco de serviços ou pátio da escola, onde se localiza o refeitório. Nesse ponto, tem-se bancos de concreto para socialização e três árvores da mesma espécie - <i>Azadirachta indica</i>, popularmente conhecida como nim indiano.</p> |

Fonte: arquivos dos projetos arquitetônicos e trabalhos de campo

No centro da edificação, existe um pátio descoberto (ver figura 15), que dispõe de algumas áreas permeáveis, o que possibilita a retenção de água.

Figura 15: Circulação do bloco pedagógico mostrando o pátio interno da EECIT



Fonte: Trabalho de campo realizado em setembro de 2021.

As janelas das salas de aula posicionadas na face externa do edifício são constituídas por folhas de correr com moldura em alumínio e fechamento em vidro. Há também janelas de correr com altura mais elevada, voltadas para o pátio interno, o que permite uma ventilação cruzada.

Fixados na estrutura do edifício nas fachadas nordeste e sudoeste, ressaltam-se a presença de brises horizontais metálicos fixos (figura 15) em chapa de alumínio de 0,8mm, pintados na cor branca.

Figura 16: Bloco 03 mostrando a proteção solar utilizada nas janelas das salas de aula da EECT



Fonte: Trabalho de campo realizado em setembro de 2021

Lamenha (2016), analisou o bloco das salas de aula desse projeto, quanto à ventilação natural e a insolação, considerando as sete zonas bioclimáticas brasileiras. Essa autora critica o estabelecimento da proteção solar generalizada, alerta para a necessidade de diferentes ângulos de sombras específicos para cada latitude e orientação das fachadas, e sugere a substituição dos brises micro perfurados propostos no projeto, por brises opacos e com ajuste no ângulo horizontal para cada orientação solar, visando evitar um sombreamento excessivo ou insuficiente.

Os brises instalados nas salas de aula da EECIT Cajazeiras, são opacos, porém não possuem ajustes para as diferentes orientações.

4.1.2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

O IFPB possui um entorno caracterizado, sobretudo, por edificações residenciais térreas. Observa-se verticalização em algumas edificações residenciais com até três pavimentos. Esse uso e ocupação justifica a forte presença de cobertura cerâmica e de pavimento de calçamento, sendo, portanto, impermeáveis às águas pluviais e emissoras de calor.

Nota-se também a presença de manchas de solo exposto em algumas áreas com pouca vegetação, sendo no próprio IFPB a maior quantidade de vegetação verificada com árvores de médio e grande porte. Observou-se, portanto, uma carência

de áreas verdes no seu entorno, o que reforça a afirmação de Araújo (2017), sobre o descompromisso do setor imobiliário com a existência mínima de área verde nos loteamentos de Cajazeiras.

Trabalhos acadêmicos discutem as transformações no espaço geográfico da cidade de Cajazeiras percebidas nas últimas décadas com o avanço da urbanização e a redução das áreas verdes. Araújo (2017), destaca o crescimento de Cajazeiras a partir do ano de 2009, relacionando com a expansão do ensino superior, com o desenvolvimento dos serviços e com o aumento da demanda por imóveis. Costa Filho (2018), também discute as mudanças nessa cidade, com a presença do ensino superior implantado em 1970 e expandido entre 2002 e 2015 através de políticas públicas de ampliação do ensino superior e técnico atraindo estudantes, professores e demais profissionais que atuam nas instituições de ensino. Ambos os autores revelam preocupações quanto a esse desenvolvimento acelerado, com o surgimento de novos loteamentos e bairros em áreas periféricas. Eles apontam que a valorização dos investimentos no setor imobiliário residencial unifamiliar desconsiderou a existência mínima de área verde e de equipamentos de uso coletivo, o que, segundo Araújo (2017), revela o atendimento aos interesses capitalistas dos agentes imobiliários numa atuação descomprometida com o planejamento urbano e com as necessidades da população.

Nesse sentido, Costa (2003), destaca que o crescimento urbano modifica não só a vegetação, mas outros atributos da forma urbana (relevo, recobrimento do solo, densidade, tipos de materiais e edificações), e com isso influencia o clima local, alterando o campo térmico urbano das áreas externas e dentro das edificações.

O estudo de Fernandes et al. (2014), sobre a vegetação na cidade de Cajazeiras verificou uma média de 1,21 plantas por residência. Esses autores perceberam também que a maioria das árvores introduzidas eram de Ficus (*Ficus benjamina*) e Nim indiano (*Azadirachta indica*), e diante disso apontaram outros problemas na vegetação presente nas ruas dos bairros de Cajazeiras: a maior presença de espécies exóticas em detrimento das nativas e a pouca biodiversidade.

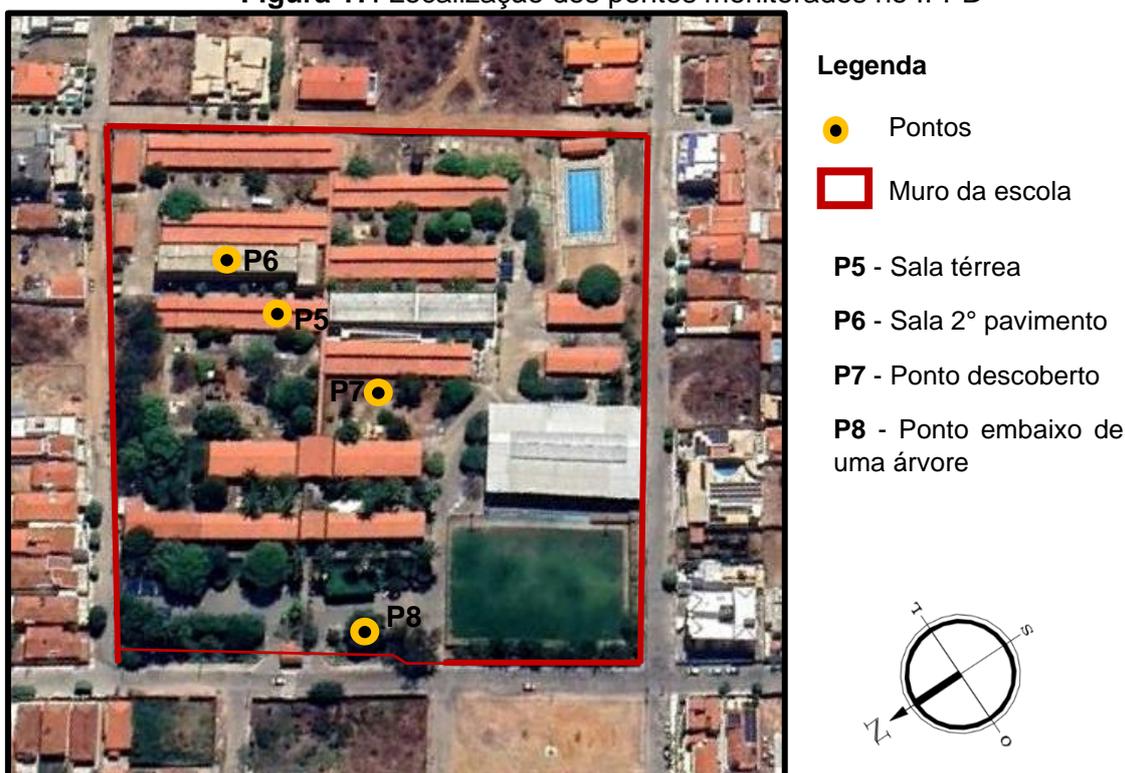
Oliveira et al. (2019), realizaram a identificação das árvores existentes no IFPB de Cajazeiras e registraram 39 espécies e 335 indivíduos arbóreos, concentrados, principalmente, em cinco espécies: 52 nim indiano; 40 cássia-desião; 40 goiabeiras; 28 figueiras e 23 mangueiras. Os referidos autores evidenciaram, portanto, baixa

heterogeneidade arbórea e uma predominância de 27 espécies arbóreas de origem exótica, o que representa 82,93% das espécies identificadas.

Vale destacar que o campus do IFPB em Cajazeiras teve expansão, nos últimos anos (2011 e 2020), com retirada de vegetação para ampliação da estrutura física. A escola possui blocos com formas retangulares dispostos linearmente, sendo a maioria térreos com salas e laboratórios ao longo da circulação. Apenas o setor administrativo e os dois blocos novos foram construídos com mais pavimentos. Além de uma maior altura, os blocos novos com salas de aula possuem tipologia construtiva distinta das edificações construídas no período de implantação do campus, década de 90 do século XX. ,

A localização dos pontos selecionados para registro e monitoramento de dados microclimáticos podem ser vistos na figura 17.

Figura 17: Localização dos pontos monitorados no IFPB



Fonte: Google Earth em 27/10/2021

O IFPB é composto por um conjunto de edificações, em um terreno de aproximadamente 38.000m², distribuídas, atualmente, em 10 blocos: um setor administrativo¹⁵; um bloco destinado ao pátio coberto, auditório e biblioteca; dois

¹⁵ O bloco administrativo teve uma ampliação com a construção de um espaço para o refeitório posicionado a nordeste, mantendo a forma linear e a tipologia construtiva do bloco original.

blocos de salas de aula e seis blocos com salas de aula e laboratórios (dois construídos mais recentemente). Além desses 10 blocos, o IFPB conta também com uma quadra poliesportiva, um campo de futebol e uma piscina.

A seguir, no quadro 9, são resumidas as características arquitetônicas dos quatro pontos monitorados no IFPB.

Quadro 9: Pontos monitorados no IFPB

| | | |
|--|--|---|
| <p>Ponto P5 (Sala de aula térrea com janelas maiores voltadas para sudeste)</p> |  <p>Vista mostrando fachada noroeste da edificação que abriga a sala de aula ponto P5</p>  <p>Vista mostrando fachada sudeste da edificação que abriga a sala de aula ponto P5</p> | <p>Situada em edificação térrea</p> <p>Arborização densa em seu entorno imediato</p> <p>Janelas de alumínio e vidro incolor, de forma contínua em toda a fachada sudeste do edifício</p> <p>Corredor de acesso como elemento de proteção solar na fachada noroeste</p> <p>Prolongamento da cobertura e brises verticais permite recuo das janelas</p> <p>Cobertura: laje inclinada e telhas cerâmicas</p> |
| <p>Ponto P6 (Sala de aula no segundo pavimento com janelas maiores voltadas</p> |  <p>Vista mostrando fachadas noroeste e nordeste do edifício que abriga o ponto P6</p> | <p>Situada no segundo pavimento em edificação de três pavimentos (térreo + 2 pavimentos)</p> <p>Janelas de alumínio e vidro incolor na fachada sudeste do edifício</p> <p>Janelas alta fixas na fachada noroeste, sem sistema de abertura</p> |

| | | |
|---|--|---|
| para sudeste) | | <p>Prolongamento da cobertura permite recuo das janelas</p> <p>Cobertura: forro de gesso; laje plana e telha de fibrocimento</p> |
| <p>Ponto P7 (ponto descoberto)</p> |  <p>Vista mostrando o ponto descoberto, no período seco</p> | <p>Situado entre um bloco de salas de aula, a quadra poliesportiva e o bloco destinado ao pátio coberto, auditório e biblioteca.</p> <p>Área aberta menos sombreada, onde foram plantadas, recentemente, cinco árvores da espécie (<i>Azadirachta indica</i>), popularmente conhecida como nim indiano, além de árvores em diferentes estágios de desenvolvimento.</p> <p>Presença de pisos e bancos de concreto.</p> |
| <p>Ponto P8 (ponto sombreado por árvore)</p> |  <p>Vista mostrando o ponto sombreado, no período chuvoso</p> | <p>Ponto embaixo de uma árvore nativa da espécie Monguba (<i>Pachira aquática alblit</i>) no estacionamento do IFPB, com uma copa medindo 12 m de diâmetro.</p> |

Fonte: Dados da pesquisa

Observou-se na sala de aula térrea (ponto P5) aberturas no plano da cobertura, conhecido por *shed* que funcionam ora como captadora, ora como extratora de vento, o que favorece a saída de ar quente e a ventilação higiênica, contudo essas aberturas foram fechadas para evitar saída do ar por causa do resfriamento artificial.

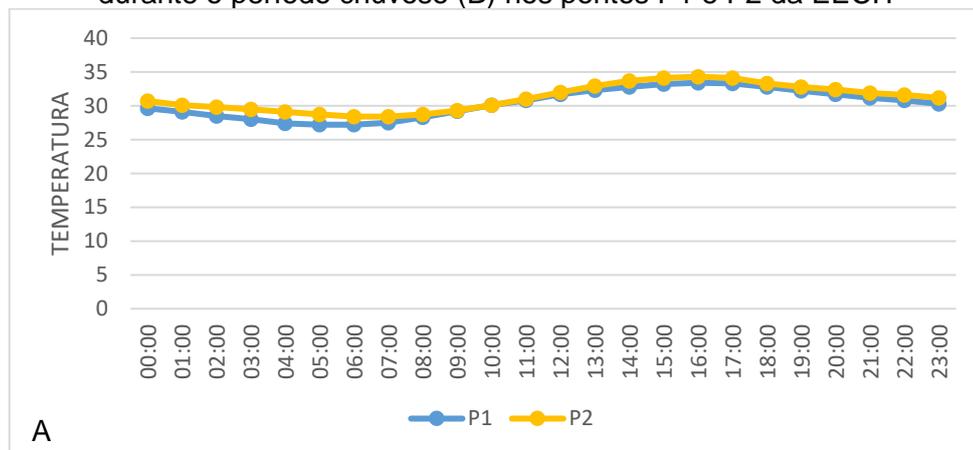
Na sala de aula localizada no segundo pavimento, observou-se a presença de cortinas tipo blecaute em janelas orientadas para sudeste, indicando a incidência da radiação solar.

4.2 Avaliação do comportamento horário das variáveis temperatura e umidade relativa do ar na EECIT

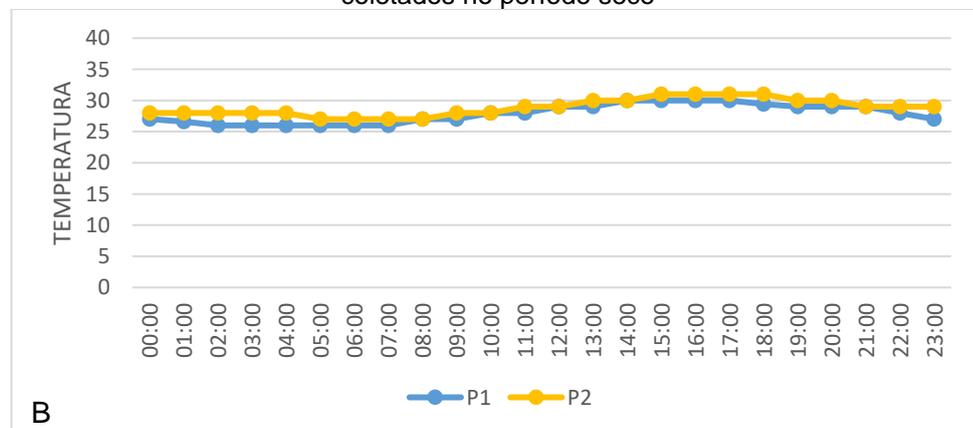
4.2.1 Salas de aula

De acordo com os dados de temperatura do ar coletados, essas salas de aula, localizadas na mesma edificação da EECIT, apresentaram diferenças térmicas em alguns horários. A sala de aula com janelas maiores voltadas para nordeste (P1) propiciou menores temperaturas em quase todos os horários, em comparação com a sala mais aberta voltada para sudoeste (P2), fato que pode ser notado no gráfico 7.

Gráfico 7: Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos P1 e P2 da EECIT



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período seco



Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período chuvoso.

Durante o período seco, no ponto P1 da EECIT (sala de aula com janelas maiores voltadas para nordeste), as médias horárias de temperatura do ar variaram entre 27,2°C (às 7:00h e às 8:00h) e 33,4°C (às 16:00h). Já no período chuvoso, as temperaturas do ar variaram entre 26°C (das 2:00 às 7:00h) e 30°C (das 14:00 às 17:00h), apresentando, portanto, amplitude térmica de aproximadamente 6°C, no período seco, e 4°C, no período chuvoso.

O ponto P2 da EECIT (sala de aula com janelas maiores voltadas para sudoeste), registrou temperaturas, no período seco, entre 28,4°C (às 6:00h e às 7:00h) e 34,3°C (às 16:00h). As médias horárias de temperaturas, no período chuvoso, variaram entre 27°C (das 5:00 às 8:00h) e 31°C (das 15:00 às 18:00h). Mostrando, amplitudes térmicas semelhantes ao ponto P1.

Observou-se temperaturas iguais ou menores na sala de aula com aberturas maiores abertas para nordeste (P1), mesmo nos horários em que o sol da manhã está incidindo na orientação nordeste, no período da manhã. Tal situação sugere que o resfriamento por trocas térmicas, promovido pela ventilação noturna e recebida de forma mais direta na fachada nordeste no ponto P1, é um fator importante nas condições térmicas desse ponto, isso porque o ar do exterior, mais fresco do que o do interior, funciona como um dissipador de calor, direcionando o ar quente para fora da edificação (HEYWOOD, 2015).

Os dados microclimáticos coletados permitiram verificar que o interior da sala com aberturas maiores voltadas para sudoeste (P2) apresentou diferença térmica de até 2°C acima do P1, no período chuvoso, e de até 1,7°C, no período seco. Sendo assim, a diferença térmica que essas salas de aula apresentaram é de aproximadamente 2°C.

A identificação dessas condições térmicas nessas duas salas de aula com ambientes de mesmos materiais utilizados na construção, dimensões semelhantes, esquadrias e sistema de proteção solar similares, comprova que a localização das aberturas e da edificação em relação a posição do sol e a posição dos ventos influencia nas condições térmicas e requer estratégias diferentes para operação das janelas e para proteção da radiação solar.

Chama atenção as temperaturas próximas ou acima de 34°C marcadas no ponto P2, no horário das 14:00 às 17:00h, no período seco. Nesse ponto P2, as janelas voltadas para a fachada sudoeste expõem o interior da edificação a um

período de sol forte e baixo no período da tarde quando as temperaturas, normalmente, são mais elevadas e causam maior produção de calor.

A respeito disso, Heywood (2015), destaca que a face oeste de uma edificação recebe uma insolação mais indesejável do que o sol do início da manhã e por isso aberturas no sentido oeste causam superaquecimento, semelhante ao provocado pelo sol alto do meio-dia, contudo esse último permite melhor controle da incidência na edificação através de elementos externos como brises, beiral, pérgola, toldo, entre outros.

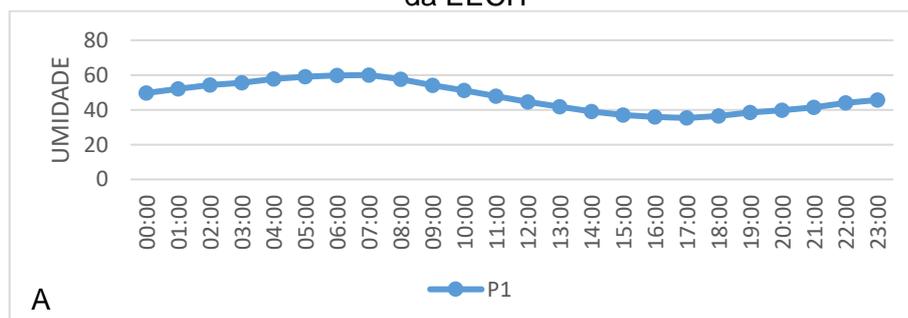
Com esse entendimento, as aberturas voltadas para oeste são difíceis de permitir controle da incidência solar na edificação. Para solucionar essa situação, Lamberts et al. (2014), destacam a utilidade das árvores no sombreamento de aberturas orientadas para oeste e afirmam que a arborização permite uma proteção solar difícil de ser resolvida com brises ou elementos vazados.

Quanto aos dados de umidade relativa do ar, o gráfico com as médias horárias acompanhou a temperatura de forma inversa, apresentando redução interna e alcançando menor índice nos horários mais quentes entre 16:00 e 17:00h.

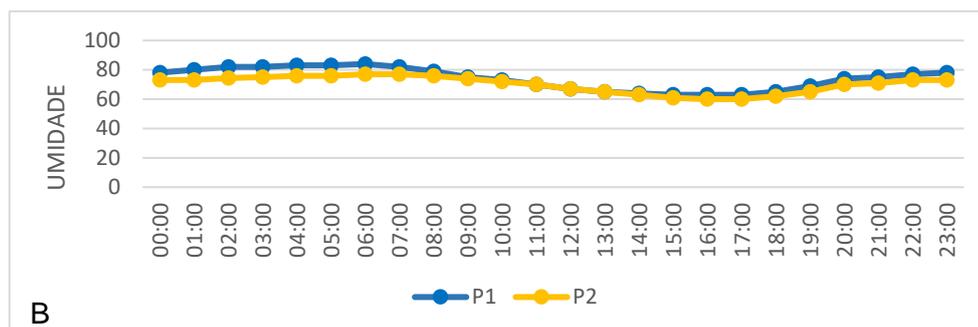
A umidade relativa do ar no ponto P1 variou entre 35,3 e 60%, no período seco, e teve uma variação entre 63 e 84%, no período chuvoso. Na estação seca houve, no período da tarde a partir das 14:00h e nas primeiras horas da noite, registros abaixo de 40%.

Os resultados da umidade relativa do ar no ponto P2, nas medições do período chuvoso, apresentaram valores de umidade relativa do ar entre 60 e 77%. No período seco, por causa de defeito no Hobo, os registros de umidade relativa do ar não foram utilizados neste ponto.

Gráfico 8: Média horária de umidade relativa do ar (%) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período seco



B
Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período chuvoso

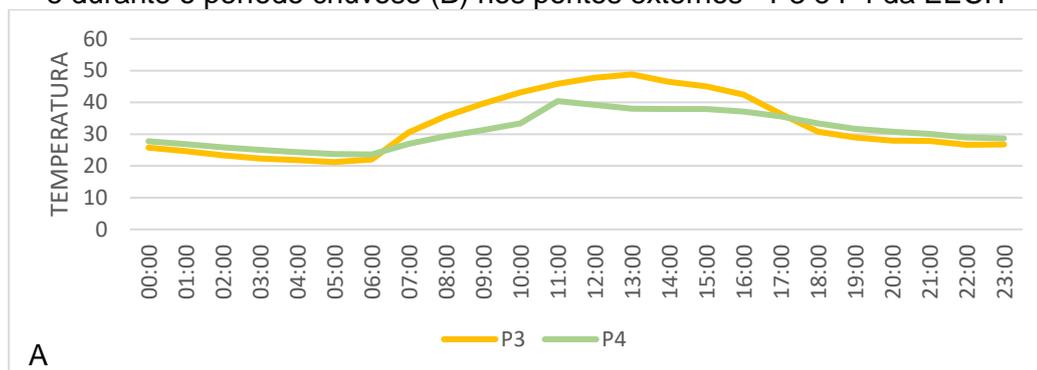
Verificou-se maiores valores de umidade relativa do ar no ponto P1, com diferenças percentuais variando entre 20,3 e 34,9% em comparação ao P2. Vale salientar que a sala de aula com janelas voltadas para nordeste (P1) possui um sombreamento proveniente da arborização. Esses dados indicam que essa vegetação pode ser um parâmetro diferenciador que influencia tanto na diminuição das temperaturas como no aumento da umidade relativa do ar.

4.2.2 Ambientes externos

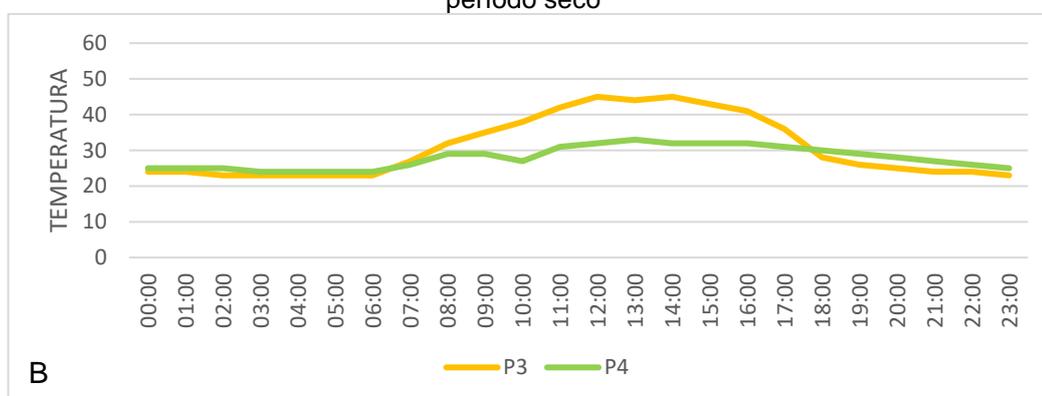
O ponto externo descoberto da EECIT (P3), no período seco, registrou uma média de temperatura mínima de 21°C e máxima de 48,4°C, revelando uma elevada amplitude térmica de 27,4°C, com valores acima de 35°C das 08:00 às 17:00h. Já na estação chuvosa, as temperaturas variaram entre 23°C e 45°C, apresentando, também, temperaturas elevadas variando entre 35°C e 45°C, no período das 9:00 às 17:00h.

No ponto externo sombreado da EECIT (P4), as médias de temperatura no período seco, variaram entre 23,7°C e 39,8°C, mostrando uma amplitude térmica de 16,1°C, com temperaturas acima de 35°C, das 11:00 às 17:00h. As médias de temperatura, no período chuvoso, variaram entre 24°C e 33°C, com temperaturas acima de 30°C, das 11:00 às 17:00h.

Gráfico 9: Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P3 e P4 da EECIT



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período seco



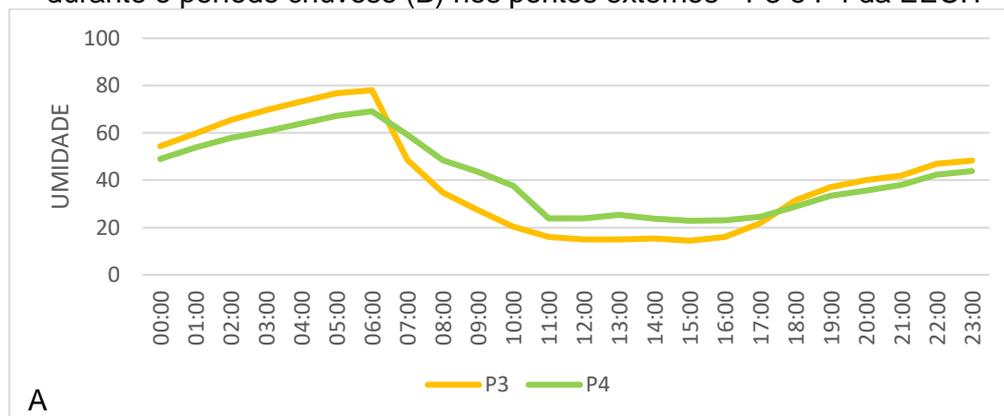
Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período chuvoso.

Observa-se que o ponto descoberto da EECIT (P3) apresenta, nos registros das 9:00 às 16:00h, para os dois períodos analisados, significativas diferenças térmicas em relação ao ponto sombreado da mesma escola (P4), variando entre 5,3°C e 10,8°C a mais que o ponto sombreado (P4), no período seco, e entre 6°C e 13°C, no período chuvoso. Esse resultado revela o quanto o agrupamento das três árvores da espécie *Azadirachta indica*, popularmente conhecida como nim indiano, atua como modificador do microclima, influenciando na diminuição da temperatura, no período da manhã e da tarde.

Quanto a umidade relativa do ar, o ponto descoberto da EECIT (P3), durante o período seco, apresentou valores variando entre 15% e 78%. Vale destacar que os valores abaixo de 20%, entre 10:00 e 16:00h, são preocupantes. Apesar disso, esse ponto apresentou umidade mais elevada nas primeiras horas do dia, às 6:00h. Na coleta de dados realizada no período chuvoso, esse ponto não fez registros de umidade relativa do ar, por causa de defeito no Hobo.

O ponto sombreado dessa mesma escola (P4), na estação seca, marcou uma média de umidade relativa do ar mínima de 22,7% (às 15:00h) e máxima de 70% (às 6:00h), com valores abaixo de 30% entre 11:00 e 18:00h. No período chuvoso, a umidade do ar média mínima foi de 51% e máxima de 93%.

Gráfico 10: Média horária de umidade relativa do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P3 e P4 da EECIT



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período seco



Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período chuvoso

Comparando o ponto sombreado da EECIT (ponto P4) com o ponto descoberto da EECIT (P3), percebe-se que as diferenças nos percentuais de umidade relativa do ar chegam a 17,3% a mais no ponto sombreado, às 10:00h, na estação seca.

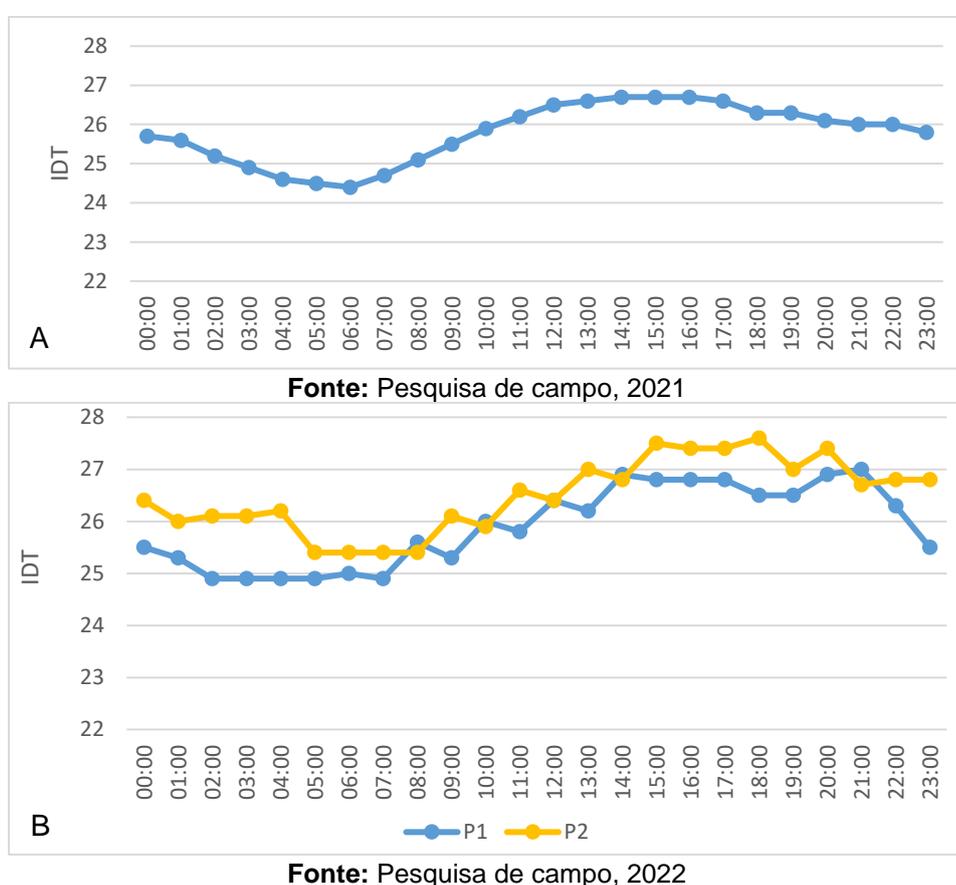
Pelo gráfico 10, é possível perceber que as diferenças entres esses pontos mostra a capacidade da arborização no aumento da umidade relativa do ar, nos períodos da manhã e tarde, durante o período seco. A situação se inverte a partir das 18:00h e nas primeiras horas do dia, pois a umidade relativa do ar no ponto descoberto apresenta valores maiores do que no ponto sombreado, com diferenças entre 2,6% e 9,6%, no período sem insolação.

4.3 Avaliação do comportamento horário do Índice de Desconforto Térmico na EECIT

4.3.1 Salas de aula

Com os dados de temperatura média horária e umidade relativa do ar média horária obtidos a partir dos dados coletados nesta pesquisa, o gráfico 11 revela os valores de IDT calculados nas salas de aula da EECIT e os horários mais críticos.

Gráfico 11: IDT (comportamento horário) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT



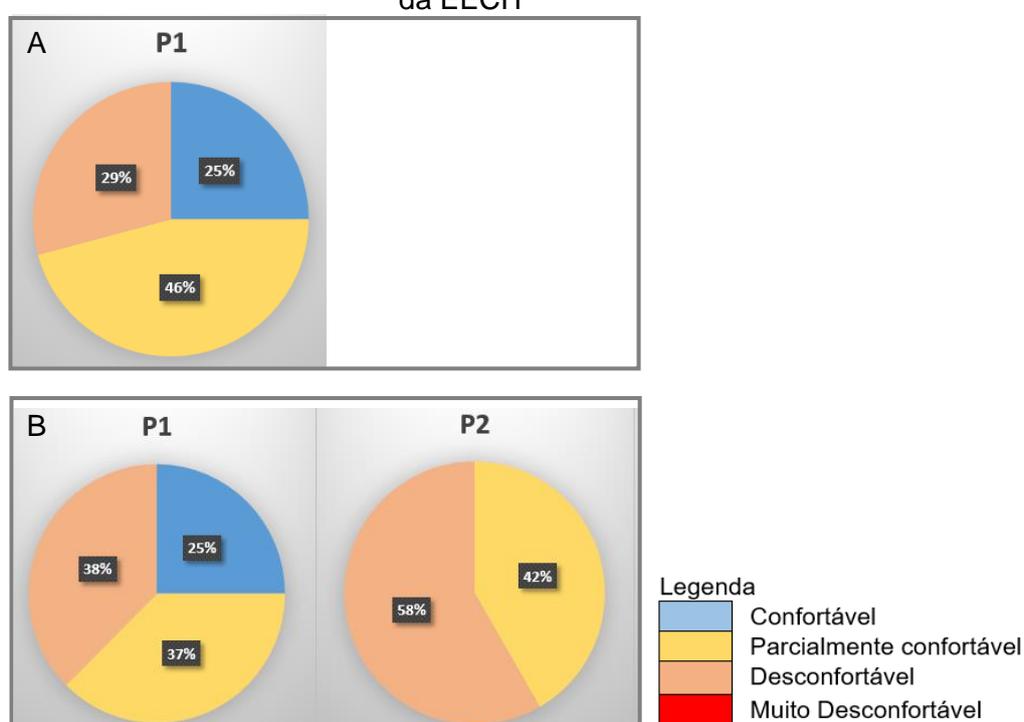
O IDT, no ponto P1, no período seco, variou entre 24,5 e 26,7. Nos horários da manhã e da noite a sensação térmica foi de parcialmente confortável e no período da tarde mostrou-se desconfortável das 12:00 às 18:00h. Durante o período chuvoso, o IDT variou entre 24,9 e 27, com sensação térmica desconfortável verificada no horário das 14:00 às 21:00h.

Quanto aos resultados do IDT no ponto P2 da EECIT, foi verificado, no período chuvoso, valores entre 25,4 e 27,3. No horário de 1:00 às 10:00h, mostrou-se

parcialmente confortável e no horário das 11:00 até à 00:00h a sensação térmica foi desconfortável.

Pelos resultados apresentados, os usuários desses ambientes estão expostos a condições de desconforto térmico durante boa parte do dia. Com base nas classes estabelecidas, as salas de aula, no horário das aulas, enquadram-se em situações que variam entre desconfortável a parcialmente confortável, ver figura 18.

Figura 18: Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nas salas de aula: P1 = sala nordeste da EECIT; P2 = sala sudoeste da EECIT



Fonte: dados da pesquisa

O ponto P2 apresentou apenas duas classes de conforto (parcialmente confortável e desconfortável) com predominância de sensação térmica desconfortável (58% das horas do período chuvoso).

Já o ponto P1, sala nordeste na EECIT, apresentou, nos dois períodos avaliados, um percentual de 25% de horas com sensação térmica confortável. Esse ponto interno apresentou, portanto, condições favoráveis ao conforto térmico, nas primeiras horas do dia entre às 2:00 e 07:00h da manhã. Contudo, nos horários de aula, a situação, neste ponto, variou entre parcialmente confortável a desconfortável.

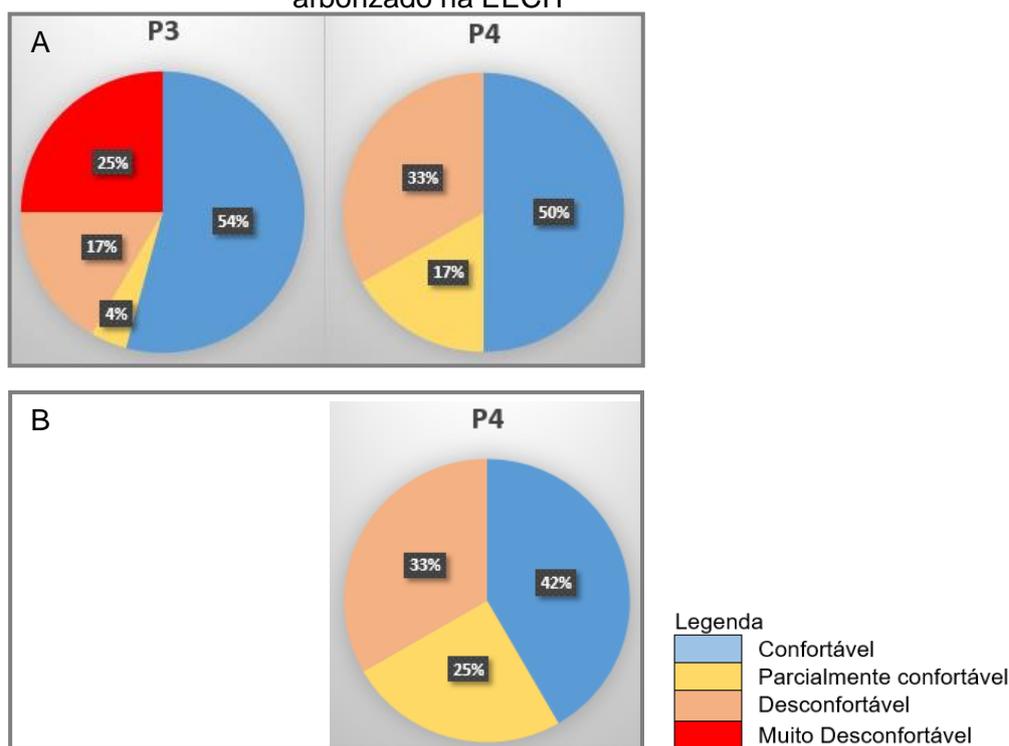
As melhores condições de conforto térmico proporcionadas no ponto P1 confirmam, mais uma vez, o quanto o resfriamento por trocas térmicas, promovido

pela ventilação noturna na fachada nordeste pode influenciar na diminuição das temperaturas, na elevação da umidade e conseqüentemente na sensação de conforto térmico, à noite e nas primeiras horas do dia. Essa constatação demonstra a importância da localização das aberturas em relação a posição dos ventos, bem como a atenção no favorecimento da ventilação cruzada, no momento do dia em que o ar externo está mais fresco do que o interno.

4.3.2 Ambientes externos

Os percentuais de participação das classes de conforto térmico de Thom (1959) nos pontos externos da EECIT, podem ser verificados na figura 19.

Figura 19: Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nos pontos externos: P3= ponto descoberto na EECIT; P4= ponto arborizado na EECIT



Fonte: dados da pesquisa

Constatou-se que o ponto externo descoberto apresentou a situação muito desconfortável em 25% do tempo, mesmo com a ocorrência de mais de 50% de horas com sensação térmica confortável no período da noite, madrugada e no início da manhã até às 6:00h. Os IDTs foram superiores a 30, no período diurno, neste ponto sem sombreamento.

O ponto descoberto da EECIT (P3), apresentou um IDT entre 20,5 e 32,9. No horário de 10:00 às 15:00h a sensação térmica foi muito desconfortável. Esse resultado revela o quanto uma área descoberta nessa região do semiárido pode ser afetada pelas altas temperaturas e as baixas umidades relativa do ar registradas pela manhã e à tarde.

Já no ponto arborizado da EECIT (P4), as três árvores existentes evitaram condições muito desconfortáveis. Esse ponto obteve, no período seco, IDT entre 22,2 e 29,3, apresentando sensação térmica confortável, das 20:00 às 07:00h. No horário de 8:00 às 19:00h a sensação térmica mostrou-se parcialmente confortável a desconfortável (das 10:00 às 17:00h). No período chuvoso, o IDT variou entre 23,5 e 28,1, apresentando sensação térmica confortável, das 22:00 às 07:00h. No horário de 8:00 às 21:00h a sensação térmica mostrou-se parcialmente confortável a desconfortável (das 10:00 às 17:00h). A comparação dos dois períodos demonstra condições um pouco melhores no período seco, pois foi possível verificar duas horas a mais em situação de conforto térmico à noite.

4.4 Avaliação do comportamento horário das variáveis temperatura e umidade relativa do ar no IFPB

4.4.1 Salas de aula

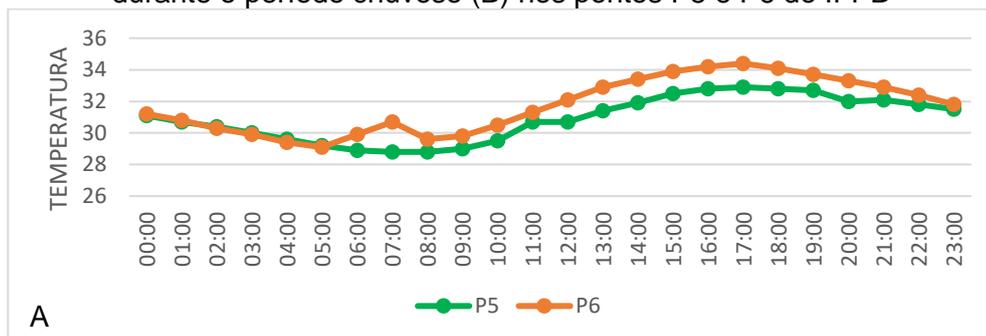
Com os dados de temperatura coletados no IFPB, foi possível perceber que a sala de aula localizada em edificação térrea com cobertura de cerâmica (ponto P5) propiciou menores temperaturas em quase todos os horários, em comparação com a sala no 2º pavimento da edificação construída com cobertura de fibrocimento (ponto P6) (gráfico 12).

A sala de aula térrea, ponto P5, registrou, no período seco, média de temperatura mínima de 28,8°C (às 7:00 e às 8:00h) e máxima de 33,1°C (às 17:00h). As temperaturas registradas, no período chuvoso, variaram entre 27°C (às 7:00h) e 31°C (às 17:00h), revelando, nos dois períodos, uma amplitude térmica de aproximadamente 4°C.

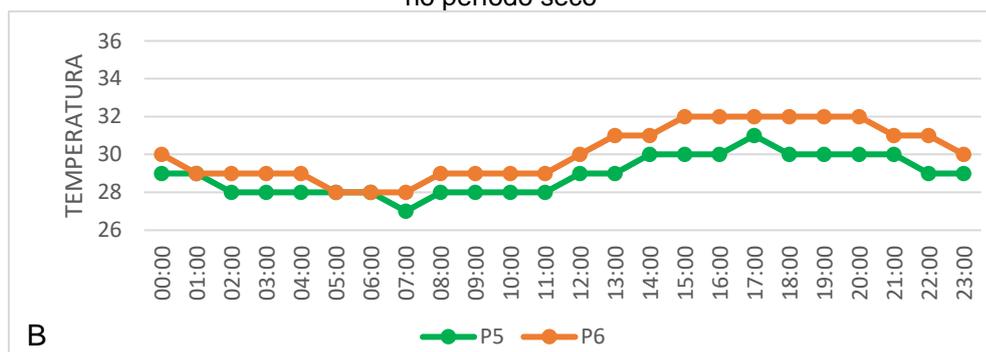
Já a sala de aula no segundo pavimento (ponto P6) registrou, no período seco, média de temperatura mínima de 29,1°C (às 5:00h) e máxima de 34,4°C (às 17:00h). A média de temperatura mínima registrada, no período chuvoso, foi de 28°C (das 5:00 às 7:00h) e máxima de 32°C (das 15:00 às 20:00h), apresentando, portanto, amplitude

térmica de aproximadamente 5°C, no período seco, e 4°C, no período chuvoso. Chamam atenção as temperaturas registradas, no período seco, no horário das 15:00 às 19:00h, pois foram próximas ou acima de 34°C, enquanto no período chuvoso, a maior temperatura registrada no P6 não ultrapassou 32°C.

Gráfico 12: Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos P5 e P6 do IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período seco



Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos coletados no período chuvoso.

Vale lembrar que essas salas de aula do IFPB, por causa da impossibilidade de abertura das janelas posicionadas na fachada noroeste, estavam com janelas abertas apenas na fachada sudeste, o que dificulta a ventilação cruzada, pois, segundo Mascaró (1985) e Cunha (2006), para que haja ventilação cruzada as diferenças de pressão precisam ser asseguradas com aberturas de entrada e saída do ar, ou seja, janelas dispostas em apenas uma fachada, como nos pontos P5 e P6, não garantem uma circulação ou uma renovação do ar eficaz no ambiente.

Dessa forma, a ventilação noturna não teve relação positiva nas condições térmicas desses pontos. Outras características como material da cobertura e proximidade com arborização puderam ser evidenciadas nas condições de temperatura dessa escola.

Verificou-se que o período de diferenças térmicas mais significativas foi de 12:00 às 17:00h, com variações entre 1,4 e 1,5°C a mais no ponto P6, no período seco. Já no período chuvoso, o ponto P6 registrou 2°C a mais que o ponto P5, em horários da tarde e da noite.

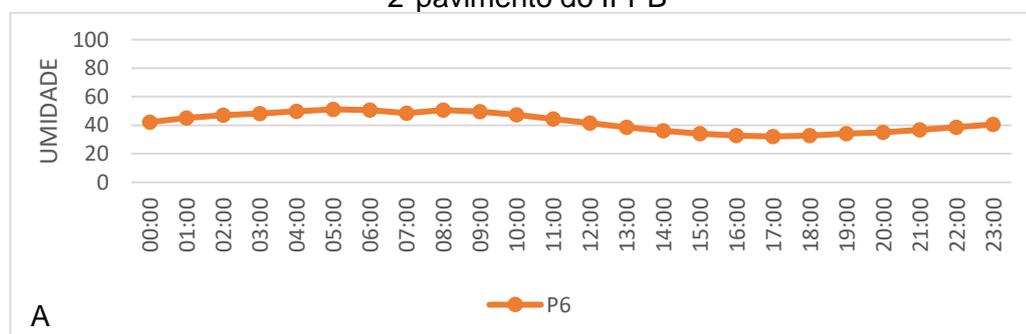
O ponto P6 mostrou um processo de aquecimento interno a partir das 8:00h, no período chuvoso e a partir das 6:00h, no período seco, quando já apresenta 1°C a mais que o ponto P5, que inicia seu processo de aquecimento às 9:00h, no período seco, e às 12:00h, no período chuvoso. O processo de aquecimento entre esses pontos indica uma relação quanto ao atraso na absorção da radiação solar propiciado pela laje inclinada utilizada na sala de aula do ponto P5.

Esses dados demonstram a influência do material da cobertura em telha de cerâmica e laje inclinada, associada ao sombreamento presente nas proximidades do ponto P5, uma vez que as telhas de cerâmica e a laje inclinada presentes nesse ponto, no momento da exposição à radiação solar, atuam na redução das temperaturas.

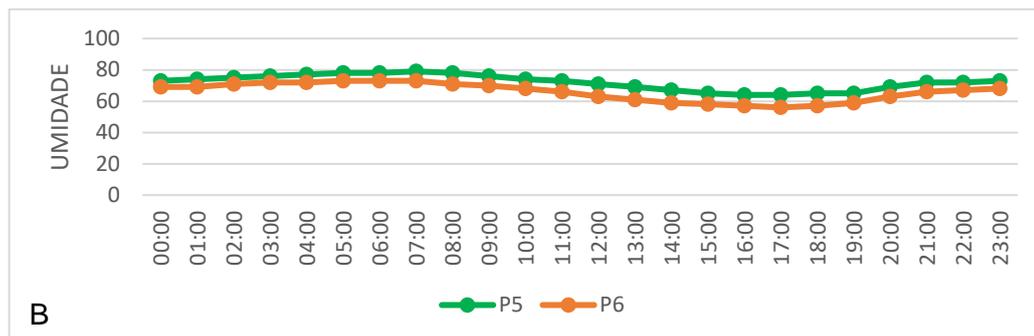
Para Mascaró (1992), o telhado, por estar exposto à radiação solar, durante todo o dia, tem uma importância significativa no desempenho térmico de edificações.

Quanto aos resultados referentes a umidade relativa do ar, no ponto P6, durante o período seco, os valores médios variaram entre 32,2 e 51,4%, com percentuais abaixo de 40% no período das 13:00 às 22:00h. No período chuvoso, a média de umidade relativa do ar variou entre 56 e 73%.

Gráfico 13: Média horária de umidade relativa do ar (%) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021- Registros de dados climáticos coletados no período seco



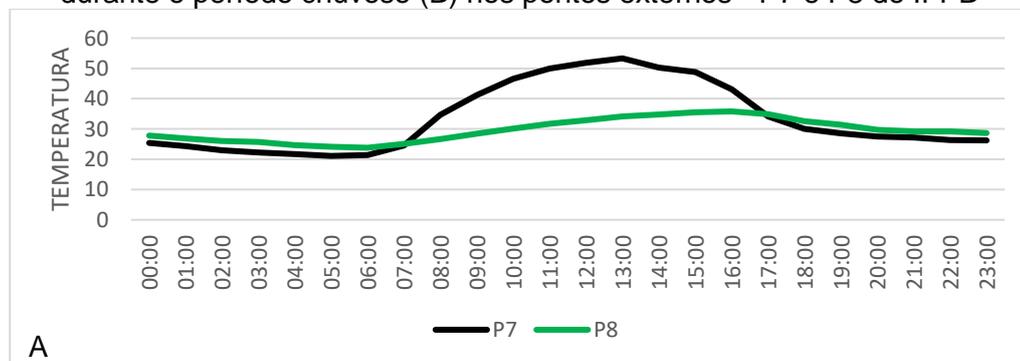
Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Registros de dados climáticos coletados no período chuvoso

A umidade relativa do ar no ponto P5 superou os valores registrados no ponto P6, em todos os horários, com diferenças percentuais variando entre 4 e 8%. O que aponta o quanto a vegetação influencia no aumento da umidade relativa do ar, uma vez que nas proximidades do ponto P5 existe presença de arborização nas duas fachadas. Somado a isso, esse ponto, como já foi discutido anteriormente, apresentou uma diminuição das temperaturas por causa do material utilizado na cobertura.

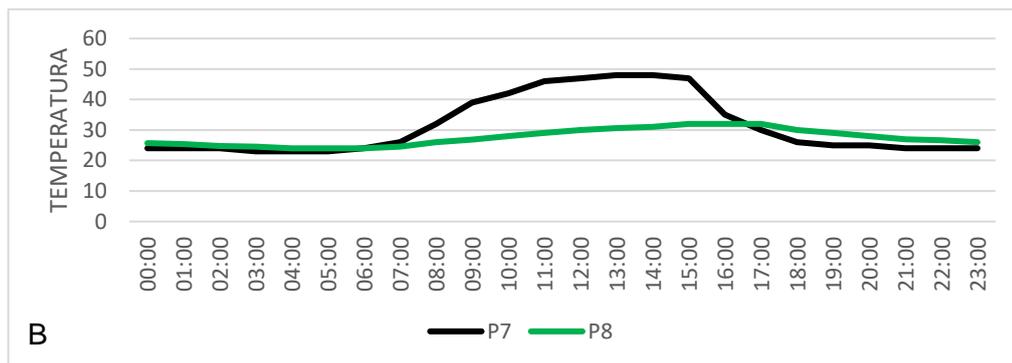
4.4.2 Ambientes externos

Os dados de temperatura do ar coletados nos ambientes externos do IFPB demonstraram o potencial da arborização na amenização do calor, nos períodos da manhã e tarde, isso porque, nos registros das 9:00 às 15:00h, para os dois períodos analisados, o ponto descoberto do IFPB (P7) apresentou grandes diferenças térmicas em relação ao ponto sombreado do IFPB (P8), chegando a uma diferença térmica máxima de 19,2°C, às 13:00h, no período seco, e 17,4°C, no período chuvoso.

Gráfico 14: Média horária de temperatura do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P7 e P8 do IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Registros de dados climáticos coletados no período seco



Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Registros de dados climáticos coletados no período chuvoso

O ponto descoberto do IFPB (P7) mostrou, no período seco, uma média de temperatura mínima de 21°C e máxima de 53°C, indicando a maior amplitude térmica horária dentre os pontos analisados, com 32°C. As temperaturas foram extremas, acima dos 40°C, das 9:00 às 16:00h. No período chuvoso, a amplitude térmica horária foi menor, pois esse ponto registrou uma média de temperatura mínima de 23°C e máxima de 48°C, contudo, temperaturas acima dos 40°C também foram registradas das 10:00 às 15:00h.

Já o ponto sombreado do IFPB (P8) registrou uma média de temperatura mínima de 24°C (às 5:00 e às 6:00h) e máxima de 36°C (às 16:00h), no período seco, mostrando uma amplitude térmica de 12°C. No período chuvoso, esse ponto também registrou uma média de temperatura mínima de 24°C (das 4:00 às 6:00h), porém a média da temperatura máxima foi de 32°C (das 15:00 às 17:00h), indicando uma amplitude térmica horária menor de 8°C.

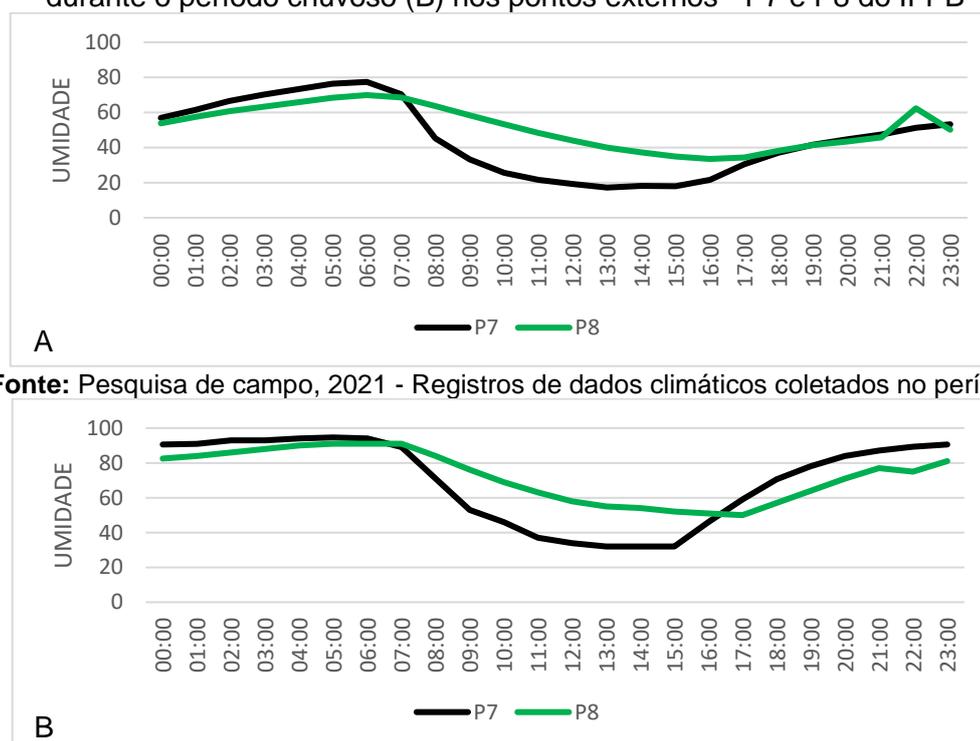
As grandes diferenças térmicas verificadas chegando a quase 20°C entre o ponto sombreado do IFPB (P8) e o ponto descoberto dessa instituição, às 13:00h, no período seco, mostram a importância da vegetação na influência das condições microclimáticas. Borges (2019), em estudo realizado na cidade de Patos/PB, alerta para a influência no sentido de promover o serviço de regulação climática. Para isso, o autor adverte quanto a qualidade e a boa distribuição da vegetação.

Quando se trata de regiões semiáridas, Alvarez (2012), reforça que a ausência de vegetação e de espécies originárias da Caatinga, pode afetar a valorização da biodiversidade local e as condições microclimáticas, com aumento da radiação solar direta e diminuição da umidade relativa do ar.

Sobre os dados da umidade relativa do ar, percebe-se, nos dois períodos avaliados, que as diferenças nos percentuais de umidade chegam a aproximadamente

26% a mais no ponto sombreado, entre 10:00 e 11:00h. Esses dados mostram a capacidade da arborização no aumento da umidade relativa do ar, no período da manhã a partir das 8:00h e no período da tarde. Porém, nas primeiras horas do dia, a umidade relativa do ar no ponto descoberto apresentou valores maiores do que no ponto sombreado, com diferenças entre 3 e 8%, para os dois períodos avaliados.

Gráfico 15: Média horária de umidade relativa do ar (°C) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nos pontos externos - P7 e P8 do IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Registros de dados climáticos coletados no período seco.

Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Registros de dados climáticos coletados no período chuvoso

No ponto descoberto do IFPB (P7), a média de umidade mínima, no período seco, foi de 17% e a máxima de 77,7%, com valores abaixo de 30%, entre 10:00 e 17:00h. Durante a estação chuvosa, a média de umidade relativa do ar variou entre 32% e 95%.

No ponto sombreado do IFPB (P8), a média de umidade relativa do ar mínima foi de 33,1% e a máxima de 70%, com valores abaixo de 40%, entre 14:00 e 18:00h. No período chuvoso, a média de umidade relativa do ar mínima foi de 50% e a máxima chegou a 91%.

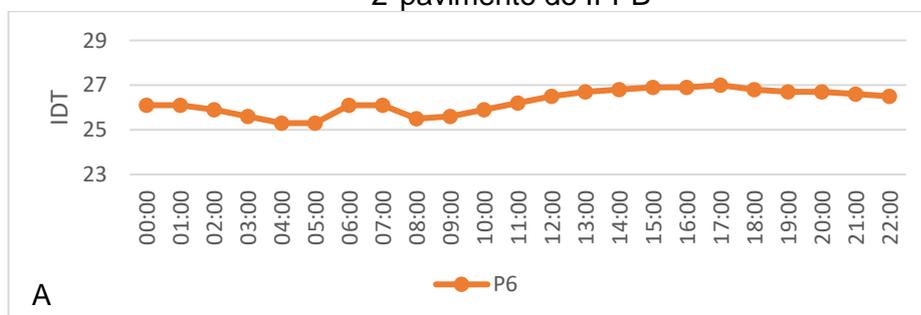
4.5 Avaliação do comportamento horário do Índice de Desconforto Térmico no IFPB

4.5.1 Salas de aula

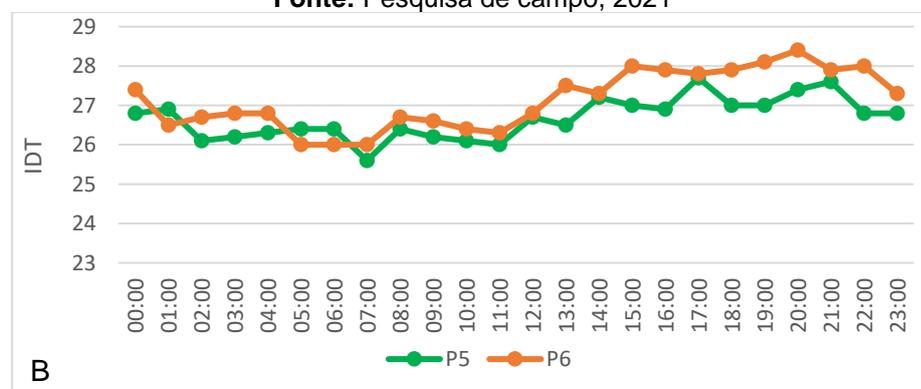
O IDT, no ponto P6 do IFPB, variou entre 25,3 e 27, no período seco, apresentando, das 12:00 às 23:00h, sensação térmica desconfortável. No período chuvoso, o IDT variou entre 26 e 28,4, apresentando sensação térmica desconfortável em quase todos os horários.

Na sala de aula térrea do IFPB (P5), foi verificado IDT variando entre 25,6 e 27,7, com sensação térmica desconfortável no horário das 12:00 à 1:00h.

Gráfico 16: IDT (comportamento horário) durante o período seco (A) e durante o período chuvoso (B) nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021

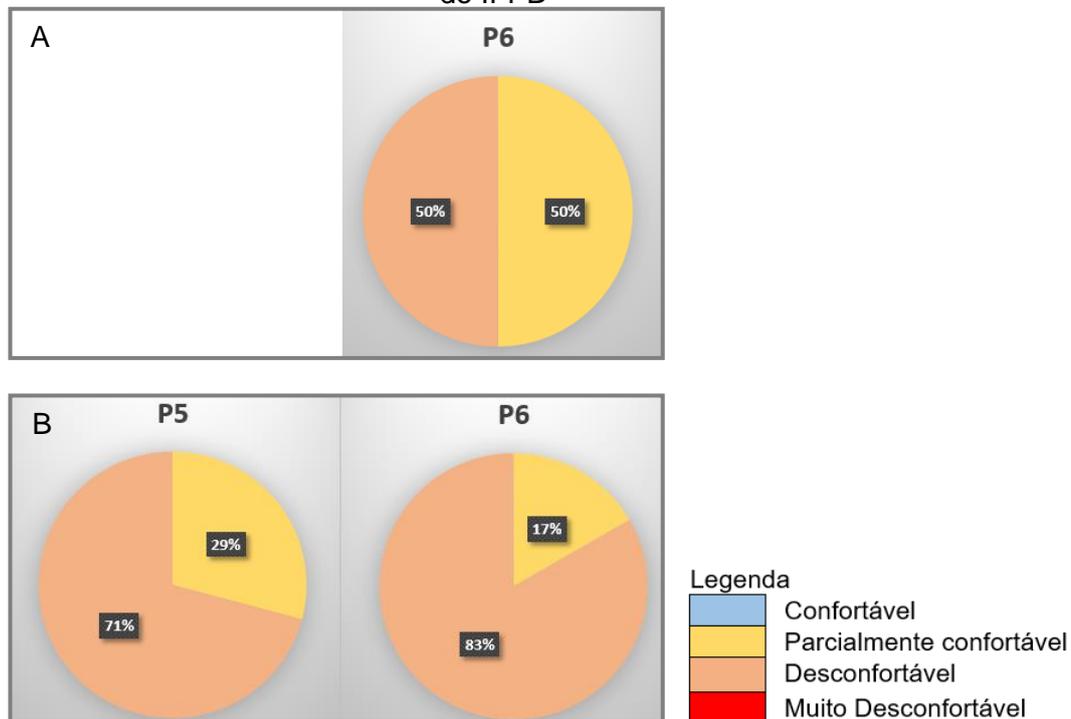


Fonte: Pesquisa de campo, 2022

O ponto P6 apresenta valores altos (acima de 26,4), no período entre 12:00 e 23:00h, para os dois períodos avaliados. No período chuvoso, neste ponto, a situação é ainda mais preocupante, pois os dados mostram desconforto até em horários da madrugada.

O percentual de participação das classes de conforto, considerando o comparativo com as Classes de Conforto térmico de Thom (1959), pode ser visto na figura a seguir.

Figura 20: Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nas salas de aula: P5 = sala térrea do IFPB e P6 = sala 2º pavimento do IFPB



A sala de aula no 2º pavimento do IFPB (ponto P6) apresentou altos percentuais de horas com sensação térmica desconfortável (83%), no período chuvoso. Essa situação também predominou no ponto P5 do IFPB, com 71% das horas em condições desconfortáveis.

4.5.2 Ambientes externos

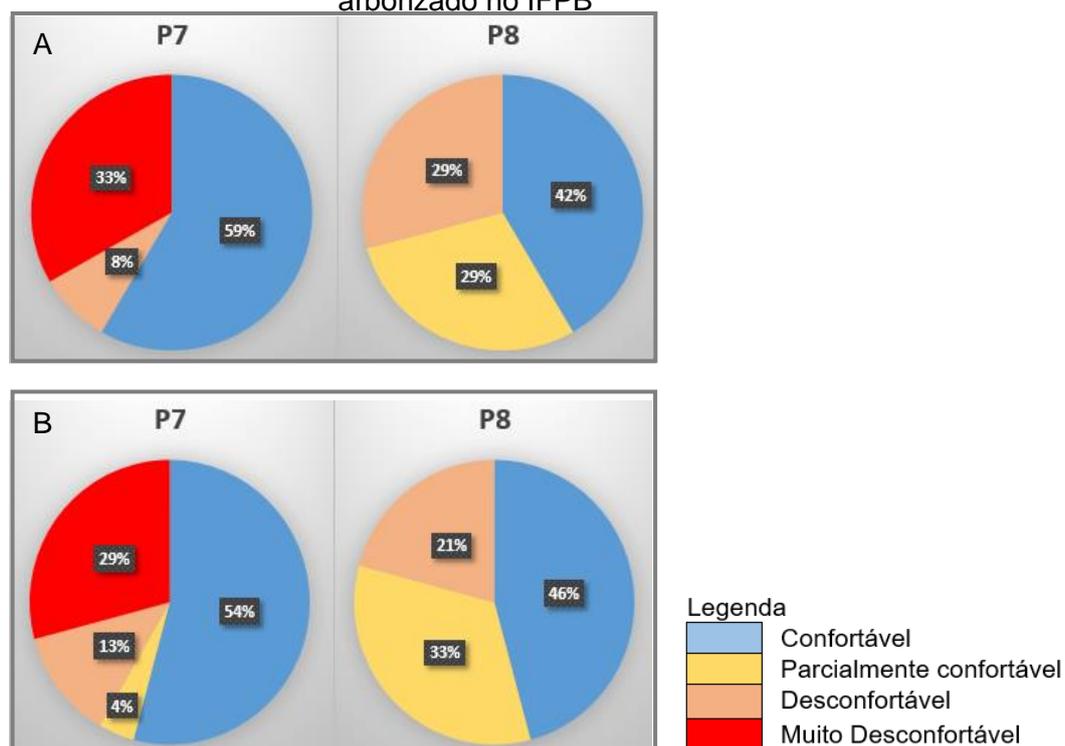
No ponto descoberto do IFPB (P7), o IDT variou entre 20,2 e 35,6, na estação seca, apresentando sensação térmica confortável à noite e nas primeiras horas do dia até às 7:00h, enquanto que a sensação térmica se mostrou muito desconfortável, no horário das 9:00 às 16:00h. No período chuvoso, o IDT variou entre 22,5 e 35,7, apresentando sensação térmica muito desconfortável de 09:00 às 15:00h e sensação térmica confortável, no horário das 18:00 às 6:00h.

No ponto sombreado do IFPB (P8), no período seco, o IDT variou entre 22,5 e 28,1, apresentando sensação térmica desconfortável de 11:00 às 17:00h, parcialmente desconfortável de 18:00 às 22:00h e sensação térmica confortável, no horário das 23:00 às 8:00h. No período chuvoso, o IDT variou entre 23,5 e 27,4,

apresentando sensação térmica confortável de 22:00 às 8:00h e sensação térmica desconfortável, no horário das 13:00 às 17:00h.

Os percentuais de participação das classes de conforto térmico de Thom (1959) podem ser verificados na figura 21.

Figura 21: Percentual de participação das classes de conforto, no período seco (A) e no período chuvoso (B), nos pontos externos: P7= ponto descoberto no IFPB e P8= ponto arborizado no IFPB



Fonte: dados da pesquisa

Verificou-se que o ponto descoberto (P7) apresentou, para os dois períodos avaliados, situações muito desconfortáveis em cerca de 30% do tempo, porém, esse ponto apresenta um maior percentual, acima de 50%, com situação confortável. Esse maior tempo de exposição a condições confortáveis ocorreu no período noturno e nas primeiras horas do dia, o que pode ser atribuída as melhores condições de trocas térmicas.

4.6 Análise comparativa entre os pontos monitorados nas duas escolas

4.6.1 Salas de aula

Nas duas escolas, os materiais utilizados nos elementos estruturais, na vedação e nas aberturas não apresentam diferença, mesmo tratando-se de instituições construídas em épocas distintas. Contudo, as três edificações possuem

três padrões construtivos quanto ao material empregado nas coberturas e alguns revestimentos nas paredes também apresentam diferenças. Além disso, nas quatro salas de aula analisadas, as coberturas estão expostas ao ambiente externo. Diante disso, os resultados do monitoramento possibilitaram a comparação entre três tipos de coberturas:

- Laje inclinada e telha de cerâmica na sala térrea do IFPB (P5);
- Telha de fibrocimento na sala de aula do 2º pavimento do IFPB (P6)
- Telha metálica nas salas de aula da EECT (P1 e P2).

Ao comparar os pontos P5 e P2, com os dados do período seco, verificou-se temperaturas mais baixas no ponto P5, das 9:00 às 20:00h, sendo que o período de diferenças térmicas mais significativas foi das 12:00 às 17:00h, com variações entre 1,2 e 1,5°C a menos que o P2.

O ponto P5 localizado no IFPB apresentou, no período seco, das 9:00 às 17:00h, temperaturas mais baixas até 1°C a menos em relação ao ponto P1 da EECIT (ponto com as menores temperaturas registradas em relação a todas as salas de aula) e marcou temperaturas semelhantes ao ponto P1, das 10:00 às 16:00h, no período chuvoso.

Com isso, pode-se confirmar que as telhas de cerâmica e a laje inclinada presentes no P5, sobretudo, no período seco, no momento da exposição à radiação solar, absorvem menos radiação térmica para o interior do ambiente, ao contrário das coberturas de fibrocimento presentes no ponto P6 e das telhas metálicas presentes no P1 e P2.

As comparações relacionadas a sala com telha cerâmica e laje inclinada constataram temperaturas menores no ponto P5, o que confirma uma condição térmica mais favorável, justamente nos horários quando a cobertura recebe maior exposição ao sol. Tal situação aponta a melhor eficiência do revestimento cerâmico com menor absorção de energia e uma proteção do efeito da radiação por causa da laje entre o telhado e o interior da sala, o que favorece um maior isolamento, evitando a concentração de energia e o aumento da temperatura no ambiente interno.

A associação com os tipos de materiais da cobertura presente na pesquisa de Araújo (2017), também identificou menores temperaturas e amplitudes térmicas nas coberturas de telhas cerâmicas e maiores temperaturas nas edificações com coberturas de telhas de fibrocimento.

Comparando os pontos P6 e P1, em ambos os períodos avaliados, verificou-se que a sala de aula no segundo pavimento e com telha de fibrocimento (P6), apresentou maiores temperaturas em todos os horários, com diferenças térmicas variando entre 0,4 e 3,2°C, no período seco, e entre 1 e 3°C, no período chuvoso.

Equiparando os pontos P6 e P2, constatou-se que a sala de aula com telha de fibrocimento (P6) também apresentou maiores temperaturas em quase todos os horários. Contudo, em virtude da orientação, o ponto P2, com janelas voltadas para sudoeste, apresentou, no período seco, maiores temperaturas à tarde (entre 14:00 e 16:00h), demonstrando que, nesse caso, nessa época do ano e nesses horários, a posição das aberturas em relação ao sol influenciou mais nas condições térmicas do que os materiais empregados na cobertura.

Na tabela 3, pode-se observar a média e os valores máximos e mínimos da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e do IDT nos quatro pontos internos monitorados.

Tabela 3: Dados da temperatura média, umidade relativa do ar e IDT em Cajazeiras/PB. Onde P1= sala nordeste na EECIT, P2= sala sudoeste na EECIT, P5= sala térrea no IFPB e P6= sala 2º pavimento no IFPB

| Escola | Ponto | Temperatura do ar (°C) | | | Umidade relativa (%) | | | IDT | | |
|------------------------|-------|------------------------|------|------|----------------------|------|------|-------|------|------|
| | | Média | Máx. | Mín. | Média | Máx. | Mín. | Média | Máx. | Mín. |
| Período chuvoso | | | | | | | | | | |
| EECIT | P1 | 28 | 30 | 26 | 74 | 84 | 63 | 25,9 | 27 | 24,9 |
| | P2 | 29 | 31 | 27 | 70 | 77 | 60 | 26,5 | 27,5 | 25,4 |
| IFPB | P5 | 29 | 31 | 28 | 72 | 79 | 64 | 26,6 | 27,7 | 25,6 |
| | P6 | 30 | 32 | 28 | 66 | 73 | 56 | 27,1 | 28,4 | 26 |
| Período seco | | | | | | | | | | |
| EECIT | P1 | 30 | 33,3 | 27 | 47 | 60 | 36 | 25,7 | 26,7 | 24,5 |
| | P2 | 31 | 34 | 28 | X | X | X | X | X | X |
| IFPB | P5 | 31 | 32 | 29 | X | X | X | X | X | X |
| | P6 | 32 | 34 | 29 | 42 | 51 | 32 | 26,2 | 27 | 25,3 |

Legenda conforto térmico

| | |
|--|--------------------------|
| | Confortável |
| | Parcialmente confortável |
| | Desconfortável |
| | Muito Desconfortável |

Fonte: Pesquisa de campo (2021 e 2022)

O ponto P6 se destacou com as mais altas médias de temperatura mínima e máxima em relação a todas as salas de aula investigadas, em ambos os períodos

analisados, sendo o ponto com as condições de temperatura mais desfavoráveis ao conforto térmico em quase todos os horários do dia.

Já o ponto P1 da EECIT apresentou as mais baixas médias horárias de temperatura. Além disso, o ponto P1 da EECIT apresentou as maiores diferenças térmicas para os dois períodos investigados, quando comparado com os demais pontos monitorados. Isso ocorreu nos horários sem insolação, sobretudo nas primeiras horas do dia, quando o ponto P1 apresenta diferença térmica até 3,2°C abaixo do P6, 2,2°C abaixo do P5 e 2°C abaixo do P2. Dessa forma, pode-se fazer uma relação com as características das aberturas para ventilação desse ambiente como fator importante para amenizar as condições térmicas, nas primeiras horas do dia.

Para Mascaró e Mascaró (2009), o desempenho térmico de um ambiente urbano é resultado das características da arquitetura da edificação e principalmente da eficiência das janelas que são uma boa alternativa para a dispersão térmica.

Vale salientar que, além da ventilação cruzada, os pontos P1 e P2 possuem um sombreamento nas janelas através de elementos de proteção solar (quebra-sol ou “brise-soleil”) que Frota e Schiffer (2001), indicam como importantes para a proteção de áreas envidraçadas. Os autores destacam o uso desses dispositivos para sombreamento também em paredes opacas leves e em coberturas.

Os elementos de proteção solar e a localização das aberturas são características que foram avaliadas como essenciais para melhorar as condições dos ambientes internos em Vitória/ES, nas investigações de Nico-Rodrigues et al (2015) sobre a influência do tipo de janela no desempenho térmico de ambiente residencial. Esse estudo também aponta a possibilidade de permitir a ventilação noturna como um fator adicional que auxiliou na melhoria das condições do interior dos ambientes internos investigados.

A ventilação, defendida como estratégia bioclimática para climas tropicais úmidos, nesta investigação, proporcionou temperaturas mais baixas, contudo essa contribuição da ventilação nas condições térmicas fica evidente apenas nas primeiras horas do dia.

Para Lamberts et al. (2014), a ventilação noturna, no clima quente e seco, não é suficiente ao conforto térmico. Esses autores sugerem controlar a ventilação durante o dia e incrementar a ventilação noturna, mas afirmam que mesmo assim será

necessário o uso de outros sistemas de resfriamento (ar-condicionado, resfriamento evaporativo e inércia térmica).

As menores temperaturas verificadas na EECIT, durante o dia, podem estar também associadas ao sombreamento proporcionado pelo pátio interno. Callejas et al. (2020) constataram que o sombreamento no interior de um pátio localizado em Cuiabá proporciona diminuição das temperaturas com um efeito de arrefecimento passivo, porém os autores verificaram maior aquecimento em relação a área externa, à noite, uma vez que dentro do pátio o calor armazenado retém o ar aquecido por mais tempo em comparação com o ar externo por causa das propriedades termo-físicas das superfícies circundantes.

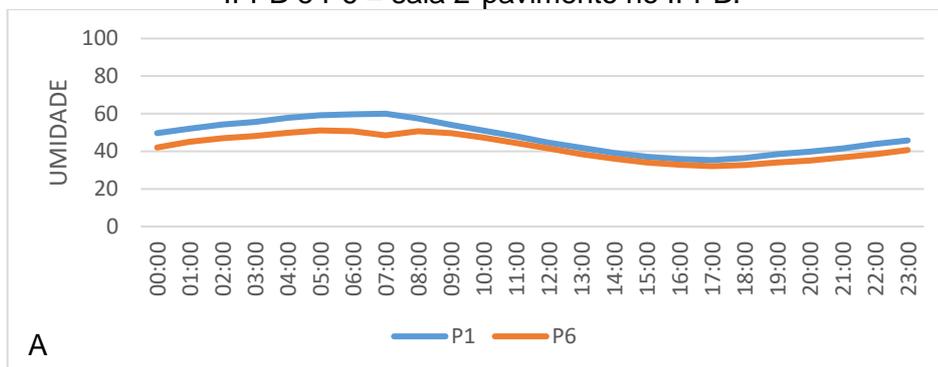
Quanto a amplitude térmica verificada nos pontos internos, foi muito similar nas quatro salas de aula avaliadas, entre 5°C a 6°C, no período seco e 4°C, no período chuvoso, não apresentando diferenças muito significativas, a não ser no ponto P5, que apresentou uma amplitude de 4°C, nos dois períodos estudados (seco e chuvoso). Esse fato pode estar relacionado ao menor aquecimento produzido pela cobertura.

Como já foi apontado, outro fator que influenciou positivamente nas temperaturas das escolas, foi a arborização presente nas proximidades das salas de aula, observou-se que os pontos P5 (sala térrea no IFPB) e P1 (sala nordeste na EECT), onde há árvores próximas, tiveram as menores temperaturas no período da tarde, em comparação com as outras salas de aula. Isso sugere a relevância das árvores em evitar que os raios solares entrem diretamente no interior da edificação e superaqueçam o ambiente.

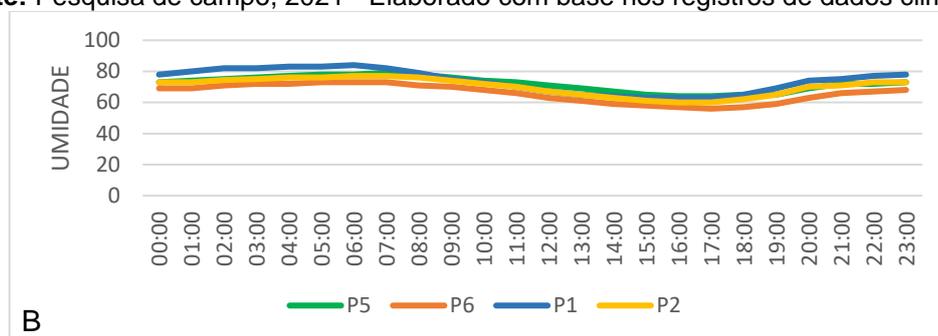
Segundo Lamberts et al. (2014), uma área gramada ou arborizada exposta ao sol consome parte do calor para realizar a fotossíntese e absorve outra parte do calor para evaporar água, criando um microclima com espaços mais refrescantes.

Quanto aos dados de umidade relativa do ar, o ponto P1 apresentou maiores valores, se comparados as outras salas de aula, com diferenças percentuais variando entre 3 e 11,5% em relação ao P6 e entre 0 e 8% em comparação ao P2. Vale salientar que a sala de aula com janelas voltadas para nordeste (P1) possui um sombreamento proveniente da arborização. Esses dados indicam que essa vegetação pode ser um parâmetro diferenciador que influencia tanto na diminuição das temperaturas como no aumento da umidade.

Gráfico 17: Comparação entre os pontos internos mostrando a média de umidade relativa do ar (%) no: P1 = sala nordeste na EECT; P2 = sala sudoeste na EECT; P5 = sala terra no IFPB e P6 = sala 2º pavimento no IFPB.



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos



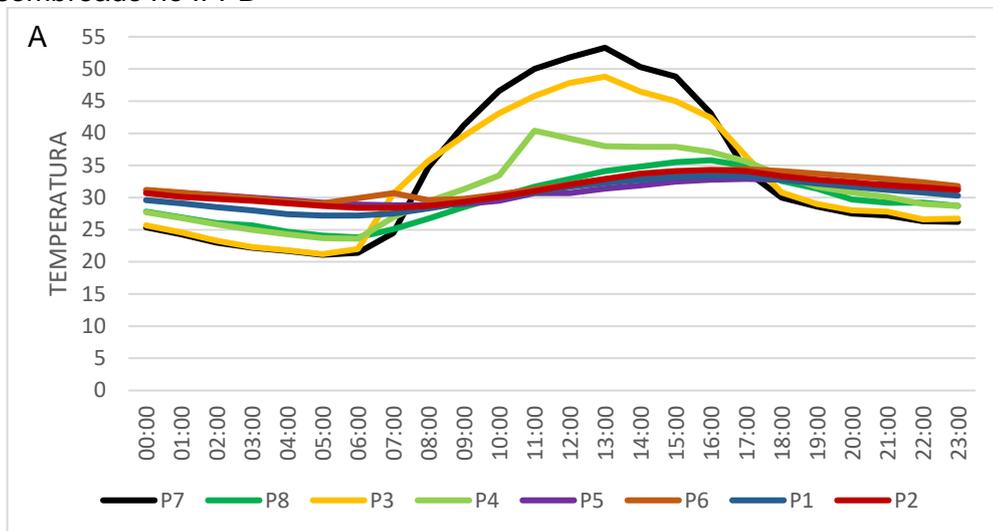
Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos

Contudo, a umidade relativa do ar no ponto P5 superou os valores registrados no ponto P1, das 9:00 às 17:00h, com diferenças percentuais variando entre 1 e 4%, o que mostra quanto a vegetação influencia no aumento da umidade relativa do ar, uma vez que nas proximidades do ponto P5 a arborização é mais densa do que a vegetação no entorno do ponto P1.

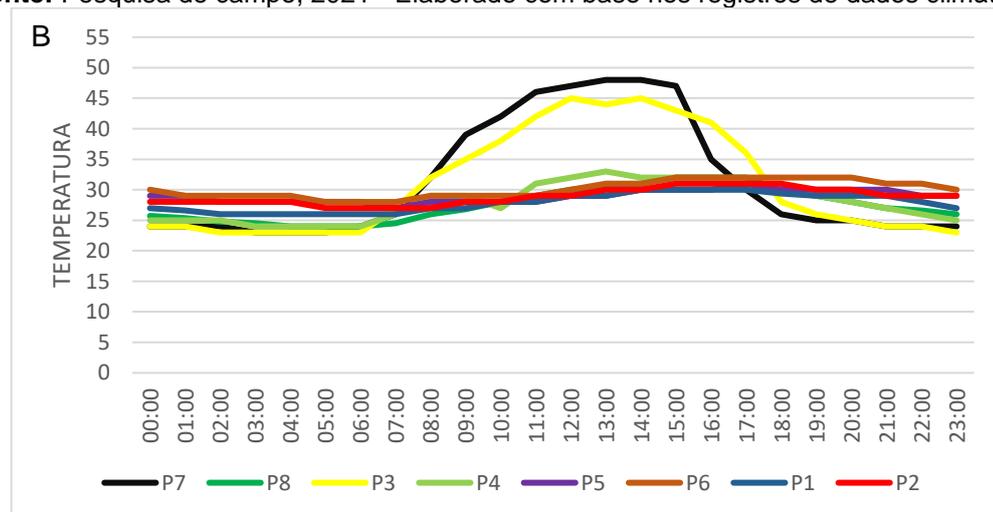
4.6.2 Salas de aula e ambientes externos

Ao comparar todos os dados de temperatura coletados, verificou-se que as menores e maiores temperaturas foram registradas nos pontos descobertos (P3 e P7), com temperaturas superiores a 40°C, no período das 10:00 às 16:00h, na estação seca, e das 11:00 às 15:00h, na estação chuvosa. As temperaturas dos espaços interiores se mantiveram mais estáveis ao longo do dia. Já nos pontos arborizados, os registros de temperatura mostram uma maior amplitude, se comparada aos pontos no interior das salas de aula, mas com menor amplitude se comparada aos pontos descobertos. O gráfico 18 apresenta as médias horárias da temperatura do ar de todos os pontos monitorados.

Gráfico 18: Comparação entre os pontos monitorados mostrando a média de temperatura do ar (°C) no: P1 = sala nordeste na EECT; P2 = sala sudoeste na EECT; P3 = ponto descoberto na EECT; P4 = ponto sombreado na EECT; P5 = sala terra no IFPB; P6 = sala 2º pavimento no IFPB; P7 = ponto descoberto no IFPB e P8 = ponto sombreado no IFPB



Fonte: Pesquisa de campo, 2021 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos



Fonte: Pesquisa de campo, 2022 - Elaborado com base nos registros de dados climáticos

O ponto externo descoberto está mais exposto às variações do tempo, por isso se destaca com altas temperaturas. Nesta investigação, nos dois períodos avaliados, os pontos externos tiveram um aquecimento a partir das 7:00h, já os pontos internos iniciaram o aquecimento às 9:00h, na estação seca.

Para Mascaró e Mascaró (2020), o clima semiárido se caracteriza pelos altos índices de radiação solar, os baixos índices de nebulosidade, as mais altas taxas de evaporação e a baixa umidade relativa do ar, o que, segundo Amorim et al. (2018), resultam em valores de temperatura do ar acima da zona de conforto térmico em todos

os meses do ano, sendo as temperaturas registradas na zona de conforto apenas no período da noite, entre 22:00 e 6:00h.

As temperaturas tão altas, verificadas nos pontos descobertos, revelam necessidade de adequações nas áreas externas descobertas dessa região do semiárido, para que possam permitir condições de uso no período da manhã e tarde.

Kowaltowski (2001), e Paes (2016), verificaram, assim como na presente pesquisa, situações desconfortáveis e um desprezo na elaboração, uso e manutenção dos espaços descobertos. Essas autoras sugerem o uso da vegetação nos espaços coletivos da escola, também, como um elemento pedagógico e de humanização da arquitetura.

A vegetação é apontada, por Mascaró e Mascaró (2002), como estratégia para amenizar as condições térmicas e permitir a economia de energia, porque, através do sombreamento, diminui as temperaturas dos pisos pavimentados e das fachadas da edificação. Somado a isso, a retenção da água e o aumento da umidade relativa do ar proporcionado por árvores, arbustos e outras plantas, demonstram a contribuição desses elementos para melhorar as condições térmicas em áreas de clima quente e seco.

Os dados coletados em setembro, permitiram verificar que a copa da árvore de grande porte no ponto sombreado do IFPB atrasa o ganho térmico, assim como o ambiente construído da sala de aula, uma vez que as maiores temperaturas registradas nos pontos descobertos e no ponto sombreado da EECIT foram das 11:00 às 15:00h, enquanto nas salas de aula e no ponto arborizado do IFPB, as maiores temperaturas ocorreram às 16:00h ou às 17:00h. Os registros das altas temperaturas no ponto P4 (ponto sombreado na EECIT) em um período maior, demonstram a atuação distinta das duas espécies de árvores analisadas.

Ao comparar as temperaturas no interior da sala de aula com os dados dos pontos externos sombreados por árvore, foi verificado que dentro das salas de aula há um predomínio de temperaturas mais elevadas. O interior das salas de aula do IFPB (pontos P5 e P6) registrou maiores temperaturas, no mínimo em 15 horários, com diferenças térmicas de até 6°C a mais que o ponto externo sombreado no IFPB (P8), na estação seca, e 5°C, na estação chuvosa.

Contudo, no período das 11:00 às 17:00h, a situação térmica se inverteu, principalmente na estação seca. O ponto externo sombreado do IFPB (P8) registrou diferenças térmicas de até 2,9°C a mais do que as salas de aula, e as diferenças

térmicas no ponto externo sombreado da EECIT (P4) em relação as salas de aula foi ainda maior, de aproximadamente 9°C a mais do que as salas de aula.

Essas constatações revelam que a atuação positiva da árvore como modificador do microclima ocorre, sobretudo, nas primeiras horas do dia e à noite, através do processo de resfriamento nas áreas externas, o que reduz de forma mais eficiente o calor enquanto que a envolvente do edifício, as paredes e suas propriedades de inércia térmica concedem uma capacidade de estabilizar a temperatura interior. De acordo com os dados do horário da tarde, essa contribuição da arborização na diminuição das temperaturas não foi verificada, pois as salas de aula investigadas apresentaram melhores resultados.

Já nas primeiras horas do dia, enquanto ocorre uma redução acentuada da temperatura nos pontos externos, sobretudo, no ambiente descoberto, devido à perda de calor para a atmosfera e à ausência de radiação solar, a temperatura do ar no interior da sala de aula registra menor redução da temperatura, comprovando a retenção do calor pela massa da edificação.

Comparando os resultados registrados no interior das salas de aula com os dados dos pontos externos descobertos, observou-se que os valores internos são mais elevados das 18:00 às 7:00h, totalizando 14 horários, com diferenças térmicas de até 6°C, aproximadamente, a mais que o ponto externo descoberto, no período seco e de até 4,5°C, no período chuvoso. Contudo no período das 8:00 às 16:00h, a situação se inverteu e o ponto externo descoberto registrou altas temperaturas com uma diferença térmica significativa, chegando a marcar aproximadamente 20°C a mais em relação ao ambiente interno, nos dois períodos avaliados.

Ao observar os dados nos diferentes turnos de aula: manhã (7:00 às 12:00h); tarde (13:00 às 17:00h) e noite (19:00 às 22:00h), é possível perceber o quanto, no período da manhã e tarde, durante a incidência da radiação solar até às 15:00h, o entorno descoberto acumula calor, resultando em um ambiente térmico muito desconfortável, o que repercute nos outros pontos investigados.

Porém, os dados no horário das aulas noturnas chamam muito a atenção, pois as salas de aula apresentaram as maiores temperaturas, próximas dos 30°C (entre 29 a 32°C), na estação chuvosa, e acima dos 30°C (entre 31 a 34°C), no período seco, com diferenças térmicas de até 4°C a mais que o ponto arborizado e de até 7°C a mais que o ponto descoberto. Essa constatação demonstra que ao invés de ser um

local protegido, a sala de aula analisada permitiu condições térmicas mais desconfortáveis em relação aos pontos externos, no período noturno.

Tal situação demonstra a necessidade de estudos sobre adaptações construtivas para melhoria das condições térmicas nos ambientes internos analisados. Os ganhos de calor através das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes, assim como as condições de exposição à insolação e à ventilação, se apresentam como fatores determinantes nas condições térmicas dessas salas de aula investigadas.

Vale salientar que o vidro nas janelas das salas de aula das duas escolas analisadas foi usado em uma grande extensão da fachada, independente da orientação. A área de janelas translúcidas dessas salas de aula contraria a recomendação da ABNT NBR 15.220 (2005) para essa zona climática, uma vez que a norma recomenda aberturas pequenas, entre 15% e 25% da superfície das paredes. Por outro lado, percebe-se que salas de aula necessitam da iluminação natural para as atividades escolares, estabelecendo, portanto, um conflito entre a necessidade de luz e a redução do calor.

Quanto aos valores de umidade, nos pontos externos, os percentuais revelaram valores mais elevados nos pontos localizados no IFPB, o que demonstra a influência da vegetação mais presente no IFPB no aumento da umidade relativa do ar, através de mecanismos de sombreamento, retenção da água e evapotranspiração, de acordo com as espécies e a densidade da folhagem.

Na análise do conforto térmico, observou-se, sobretudo nos ambientes internos, uma menor participação das quatro classes de conforto, uma vez que as temperaturas internas tiveram menos alterações e amplitudes, devido ao microclima gerado. Três das quatro salas de aula apresentaram apenas duas classes de conforto térmico (desconfortável e parcialmente confortável) e em nenhum dos pontos internos houve a ocorrência de situação considerada muito desconfortável. O ponto sombreado também não apresentou a situação muito desconfortável. Tais constatações confirmam, mais uma vez, que os ambientes construtivos e a arborização têm menor aquecimento em relação aos pontos descobertos.

Pelos resultados, verificou-se que a situação mais inconveniente para as atividades humanas, em todos os pontos externos avaliados, corresponde ao período das 9:00 às 16:00h. Em contrapartida, as primeiras horas do dia apresentaram os menores IDTs.

4.7 Arquitetura bioclimática no semiárido: algumas recomendações

A aplicação dos procedimentos metodológicos, as correlações possíveis entre os dados microclimáticos e os atributos arquitetônicos, bem como as leituras sobre o tema objeto deste trabalho, permitiram a indicação de quatro soluções viáveis para melhorar as condições térmicas nos ambientes analisados.

A primeira delas trata-se das condições de saída do ar com a sugestão de fazer uso das janelas mais altas, para proporcionar a renovação de ar no interior do ambiente que dissipa a energia térmica do interior do edifício, no período noturno e nas primeiras horas do dia, porém recomenda-se o fechamento de janelas, nos horários das 8:00 às 17:00h (período em que foram registradas temperaturas acima de 32 °C nos pontos externos descobertos), e as aberturas de todas as janelas, à noite e na madrugada, garantindo a existência efetiva de entrada e saída do ar a fim de permitir ventilação cruzada, uma vez que a ausência da circulação de ar foi comprometedora nas condições térmicas, no período noturno e nas primeiras horas do dia.

A segunda solução para diminuir o ganho térmico envolve as definições da cobertura da edificação, pois foi verificado que a sala de aula com cobertura de telhas cerâmicas e laje inclinada apresentou menores temperaturas. Dessa forma a diminuição da transmissão de calor do exterior para o interior através de massas termoacumuladoras tem sua importância nas condições térmicas, na situação da realização da presente pesquisa (salas de aula desocupadas).

Ainda pensando nas salas de aula investigadas, sugere-se aumentar a proteção da radiação solar nas aberturas voltadas para as fachadas noroeste e sudoeste, uma vez que a posição das aberturas em relação ao sol influenciou mais nas condições térmicas do que os materiais empregados na cobertura. Para isso, baseado em Lamberts et al. (2014), indica-se o uso de arborização no entorno imediato como proteção do sol e dos ventos quentes por permitir, segundo o autor, proteção solar mais eficiente do que os elementos construídos. Contudo, para a fachada sudoeste da sala de aula localizada no segundo pavimento do IFPB, por causa da altura em relação ao nível da área de plantio de árvores e da ausência de brises, sugere-se também o uso de elementos vazados (cobogó).

A quarta recomendação inclui uma preocupação com as áreas externas descobertas, uma vez que as escolas objeto desta pesquisa apresentam espaços que

podem ser ajardinados, sugere-se a criação de espaços de sombreamentos necessários para reduzir a incidência da radiação solar e possibilitar usos e momentos de convivência, no período diurno. Para criar esses sombreamentos, baseado em Romero (2000) e Callejas et al. (2020), recomenda-se a configuração de pátios com pérgulas cobertas por vegetação, além da presença de água, das sombras das edificações do entorno e da arborização com espécies, preferencialmente, nativas do semiárido.

Dentre estas recomendações, baseadas nos princípios bioclimáticos e orientadas pelas características arquitetônicas e microclimáticas encontradas nos pontos de medição, admite-se que a utilização de massas termoacumuladoras, verificada como positiva para diminuir a transmissão de calor do exterior para o interior, precisa de outros pontos a serem avaliados para ser melhor reconhecida como alternativa de melhoria no ambiente escolar. A produção do calor interno durante a ocupação é um desses pontos a serem considerados, uma vez que Lamberts et al. (2014), associam a densidade de usuários nos espaços internos a uma forte influência na quantidade de calor produzido no interior da edificação, e Roriz et al. (2009), apontam que esse ganho de calor pela ocupação pode desfavorecer o uso de elementos isolantes que restringem as perdas de calor produzido no interior da edificação. Além da densidade de usuários, a produção do calor interno também pode ser aumentada por causa dos equipamentos e pela realização de atividade física que, em situações de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, podem causar estresse térmico.

Diante dessa complexidade na adaptação da arquitetura às condições térmicas locais e para além dos dados coletados nesta pesquisa, segue abaixo outras recomendações na busca por melhores condições de temperatura no clima quente e seco do semiárido, baseadas também nas informações verificadas em outras pesquisas sobre a temática.

O exemplo dos ambientes subterrâneos construídos na China e na Tunísia, mencionados por Lamberts et al. (2014), e Romero (2013), se coloca como alternativa para proteção das altas temperaturas, presentes no semiárido. Esses ambientes, em maior contato com o solo, proporcionam maior umidade relativa do ar e para obter a ventilação cruzada ou refrigeração, nas noites do período seco, podem fazer uso de elementos captadores de ventos como as torres de ventilação citadas por Heywood (2015), o que apresenta ser outra alternativa para renovar o ar no interior das salas

de aulas. Tais soluções poderiam ter sido adotadas na proposta arquitetônica do IFPB, uma vez que o terreno possui desníveis possíveis para construção de ambientes subterrâneos.

Outra sugestão é o uso de cores claras no exterior das edificações por ser um fator favorável à reflexão de radiação solar (FROTA; SCHIFFER, 2001; OLIVEIRA, 2017), além disso a alteração de cores nas superfícies externas trata-se de uma alternativa que não altera os custos de uma construção.

O uso da água nos espaços abertos e na edificação para umidificação não foi observado nos ambientes analisados nesta pesquisa, mas trata-se de solução apontada para reduzir as altas temperaturas e aumentar a umidade relativa do ar no semiárido (FROTA; SCHIFFER, 2001; ROMERO, 2013). Heywood (2015) indica a implantação da edificação de modo que o vento refrescado pela água seja direcionado para o edifício e Amorim et al. (2020), constataram a capacidade do teto reservatório que consiste em uma estratégia de resfriamento evaporativo indireto, onde o processo evaporativo ocorre na camada externa da envoltória. Estes autores verificaram uma redução das temperaturas médias internas em relação às externas de 1,5°C em São Gonçalo/PB, cidade localizada a 35 km de Cajazeiras/PB, através de uma avaliação que considera o uso da água como elemento para aumentar o atraso térmico da cobertura. Este estudo recente demonstra o uso da água no telhado como solução viável para a melhoria das condições térmicas no alto sertão da Paraíba.

Contudo a estratégia bioclimática mais recorrente na literatura se refere a posição da edificação em relação a orientação do sol e dos ventos. Como já foi apontado, os autores Kowaltowski (2001), Corbella e Yannas (2009), Romero (2013) e Oliveira (2017), recomendam orientação norte-sul para as fachadas de maior dimensão, por causa da menor incidência solar e acúmulo de carga térmica. Diante dessa indicação e do maior aquecimento provocado pela insolação na orientação oeste, noroeste e sudoeste, sugere-se também, no clima quente e seco, evitar quaisquer aberturas nas fachadas voltadas para estas orientações.

Dentre as recomendações para atender as exigências bioclimáticas do semiárido, o posicionamento e o sombreamento das aberturas, com os elementos complementares para proteção da radiação solar, se destacam como essenciais para melhor aproveitamento da ventilação no clima quente e seco, porém no caso das salas de aula há também a atenção quanto a iluminação natural necessária para as atividades escolares, por isso a indicação de aberturas pequenas para ventilação da

Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 15220-3), não pode ser atendida neste tipo de edificação por causa das atividades de leitura, desenho e escrita que são exercidas no interior das salas de aula.

Dessa forma, a ventilação seletiva e o sombreamento das aberturas precisam ser bem planejados na elaboração da proposta de uma edificação escolar localizada no semiárido, devido os efeitos de movimento do ar que são favoráveis apenas no período noturno e nas primeiras horas do dia e também por causa da necessidade de iluminação uniforme e sem ofuscamentos. Trata-se de um grande desafio: reduzir o calor que vem do ambiente externo e prover a luz necessária. Além disso, a definição do tamanho, da distribuição e do sombreamento das aberturas de uma sala de aula está relacionada a importância da visualização e integração com o ambiente externo.

Na busca por solucionar o dilema entre entrada de luz e redução do calor, as prateleiras de luz, instaladas em janelas altas, apresentam-se com a capacidade de reduzir a iluminação excessiva porque redireciona a luz para o teto de um ambiente, acima do nível dos olhos (MAIOLI, 2014), o que pode reduzir, significativamente, o uso da iluminação artificial, nos momentos de grande quantidade de luz natural disponível.

Figura 22: Exemplos de prateleiras de luz - à direita, a biblioteca pública de Mount Airy/ EUA mostrando uma prateleira de luz com anteparo interno e, à esquerda, proposta projetual de uma sala de aula mostrando prateleira de luz com anteparo interno e externo.



Fonte: site dos arquitetos - <http://www.mazria.com/projects/index.html> e <http://www.robertsonsherwood.com/schools>.

A avaliação de Machado e Leal (2018), em uma das salas de desenho da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) do campus de Pombal, região do semiárido paraibano, indicou que a inserção de prateleiras de luz, com inclinação entre 0° e 15° , promoveram o redirecionamento da iluminação ao longo da sala com níveis de iluminâncias adequados.

Diante do exposto, é possível compreender que este dispositivo de controle e distribuição da iluminação solar, associados a outros elementos de sombreamento nas janelas baixas, trata-se de estratégia bioclimática viável no clima quente e seco do alto sertão da paraíba, mas alerta-se para a necessidade de planejamento quanto a sua inclinação.

Sem esgotar o assunto e para concluir este item sobre as sugestões bioclimáticas da arquitetura no semiárido, traz-se a discussão, mais uma vez, o uso da vegetação, com destaque para a escolha assertiva das espécies. Alvarez et al. (2012) defende a utilização de diferentes espécies do Bioma Caatinga no ambiente semiárido e indica uma lista com vinte e quatro espécies nativas adequadas para arborização urbana, entre elas: *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão (aroeira), *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro) e *Aspidosperma pyriformium* Mart (pereira). Já Menezes et al. (2015) indicaram sete espécies arbustivas nativas e vinte exóticas adaptadas ao semiárido com potenciais de uso paisagístico nesta região.

Mediante essas soluções bioclimáticas apontadas para o semiárido paraibano, percebe-se que é possível conceber e implementar melhores condições térmicas nesta região do Brasil, porém reconhece-se, assim como Gonçalves (1996), Kowaltowski (2011) e Buffa (2015), que as construções de edificações escolares brasileiras priorizam os aspectos funcionais e a restrição de investimentos, o que resulta em uma arquitetura padronizada, limitada aos espaços fechados e desconectada com as características locais (formato do lote, topografia, orientação solar, ventos dominantes, condições geológicas, entre outras peculiaridades).

Além disso, a presença do sistema mecânico (o ar-condicionado) em todas as salas de aula das escolas avaliadas, a análise dos dados coletados e da literatura apontam para a tese central – a falta de consideração das condições microclimáticas da região onde as edificações escolares analisadas foram construídas.

Pensar na valorização da cultura local e na adaptabilidade da arquitetura às condições locais implica na utilização dos materiais disponíveis na região e também na forma como se utiliza esses materiais. O que se vê com a padronização é que a escolha dos materiais e da técnica construtiva não considera a cultura local e as particularidades climáticas do semiárido. Um exemplo disso é o uso do vidro simples motivado pela disponibilidade no mercado da construção civil.

Mesmo diante o avanço nos conhecimentos sobre a arquitetura bioclimática, acredita-se, como afirmou Gonçalves (1996), que a situação do edifício escolar no

Brasil é determinada pelo modelo de desenvolvimento econômico, social e político, uma vez que as restrições de cunho político, econômico e organizacional impostas ao projeto arquitetônico da escola levam à prática da padronização e ao descompromisso com as adequações ao lugar ou com os impactos ambientais gerados pelo ambiente construído.

Neste cenário, pode-se considerar que as condições térmicas dos ambientes destinados ao ensino no Brasil estão relacionadas a esse descomprometimento do poder que deveria ser para o servir do público, mas é sequestrado pelo poder financeiro. O domínio empresarial se impõe ao poder do estado, através de determinações do mercado econômico.

Assim, fica evidente a importância da participação popular e a necessidade do devido reconhecimento da sociedade aos estudos e as aplicações das adaptações do edifício ao clima local, pois construções inadequadas vêm causando problemas como o aumento da temperatura local e o uso excessivo de ar condicionado o que provoca desconforto térmico e alto consumo de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados das temperaturas horárias e as constatações decorrentes das análises, foi possível verificar, do ponto de vista térmico, as condições oferecidas aos estudantes e professores em ambientes internos e externos localizados em duas escolas públicas de uma região do semiárido paraibano.

A análise das classes do conforto térmico estabelecidas por Thom (1959), permitiu verificar que nos ambientes interiores predominaram as condições de desconforto térmico. Esse resultado confirma a hipótese inicial de que as escolas selecionadas para essa investigação apresentam condições desconfortáveis.

A verificação de predominância de condições parcialmente confortáveis a desconfortáveis nas salas de aula e a constatação de diferenças térmicas de até 4°C a mais que o ponto arborizado e de até 7°C a mais que o ponto descoberto, no período noturno e nas primeiras horas do dia, revela o potencial de situações desconfortáveis e de temperaturas elevadas dos ambientes internos e comprova que as salas de aula avaliadas nesta pesquisa estão desconectadas dos princípios bioclimáticos adequados para essa região do semiárido paraibano.

O estudo concluiu que as temperaturas internas registradas mostram a necessidade da reavaliação dos padrões construtivos para as edificações analisadas. Os materiais construtivos armazenam calor, o que aquece o ar interno da edificação, gerando desconforto térmico também no período noturno, quando não há incidência solar.

As comparações entre os atributos arquitetônicos e os dados climáticos locais coletados nos dois períodos de investigação, apontaram que as temperaturas têm relações com variáveis arquitetônicas, pois foi verificada a existência de temperaturas mais elevadas em virtude de algumas características arquitetônicas que puderam ser consideradas (aberturas para orientação sudoeste, não utilização da ventilação cruzada, cobertura com telha de fibrocimento), assim como foram relacionadas temperaturas mais baixas com o aproveitamento da ventilação predominante, a proximidade de vegetação e a cobertura de telhas cerâmicas e laje inclinada.

A partir das análises, foi possível perceber que as características arquitetônicas comparadas têm pesos importantes para a compreensão do fenômeno, porém o comportamento climático dos pontos não pode ser explicado por uma variável isoladamente, sendo necessário considerar também a associação dessas variáveis.

Ciente disso, segue uma lista de variáveis arquitetônicas que apontaram influências nas diferenças das temperaturas no interior dos ambientes internos analisados:

1. A orientação das janelas em relação aos ventos predominantes locais e em relação a posição do sol, nas salas de aula da EECIT, pois mesmo localizadas na mesma edificação apresentaram, aproximadamente, 2°C de diferença térmica;
2. A circulação de ar promovida pela ventilação cruzada repercutiu em temperaturas mais amenas, nos pontos internos localizados na EECIT, sobretudo no ponto P1. Esse fato indica que o resfriamento por trocas térmicas, promovido pela ventilação noturna e recebida de forma mais direta na fachada nordeste no ponto P1, é um fator importante na influência do conforto térmico, nas primeiras horas do dia;
3. A composição dos materiais utilizados na cobertura das edificações estudadas revelou exercer influência sobre as trocas de energia e calor, alterando diretamente os valores das variáveis atmosféricas;
4. A arborização presente nas proximidades das salas de aula (pontos P1 na EECIT e ponto P3 no IFPB) apresentou-se como um outro parâmetro diferenciador, o que pode ter influenciado na diminuição das temperaturas e, sobretudo, no aumento da umidade relativa do ar;
5. A proteção das aberturas através de brises horizontais metálicos fixos e do pátio interno presentes nos pontos P1 e P2 da EECIT sugere que as barreiras de proteção à insolação utilizadas têm associação com a diminuição das temperaturas. Desse modo, a adoção de elementos construtivos sombreados pode possibilitar melhor uso da ventilação, uma vez que minimiza as temperaturas internas mais elevadas, salientando que outros fatores como a orientação das janelas em relação a posição do sol tem grande influência nas temperaturas.

Sendo assim, faz-se necessário atentar para esses pontos, sobretudo, no momento da elaboração do projeto do edifício escolar, para atenuar os problemas relacionados as condições de temperatura elevada e diminuir o alto consumo de energia com uso do condicionamento artificial.

Feito este breve apanhado geral, sugere-se, para os estudos futuros, um aprofundamento sobre o sombreamento de árvores e arbustos e as suas influências no interior das edificações. Propõe-se também um maior entendimento da influência

de elementos vazados associados às prateleiras de luz em salas de aula, nesta região do semiárido.

Considera-se necessário, também, avaliações sobre a contribuição do pátio interno como recurso arquitetônico capaz de modificar as condições térmicas dentro do próprio pátio, no interior das salas de aula e no exterior de edificação localizada nessa região do semiárido.

Para uma medição da influência da ventilação cruzada, propõe-se a coleta de dados em salas de aula semelhantes, com aberturas voltadas para mesma orientação e com condições distintas de abertura das janelas.

Outras avaliações em salas de aula poderão também discutir mais atributos que influenciam nas condições térmicas dessa região do semiárido paraibano, como por exemplo, a proximidade com água.

Além disso, sugere-se que as condições térmicas de escolas municipais do semiárido sejam objeto de exploração nas próximas pesquisas, pois estas escolas apresentam deficiência qualitativa na infraestrutura com aparente desigualdades em relação as escolas federais e estaduais.

Por fim, recomenda-se ações extensionistas com um olhar paisagístico e pedagógico aos ambientes externos de escolas, o que poderá permitir intervenções viáveis nas estruturas das instituições já construídas, visando uma valorização dos espaços abertos no processo educativo e na maior aproximação com áreas verdes de forma a aliviar as condições térmicas diurnas e também para desenvolver políticas públicas e educação ambiental na escola.

A pesquisa chega ao fim com o sentimento de que existe, ainda, muito a se investigar e analisar. Espera-se que as reflexões aqui colocadas possam colaborar nas discussões das próximas pesquisas e despertar o interesse da adequação da edificação ao clima local desde a concepção arquitetônica.

REFERÊNCIAS

_____. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2015b.

_____. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. 1ª Ed. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

_____. Estratégias Bioclimáticas de Reabilitação Ambiental Adaptadas ao Projeto. In: _____. et. al. **Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística – Registro do Curso de Especialização Reabilita**. Brasília. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2015a. Cap. 7.

_____. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2013.

_____. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Editora: CopyMarket.com, 2000

_____. **Sustentabilidade: o desafio da construção de cidades**. Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, ed. 142, 2006. Disponível em: <http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/142/artigo21835-2.aspx>. Acesso em: 31 ago. 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edifícios habitacionais - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABREU, Loyde Vieira. **Estudo do raio de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings: a Design Handbook**. London: James&James Science Publishers, 1998.

ALUCCI, M. P. **TAO: uma metodologia para implantação de edificação – Ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e energético**. Tese de Livre-Docência. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2007.

ALVAREZ, Ivan André et al. **Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais da Caatinga**. Colombo : Embrapa Florestas, 2012. Acesso em 05/10/2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/947072/1/Doc.243arborizacao_urbana.pdf.

AMORIM, Margarete Cristiane de C Trindade. CLIMATOLOGIA E GESTÃO DO ESPAÇO URBANO (climatology and urban space management). **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 71 a 90, dezembro de 2010. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/534>. Acesso em 16 de fevereiro de 2020

AMORIM, Rafael PL; LEDER, Solange M.; GONZÁLEZ-CRUZ, Eduardo. AVALIAÇÃO DO PONTENCIAL DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO INDIRETO NO CLIMA QUENTE E ÚMIDO E SEMI-ÁRIDO. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2020.

AMORIM, Rafael Ponce de Leon; MELLO, Hayanne Macêdo de; SOUZA, Hirley Pinheiro de. Avaliação de desempenho térmico em salas de aula no Alto Sertão da Paraíba – estudo de caso no IFPB, Campus Cajazeiras. **Revista Principia**, nº 42. 2018.

ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues. **Clima e vulnerabilidade socioespacial**: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA). Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente-SP. 2014.

ARAÚJO, Virgília M. Dantas de. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares** (o caso de Natal/RN). Teses & Pesquisas. EDURFRN. Natal-RN. 2001.

ASHRAE STANDARD 90.1-1999: **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: ASHRAE, 1999. 160 p.

AZEVEDO, G. A. N. **Arquitetura escolar e educação**: um modelo conceitual de abordagem interacionista. 2002. Tese (Doutorado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen; RHEINGANTZ, Paulo Afonso; TÂNGARI, Vera Regina (Orgs.). **O lugar do pátio escolar no sistema de espaços livres. Uso, forma e apropriação**. Rio de Janeiro, FAPERJ, 2017.

BALTAR, Francisca Maria Tereza dos Reis. **Programas de escolas na segunda metade do século XIX**: as escolas construídas pelo arquiteto Bethencourt da Silva. Dissertação em História da Arte. Universidade Federa do Rio de Janeiro, Escola de Belas Artes. 1999.

BAPTISTA, Júlio Londrim de Sousa Cruz. **TECNOLOGIA VERNACULAR VS. TECNOLOGIA GLOBAL: CRIAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE PROJECTO PARA PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO**. Sustentabilidade de Estruturas Ligeiras e sua Aplicação no Sudoeste de Angola. Tese de Doutorado em Arquitetura. Especialidade: Tecnologia e Gestão da Construção. Universidade de Lisboa. Faculdade de Arquitetura. 2014.

BARBIRATO, Gianna Melo; SOUZA, Lea Cristina Lucas de; TORRES, Simone Carnaúba. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL. Maceió, 2007.

BARDA, Marisa. **A importância da arquitetura vernacular e dos traçados históricos para a cidade contemporânea**. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: História e Fundamentos da Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo Bueno. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Tese (Doutorado). Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

BENCOSTTA, M. L. **História da educação, arquitetura e espaço escolar**. São Paulo, SP: Cortez. 2005.

BENCOSTTA, M. L., e Correia, A. P. P. Arquitetura moderna e espaços modelares para as práticas esportivas em ambiente escolar: o exemplo do Colégio Estadual do Paraná (Curitiba, 1943-1950). **Linhas**, 12(1), 95-110. 2011.

BENCOSTTA, Marcus Levy. A escrita da arquitetura escolar na historiografia da educação brasileira (1999-2018). **Revista Brasileira de História da Educação**, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/rbhe.v19.2019.e064>.

BENCOSTTA, Marcus Levy. Arquitetura e espaço escolar: reflexões acerca do processo de implantação dos primeiros grupos escolares de Curitiba (1903-1928). **Educar em Revista**, 18, 103-141. 2001.

BOGO, Amilcar et al. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Florianópolis: UFSC, 1994. Relatório interno nº 02/94.

BOGO, Amilcar J. **Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social**. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 7º Seminário Internacional. São Paulo: NUTAU/USP, 2008. Disponível em <http://www.usp.br/nutau/CD/30.pdf>.

BOLSSONI, Gabriela da G., & LARANJA, Andréia C.. (2021). Performance luminosa da associação entre elemento vazado, janela alta e prateleira de luz. **Cardemos de Arquitetura e Urbanismo**, Paranoá, (29). <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n29>. 2021.

BORGES, Danniely Alves Benicio. **Arborização na cidade de Patos/PB: diagnóstico, benefícios térmicos da vegetação urbana e potencialidades paisagísticas de espécies nativas da Caatinga**. Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), UFPB, João Pessoa, 2019.

BRANDÃO, Maria da Glória de Sousa. **A incorporação de condições climáticas em projetos de arquitetura: o edifício solar hemicírculo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia urbana) – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução 466**: diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília: Ministério da Saúde, 2012. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html. Acesso em: 02 fevereiro de 2021.

BRITO, Flavia B.R. de; SILVA, Luiz Bueno da. SOUZA, Erivaldo L. de Souza; BARROS, Thaina S.R. Study of globe temperature relative to air temperature during cognitive activities in information technology laboratories. **Work**, Vol.62(3), pp.393-410. 2019.

BRITO, Flávia Brandão Ramalho de. **Estudo da temperatura de globo em relação à temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alteração climáticas em áreas das regiões brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção). Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa. 2017.

BRITO, Flávia Brandão Ramalho de; SILVA, Luiz Bueno. **Característica térmicas em ambientes de ensino**. João Pessoa. Editora da UFPB. 2017.

BUFFA, Ester. Grupos escolares paulistas: organização do espaço e propostas pedagógicas (1893-1971). **International Journal for Studies in Mathematics Education**. v. 8, n.1, p. 128-154, 19 de junho. 2015.

BUFFA, Ester; PINTO, Gelson de Almeida. **Arquitetura e Educação: Organização do Espaço e Propostas Pedagógicas dos Grupos Escolares Paulistas, 1893/1971**. São Carlos: EdUFSCar, 2002. 174 p.

CALLEJAS, Ivan; Durante L. C., Rosseti K. A. C., Contribuição da pavimentação asfáltica para o aquecimento de áreas urbanas. **E&S - Engineering and Science**, 2015.

CALLEJAS, Ivan; Durante, Luciane; Diz-Mellado, Eduardo; Galán-Marín, C. Thermal sensation in courtyards: potentialities as a passive strategy in tropical climates. **Sustainability**, v.12, n.15, p.6135, 2020.

CAMARGO, Maristela Gomes, FURLAN, Maria Montserrat Diaz Pedrosa. Resposta fisiológica do corpo as temperaturas elevadas. **Revista Saúde e Pesquisa**. v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011.

CARVALHO, V.F.M. de. **Contributos bioclimáticos para o planeamento urbano sustentável**: medidas de mitigação e de adaptação enquanto resposta às alterações climáticas. Dissertação (Mestrado em Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano) – Faculdade de Letras da Universidade do Porto – Portugal. Porto, 2006.

CHAHIN, Samira Bueno. **Cidade nova, escolas novas?** Anísio Teixeira, arquitetura e educação em Brasília. Tese de Doutorado em Arquitetura. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018.

CHANG, C.; LI, M. Effects of urban parks on the local urban thermal environment. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdã, v. 13, p. 672-681, 2014.

CHOAS, Mona Lisa Lobo de Souza. **Sobre as características do espaço arquitetônico facilitadoras do ensino-aprendizagem na universidade.** Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. 2016.

CINTRA, Milena Sampaio. **Arquitetura e luz natural - A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais.** 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2011.

COHEN, B. J.; WOOD, D. L.. O corpo humano na saúde e na doença. São Paulo, SP: Manole, 2002.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente.** 2.ed. São Paulo: Atual, 1998.

CONTO, V.; Olive ira, M. L.; Ruppe nthal, J. E. **Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 12, nº 4, out-dez/2017, p. 100-127.

CORBELLA, Oscar; Corner, Viviane. **Manual de arquitetura bioclimática tropical para a redução de consumo energético.** Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2017.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - Conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2009.

CORGNATI, Stefano Paolo; ANSALDI, R.; FILIPPI, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, 44 (4), 785-792, 2009.

COSTA FILHO, Joaquim Alves da. **As novas dinâmicas socioespaciais no espaço urbano da cidade de Cajazeiras-PB como resultantes da presença do ensino superior.** Dissertação. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

COSTA, Ana Márcia Viana da. **Adequação de edificações escolares ao contexto climático de Maceió-AL,** com vistas à otimização de seu desempenho térmico. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura. 2012.

COSTA, Ana Márcia Viana da; BARBIRATO, Gianna Melo. **Arquitetura adaptada ao clima: análise comparativa dos Centros de Atenção Integral à Criança de Maceió.** In X encontro nacional e VI encontro latino americano de conforto no ambiente construído. Anais p. 883-892. Natal: ANTAC. 2009.

COSTA, Angelina Dias Leão. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos**: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Natal, RN, 2003.

COSTA, Ennio Cruz da. **Arquitetura ecológica**: condicionamento térmico natural. Blucher. 1982.

COSTA, Nayane Áurea Santiago. **O moderno no urbano**: reflexos de uma arquitetura escolar no patrimônio cultural de Teresina (1970-1985). Dissertação em História do Brasil. Universidade Federal do Piauí, 2017.

CUNHA, Eduardo Gala da. (org.). **Elementos de arquitetura de climatização natural**: método projetual buscando a eficiência nas edificações. Masquatro Editora. Porto Alegre, 2006.

DÓREA, C. R. D. **Anísio Teixeira e a arquitetura escolar**: planejamento escolas, construindo sonhos (Tese de Doutorado em Educação). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. 2003.

DÓREA, C. R. D. Anísio Teixeira e a arquitetura escolar: planejando escolas, construindo sonhos. *Revista da FAEBA*, 13, 151-160. 2000.

ELALI, Gleice Azambuja. **Ambientes para educação infantil**: contribuição metodológica na Avaliação Pós-Ocupação de edificações e na elaboração de diretrizes para projetos arquitetônicos na área. Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. USP. 2002.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1. ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FANGER, Povl Ole. **Thermal comfort**. Nova York: McGraw-Hill Book Co., 1972.

FANTE, Karime Pechutti. **EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA E SEUS IMPACTOS NO CONFORTO TÉRMICO HUMANO**: estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima. 2019. 327 p. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filholl, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente – SP, 2019.

FERNANDES, Aiany Oliveira; SCHWARZ, Maria Luiza e GALVÃO, Josia de Castro. A biodiversidade vegetal da cidade de Cajazeiras-PB nas representações da população local. XI **Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande**. 2014. Disponível em: https://posgraduacao.ufcg.edu.br/anais/2014/resumos/xicicufcg_2385.pdf. Acesso em: 06. jun. 2020.

FOUCAULT, Michel. **Vigiar e punir: nascimento da prisão**. Tradução: Raquel Ramallete. 41 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

FROTA, AnésiaBarros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5ª edição. São Paulo. Studio Nobel, 2001.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de Janela e Dimensões de Ambientes para Iluminação Natural e Eficiência Energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy ; Buildings**, v. 1, p. 11–23 , 1992.

GIVONI, Baruch. **Man, Climate and Architecture**. 2. Ed. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

GONÇALVES, Rita de Cássia. **Arquitetura Escolar**: a essência aparece. Fábrica e escola confundem-se no desenho da Polivalente. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências da Educação. Florianópolis, SC. Brasil. 1996.

GOULART, S.; BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. 80 p. II. Relatório Interno n. 02/94. Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994. Disponível em: www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes. Acesso em julho. 2020.

GRAÇA, V. A. C. da. **Otimização de Projetos Arquitetônicos considerando Parâmetros de Conforto Ambiental**: O caso das Escolas da Rede Estadual de São Paulo. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

HAZBOUN, Viviane Diniz. **Desempenho da luz natural em ambientes com aberturas voltadas para leste considerando a influência dos usuários**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Natal, 2018.

HEYWOOK, Huw. **101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. Tradução, revisão técnica e preparação de texto: Alexandre Salvaterra. São Paulo: Gustavo Gili, 2015.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste**. UFPE. 1976.

IDHEA. Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. **Nove passos para a obra sustentável**. Disponível em: [http:// www.idhea.com.br](http://www.idhea.com.br).. Acessado em 05/04/2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em:

<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>. Acesso em: 9 de outubro de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp#normas>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Anexo da portaria INMETRO nº 372 / 2010. Brasília, 2010b.

KAPLAN, Leonardo. Análise preliminar do projeto escolas sustentáveis: estudo de caso da primeira escola sustentável do Brasil, na Baía de Sepetiba (RJ). **XVI ENDIPE - Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino**. UNICAMP. Campinas, 2012.

KATZSCHNER, Lutz. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: FAUFBA, ANTAC, 1997. p. 49-58.

KOWALTOWSKI et al.. **Divulgação do conhecimento em conforto ambiental**. VI ENCAC, São Pedro, São Paulo, 11 a 14 de setembro, 2001.

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

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K; LABAKI, Lucila C.; SILVA, A.; MIKAMI, G. Conforto e ambiente escolar. Pina1 **Cadernos de Arquitetura**. Bauru, DAUP/FAAC/UNESP, n. 3 jul./dez. 2001.

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/> . Acesso em: nov. 2019.

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

LAMBERTS, Roberto et al. **Casa eficiente**: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

LAMBERTS, Roberto, GOULART, Solange, VECCHI, Renata. **Conforto e Stress Térmico**. Apostila do curso de Engenharia Civil. Laboratório de Eficiência Energética. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

LAMENHA, Melyna de Almeida. **A escola técnica do programa Brasil profissionalizado**: um projeto padrão para diferentes zonas bioclimática? Dissertação, Alagoas, 2016.

LIMA, João Filgueiras (org.) **João Filgueiras Lima**: Lelé. Lisboa: Editora Blau / SP: Instituto Lina Bo e P.M. Bardì, 1999.

LIMA, Pollyanna Priscila de Souza. **Estratégias bioclimáticas na arquitetura moderna de João Pessoa**: análise aplicada em três residências produzidas entre as décadas 1950-1980. Dissertação (Mestrado), UFPB. João Pessoa, 2015.

LIMA, Thiago Felix de; GOMES, Joyce Ferreira; SILVA, Juliana Maria Oliveira. A influência do conforto térmico nas escolas de Crato-CE. XVIII **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** (SBGFA): geografia física e as mudanças globais. ISBN: 978-85-7282-778-2. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. Junho de 2019.

LOMBARDO, Magda A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

MACHADO, W. S.; LEAL, L. Q. Iluminação natural em sala de desenho: um estudo no semiárido paraibano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Foz do Iguaçu, 17.,2018. **Anais...** Porto Alegre: ENTAC, 2018.

MAIOLI, R. **Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

MANZANO-AGUGLIARO, F. et al. Review of Bioclimatic Architecture Strategies for Achieving Thermal Comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Almería, v. 49, p. 736-755, maio de 2015. ISSN 1364-0321.

MARÇAL, Viviane Gomes. **Análise de índices de conforto térmico não convencionais**: uma avaliação em ambiente escola. Tese doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2016.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 7º ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, Tássia Helena Teixeira. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP**. 2013. 143p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARTINS, T. A.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr. / jun. 2012. ISSN 1678-8621

MASCARÓ, Lucia E. A. R. ; MASCARÓ, Juan Luis. **Vegetação urbana**. 1a. ed. Porto Alegre: UFRGS FINEP, 2002.

MASCARÓ, Lucia R. **Energia na Edificação. Estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, 1985.

MEDEIROS, Cleyton Santos de. **Avaliação do conforto térmico em edificações escolares no semiárido potiguar:** estudo aplicado em escolas do ensino médio na cidade de Caicó/RN. 162f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MENDES, Ariele Luckwu. **Arquitetura Bioclimática na Amazônia:** Um Estudo da Obra de Severiano Mário Porto no Setor Norte do Campus UFAM. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas. 2019.

MENDONÇA, F.A. e VERRÍSSIMO, M.E.Z. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR.** Tese de Doutorado em Geografia USP, pg. 300. 1994.

MENEZES, Hamstrong Ellen Alencar et al. Espécies arbustivas selecionadas para o paisagismo no semiárido paraibano. **Ambiência**, v. 11, n. 1, p. 175-195, 2015.

MOSER, Werner. La escuela en la ciudad. In AC, **Documentos de Actividad Contemporanea**, ano III, nº 9, Abr./Jun. 1933, p. 28.

MUELLER, Cecília Mattos. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental:** o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo USP, Programa de Pós-graduação, São Paulo, 2007.

MÜLFARTH, Roberta Consentino Kronka. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental.** Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo (USP). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo São Paulo. 2003.

MUNCK, Cécile de; PIGEON, Grégoire; MASSON, Valéry; MEUNIER, Francis; BOUSQUET, Pierre; TRÉMÉAC, Brice; MERCHAT, Michèle; POEUF, Pierre; MARCHADIER, Colette. How much can air conditioning increase air temperatures for city like Paris, France?. **International journal of climatology**. DOI: 10.1002/joc.3415. 2013.

MUNIZ-GÄAL, Lígia Parreira. **Impacto da geometria urbana e da legislação de uso e ocupação do solo no microclima de cânions urbanos.** Campinas: PUC-Campinas, 2017.

NERES, Suellen C. T.; SANTOS, Joel Silva dos; CARVALHO, Rodrigo G. de. Campo térmico urbano e sua relação com o uso e cobertura do solo na cidade de Mossoró – Rio Grande do Norte. **Gaia Scientia**. Volume 9(1): 44-52. 2015.

NEVES, Letícia de Oliveira; KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; RUSCHEL, Regina Coeli. Um panorama sobre a temática do conforto ambiental. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 198-201, dez. 2016. ISSN

1980-6809. Disponível em:

<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649272>. Acesso em: 16 maio 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8649272>.

NIMER, Edmon. (1989). **Climatologia do Brasil**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Rio de Janeiro.

OCHOA, Juliana Herlemann. **Análise do conforto ambiental em salas de aula da Universidade Federal de Goiás**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica das Estruturas). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

OCHOA, Juliana Herlemann; ARAÚJO, Daniel lima; SATTLER, Miguel Aloysio . Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído** (Online), v. 12, p. 91-114, 2012.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Londres: Metheum, 1978.

OLGYAY, Vitor. **Arquitetura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili. Espanha, Barcelona, 1998.

OLGYAY, Vitor. **Design with climate**: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press, 1963.

OLIVEIRA, Airton Danilo de Sousa; ABREU, Dafi Irenice de; SILVA, George da Cruz; MENESES, Sarahbelle Leitte Cartaxo. Composição arbórea do IFPB-Campus Cajazeiras. **Revista Principia**. N° 44. Janeiro de 2018.

OLIVEIRA, Andréia Cardoso de. **A influência das recomendações do zoneamento bioclimático brasileiro no desempenho térmico da envoltória de edificações de interesse social nos municípios da Paraíba**. Dissertação de mestrado. UFPB. João Pessoa, 2013.

OLIVEIRA, Andréia Cardoso de; LEDER, Solange Maria. Trançando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos. **Cardernos do PROARQ**, UFRJ, v. 20, p. 138-165, 2014.

OLIVEIRA, Paolo Américo de. **Influência dos elementos de envoltória no desempenho termo-energético de edifícios institucionais no clima tropical semiárido**. Dissertação (programa de pós-graduação em ambiente, tecnologia e sociedade). Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

OLIVEIRA, Paolo Américo de; LUNARDI, Diana Gonçalves. Influência da envoltória no desempenho termo energético de edificações institucionais no semiárido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n.4, p. 276-289, dez. 2018.

OLIVEIRA, Paulo Marcos de. **Cidade apropriada ao clima**: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado em Arquitetura pela Universidade de Brasília, Brasília, 1988.

PAES, Rosângela Fulche de Souza. **Conforto ambiental nas escolas públicas de ensino fundamental da cidade do Rio de Janeiro**: uma contribuição à qualidade arquitetônica a partir da seleção do terreno e da implantação. Tese. Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2016.

PAIVA, Ricardo Alexandre. O Ministério da Educação (1937 – 1945) no Rio de Janeiro: arquitetura, clima e cultura. **Nutau**, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Paiva10/publication/336592141_O_MINISTERIO_DA_EDUCACAO_19371945_NO RIO DE JANEIRO ARQUITETURA CLIMA E CULTURA/links/5da79207a6fdccdad54aca10/O-MINISTERIO-DA-EDUCACAO-1937-1945-NO-RIO-DE-JANEIRO-ARQUITETURA-CLIMA-E-CULTURA.pdf. Acesso em: 14 de julho de 2020.

PAULERT, Renata. **Uso de elementos vazados na arquitetura: estudo de três obras educacionais contemporâneas**. 2012. 134f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

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

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. In: **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391-3399, 2011.

PERILLO, Paulo José Lima; CAMPOS, Marcus André Siqueira; ABREU-HARBICH, Loyde Vieira. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650268>.

PERILLO, Paulo José Lima; CAMPOS, Marcus André Siqueira; ABREU-HARBICH, Loyde Vieira. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650268>. Acesso em: 22 agosto. 2020.

QUADROS, Marina E.; LISBOA, Henrique de Melo ; OLIVEIRA, Veturia L. ; SCHIRMER, Waldir Nagel . Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n.3, p. 431-438, julho/setembro. 2009.

QUEIROZ, Gabriel Ramos; Naiara Karin Schimaniak; Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos; Giane de Campos Grigoletti. Autodesk Revit® como ferramenta BIM aplicada à simulação térmica de edificações. **Revista de Arquitetura IMED**, 4(2): 33-41, jul./dez. 2015.

RAMPAZZO, Camila Riboli. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades**

paulistas. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019.

RIVERO, Roberto. *Arquitetura Clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D.C. Luzzatto/UFRGS, 1985

ROBERT VALE; BRENDA. **La casa autônoma**: diseño y planificación para la autossuficiência. Editora: Gustavo Gili. Barcelona. 1978.

ROLIM, Eliana de Souza. **Patrimônio arquitetônico de Cajazeiras-PB**: memória, políticas públicas e educação patrimonial. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em História, UFPB, João Pessoa, 2010.

ROMERO, Marcelo de Andrade. A arquitetura, o conforto ambiental e o comportamento dos usuários. **Sinopses**, São Paulo, no. 34 p 31-49, dezembro/2000.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. [et al.]. **Relação entre mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília – Distrito Federal – Brasil. 2019.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura solar**: descrição e aplicação na habitação popular. Campinas: PUC, 1978.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. Padrões de referência da sustentabilidade de espaços do campus universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 1, 2003. Disponível em <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12273>. Acesso em: 20 jan. 2017.

ROMERO, Marta Bustos et al. Sofrer para aprender: desconforto ambiental em salas de aula. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). *Anais*. Sao Pedro, 2001. CD ROM.
<https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/issn.1679-0944.n1.2003.12274/9097> 28/07/2020

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Um Zoneamento Bioclimático para a Arquitetura no Brasil. In: JORNADA SOBRE CLIMA E APLICAÇÃO NA COMUNIDADE DE PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., Maceió, AL, 2001. **Anais...** Maceió: UFAL, 2001. p. 1-7.

RORIZ, M; CHVATAL, K.; CAVALCANTI, F. S. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, 10, Natal, 2009. **Anais eletrônicos...**Natal: ENCAC, 2009.

RORIZ, Maurício. **Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros**, 2012. Disponível em: http://www.roriz.eng.br/download_6.html. Acesso em: 12. jun. 2020.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC. São Carlos, 2012.

RORIZ, Maurício. **Conforto Térmico em Edificações**: um modelo matemático e uma aplicação. Tese de doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SANT'ANNA, Marcia. **Arquitetura popular**: espaços e saberes. Políticas Culturais em Revista, v. 6, n. 2, p. 40-63, 2014.

SANTOS, Joel Silva dos. **Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida**. Tese de doutorado. Campina Grande, 2011.

SARTORI, Maria da Graça Barros. **Clima e percepção em geografia**: Fundamentos teóricos – A percepção climática e a bioclimatologia humana. Santa Maria/RS: [s.n], 2014.

SARTORI, Maria da Graça Barros; TITARELLI, Augusto Humberto Vairo. **Clima e percepção**. 2000. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SCHMID, Aloísio Leoni; SILVA, Bárbara A. da; GREGGIANIN, Calisto; MONICH, Carla Rabelo; PEREIRA, Cristiane Baltar, LOSS, Juliana, MARCHESINI, Isabella, CARBONI, Márcio Henrique, CHISSANO, Martina Joaquim; PAULERT, Renata. O tratamento do conforto térmico em lançamentos imobiliários na zona temperada: a questão da regionalização da arquitetura. Revista **Vitruvius – arqtextos**. ISSN 1809-6298. 146.07. ano 13, julho de 2012.

SEGAWA, Hugo. **Arquiteturas no Brasil: 1900-1990**. 2.ed. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo. 1999.

SILVA, Abrão Amerio. **Uso e conservação de um remanescente de caatinga arborea no município de Cajazeiras-PB**: elementos para gestão ambiental. Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. UFPE. 2002.

SILVA, Arthur Santos. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade**. Tese. Florianópolis, SC, 2016.

SILVA, G.G. **Marcos da Arquitetura moderna em Pernambuco**. In: WISSENBACH, V. (ed.) **Arquiteturas no Brasil / Anos 80**. São Paulo: Projeto, 1988.

SILVA, Luiz Bueno. Análise sobre conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com vídeo display terminais (VDT): Estudos de multicasos no Nordeste do Brasil e Norte de Portugal. Projeto de pesquisa submetido ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vinculado ao MCTI/CNPq, 2013.

SILVA, Talita Maria. **Espaço escolar, arquitetura e pedagogia no Recife**: notas para uma modernização sem mudança. Dissertação de Mestrado em Educação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2012.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros**: diretrizes e base metodológica. 210 pp. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

SILVEIRA, Ana Lucia R. C. da; CRAVEIRO, Jaísse. **Análise da adequação bioclimática de edifícios modernos em Teresina-PI**. In: 8º Seminário DOCOMOMO Brasil. Cidade Moderna e Contemporânea, Rio de Janeiro: 2009.

SOARES NETO, Joaquim José; RIBEIRO de JESUS, Gírlene; KARINO, Camila Akemi; ANDRADE, Dalton Francisco de. **Uma escala para medir a infraestrutura escolar**. Aval. Educ., São Paulo, v. 24, n. 54, p. 78-99, jan./abr. 2013.

SORGATO, Márcio José; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - **ENCAC/ELACAC** Brasília. 2013.

SOUSA, Aloysio Rodrigues de. **Análise das Inundações a partir de Atributos Hidro – Climatológicos e Ambientais na Bacia Hidrográfica do rio do Peixe – PB**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2013.

SOUSA, Mayara Cynthia Brasileiro de. **Desejo por conforto térmico**: estratégias adaptativas e modelos de conforto térmico no semiárido paraibano. Dissertação (programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SOUZA, Carla Priscila de; NOGUEIRA, Wilma G. C.; SARAIVA, Ana Luiza B. da Costa. Conforto térmico humano em ambientes escolares de clima semiárido, **Revista Geo. Interações**, 2018.

SOUZA, Larissa Negris de. **Arquitetura escolar, parâmetros de projeto e modalidade de aprendizagem**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP. 2018.

TEIXEIRA, Anísio S. A escola parque da Bahia. Rio de Janeiro: **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, vol. 47, nº 106, abr.jun. 1967, p. 246-253.

THEODOSIOU, T. G.; ORDOUMPOZANIS, K.T. Energy, Comfort and Indoor Air Quality in Nursery and Elementary School Buildings in the Cold Climatic Zone of Greece. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 12, p. 2207-2214, 2008.

THOM, E.C. **The Discomfort Index**. Weatherwise, v.2, n.1, p.567-60, 1959.

TOLEDO, A. (1999). O lugar da arquitetura bioclimática no panorama das tendências da arquitetura moderna e contemporânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC. CD-ROM.

TONDO, Gabriela Hanna. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edifícios escolares**. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Joinville , 2017.

TRAJBER, R.; SATO, M. Escolas sustentáveis: incubadoras de transformações nas comunidades. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental (FURG)**, vol. especial, setembro de 2010.

VELOSO, Maísa. **Adequação da Arquitetura a climas quente e seco: o caso da Arquitetura vernácula do sertão nordestino**. 1999.

VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

VIANA, Simone S. Menotti. **Conforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP**. Doutorado em Geografia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2013.

VIEIRA, Luciana Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. **A emergência do conceito de Arquitetura Sustentável e os métodos de avaliação do desempenho ambiental de edificações**. *Humanae*, v.1, n.3, p. 1-26, Dez. 2009.

WALIKIEWITZ, N, Janicke B, Langner M, Meier F, Endlicher W. The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. **Building and Environment**. 84:151-61. 2015.

WOLFF, Silvia Ferreira Santos. **Espaço e educação: os primeiros passos da arquitetura das escolas públicas paulistas**. Dissertação de Mestrado. FAUUSP. 1993.

YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a “silver bullet” for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 830–843, 2015.

ZAMBRANO, L.M.A. **Integração dos princípios da sustentabilidade ao projeto de arquitetura**. Tese de Doutorado em Arquitetura. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

ZOMORODIAN, Zahra Sadat; TAHSILDOOST, Mohammad; HAFEZI, Mohammadreza. Conforto térmico em edifícios educacionais: um artigo de revisão. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 59, p. 895-906, Junho 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Ficha informações sobre a escola

| | |
|--|---|
| NOME DA ESCOLA: | |
| Número de alunos | Manhã () Tarde () Noite () |
| Número de funcionários | |
| Número de salas de aulas | |
| Equipamentos nas salas de aulas | Tipo/ Quantidade/ Localização/ Materiais |
| Ventiladores | |
| Lâmpadas | |
| Ar condicionado | |
| Cortinas | |
| Elementos externos | Tipo/ localização |
| Telhados | |
| Jardins/ vasos | |
| Vegetação arbórea | Baixa () Média () Alta () |
| Paredes (cor) | |
| Outras observações: | |

**APÊNDICE B - Ficha análise dos atributos arquitetônicos baseada em Romero
(2015, p.165)**

| IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO | |
|--|---|
| Características das edificações Dimensões: Área construída: Forma do bloco: Forma do conjunto: Funções e usos: <u>Distância entre as edificações:</u> Incidência luz natural e artificial: Aspectos espaciais: Sol: Vento: Condução dos ventos: Sombreamento: | Entorno: Dimensões das edificações: Tipos de cobertura de solo: Densidade urbana: Informações sobre o terreno Orientação: Topografia: Dimensões: Tipos de cobertura de solo: Área de pátios: Percentual de área permeáveis: |
| VEGETAÇÃO | |
| Localização: Quantidade: Percentual de áreas verdes: | Espécies (tipo, altura, tamanho das copas): |
| MATERIAIS UTILIZADOS NAS EDIFICAÇÕES | |
| Propriedades de absorção solar: Transmitância térmica: Materiais isolantes utilizados: Reflexão: Cores e tonalidade dominante: | Tipos de materiais no piso: Tipos de materiais nas alvenarias: Tipos de materiais no telhado: Tipos de materiais no forro: Percentual de transparência: Espessura da envoltória (paredes e cobertura): |
| ABERTURAS DAS EDIFICAÇÕES | |
| Dimensionamento: Posicionamento: | Tipos (material e forma de abertura): Percentual: Dispositivos de proteção solar: |
| IMPLANTAÇÃO DAS SALAS DE AULA SELECIONADAS | |
| Características dos ambientes Dimensões: Área construída: Forma do ambiente: <u>Funções e usos:</u> Incidência luz natural e artificial: Fechamento das aberturas e uso de cortinas: Aspectos espaciais: Sol: Vento: Condução dos ventos: Sombreamento: | |

APÊNDICE C – Requerimento ao Comitê de Enfretamento a COVID

Eu, **WILMA FERNANDES PINHEIRO**, professora do IFPB Campus Cajazeiras, portadora do RG nº _____ e CPF nº _____, residente, atualmente, na Rua _____, nº ____, Bairro _____, Cidade de João Pessoa, Paraíba, CEP _____, telefone para contato: (83)_____, e-mail: *arquitetawilma@gmail.com*, venho, como doutoranda regular do curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), registrada sob a matrícula de nº 20191011801, juntamente com o orientador, Prof. Dr. Joel Silva dos Santos, **solicitar uso de 2 salas de aulas e de 1m² de dois pontos externos** (a definir) inseridos nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) *campus* Cajazeiras. O objetivo do pedido visa realizar observações dos atributos arquitetônicos que influenciam o conforto térmico e instalar equipamento denominado *datalogger* em cada sala de aula, um em uma área descoberta e outro em uma árvore para coletar dados das condições climáticas locais necessários à nossa pesquisa que pretende analisar os princípios da arquitetura bioclimática local e suas relações com as condições de conforto térmico em escolas públicas localizadas na região do semiárido paraibano. Durante as observações dos atributos arquitetônicos, a pesquisadora realizará algumas medições, registrará imagens e anotará, em fichas, dados a serem utilizados na análise. Nas Salas de aula, os aparelhos serão fixados com fita dupla face numa mesa central. Na área descoberta o *datalogger* será fixado, pela pesquisadora, num tripé a 1.50m do piso e na árvore o aparelho será amarrado no caule. A instalação do aparelho não acarretará nenhum tipo de ônus para a instituição ficando esta, também, isenta de qualquer tipo de responsabilidade por qualquer dano ou extravio que, porventura, venha a ocorrer no período em que o *datalogger* se encontrar nas suas dependências. A acomodação do referido equipamento está prevista para o mês de setembro de 2021 (período seco) e para o mês de janeiro de 2022 (período chuvoso). Em setembro, os aparelhos serão instalados no dia 08 e retirados no dia 17. Estaremos à disposição para sanar quaisquer dúvidas sobre a pesquisa, bem como oferecer o compartilhamento dos dados levantados, além da realização de cursos e oficinas sobre a temática, desde que estes não apresentem congruência com as atividades regulares do doutorado. Informo, ainda, que apenas eu estarei atuando em todas as etapas do processo com a colaboração de Rodrigo Bezerra Pessoa que auxiliará nas medições e no suporte necessário.

Wilma Fernandes Pinheiro
01 de setembro de 2021