



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**CONFORTO TÉRMICO EM PONTOS DE ÔNIBUS:
ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO**

Guilherme Mella dos Santos

Foz do Iguaçu
2026



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**CONFORTO TÉRMICO EM PONTOS DE ÔNIBUS:
ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO**

Guilherme Mella dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Egon Vettorazzi
Coorientador: Prof. Dr. António Figueiredo

Foz do Iguaçu
2026

GUILHERME MELLA DOS SANTOS

**CONFORTO TÉRMICO EM PONTOS DE ÔNIBUS:
ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Egon Vettorazzi
UNILA

Coorientador: Prof. Dr. António Figueiredo
UA

Prof. Dr. Ricardo Morel Hartmann
UNILA

Profa. Dra. Maíra Vieira Dias
UNESP

Foz do Iguaçu, 27 de março de 2026.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

S237

Santos, Guilherme Mella dos.

Conforto térmico em pontos de ônibus: estratégias bioclimáticas para clima subtropical úmido /
Guilherme Mella dos Santos. - Foz do Iguaçu, 2026.

126 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-
Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Foz do Iguaçu - PR, 2026.

Orientador: Egon Vettorazzi.

Coorientador: Antônio Figueiredo.

1. Aclimação - Arquitetura bioclimática. 2. Temperatura - Conforto térmico. 3. Arquitetura -
Estratégias passivas. 4. Software - Simulação computacional. 5. Microclimatologia - Microclima urbano.
I. Vettorazzi, Egon. II. Figueiredo, Antônio. III. Título.

CDU 72.02:551.58

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UNILA pela oportunidade na realização do programa de mestrado, me fornecendo as ferramentas físicas e intelectuais necessárias para o bom andamento do trabalho, e abertura de oportunidades acadêmicas antes intangíveis. Ao meu orientador Egon Vettorazzi e ao meu coorientador António Figueiredo, por terem aceitado me auxiliar nesta jornada, sendo fundamentais não somente pela condução do trabalho desenvolvido, mas também pelo aprendizado e respeito a mim repassado às boas práticas científicas. À Deus, que até aqui me trouxe, me sustentando em dias bons e dias difíceis. A minha esposa, Adriele Gruber, que me acompanhou e me apoiou em cada pequena etapa vencida desta jornada. A minha mãe, Jacqueline Mella, que me ensinou que a educação é o caminho para um mundo melhor. A Universidade de Aveiro, pela aquisição da extensão da licença do Envi_Met. Ao Itaipu Parquetec, por ter permitido o monitoramento de um ponto de ônibus em lugar seguro e controlado. Aos meus amigos Jairo Fuentes e Mayara Proença, pelos compartilhamentos das experiências vividas durante esse período. Agradeço também em geral a todos os professores e colegas que conheci durante esses dois anos e que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

Com o agravamento das ilhas de calor urbanas, os usuários dos pontos de ônibus ficam mais vulneráveis às condições climáticas extremas, resultando em menor qualidade de vida e prejuízos à saúde. Embora amplamente vivenciados no cotidiano urbano, o tema ainda é negligenciado no planejamento das cidades. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de pontos de ônibus em clima subtropical úmido, a partir do estudo de caso de Foz do Iguaçu/PR, a fim de identificar inadequações e subsidiar o desenvolvimento de um modelo adaptado que promova maior conforto térmico aos usuários, por meio de estratégias bioclimáticas. A metodologia constituiu no levantamento dos modelos existentes no município, catalogação e monitoramento das principais variáveis térmicas. A percepção dos usuários foi registrada por meio de questionário semiestruturado aplicado *online*. Paralelamente, foram simulados doze cenários urbanos por meio do *software* Envi_Met, representando situações reais. Com base nos resultados, foram desenvolvidos dois modelos de pontos de ônibus, um para as orientações Oeste e Leste e outro para Norte e Sul. Posteriormente, foi realizada simulação computacional dos dois projetos propostos, avaliando seu desempenho térmico. Os resultados da pesquisa de campo indicaram desconforto térmico recorrente, associado a registros de altas temperaturas do ar e elevadas temperaturas superficiais. Dados do questionário convergiram os resultados obtidos em campo, indicando elevado desconforto térmico. As simulações computacionais evidenciaram a influência do entorno imediato na redução da temperatura média radiante (TMR) e na temperatura superficial (Ts). Por fim, as duas soluções propostas apresentam redução de TMR e melhora no índice UTCI (Universal Thermal Climate Index). Conclui-se que, além das estratégias projetuais aplicadas ao ponto de ônibus, é necessário incorporar soluções no entorno imediato, de modo a potencializar o desempenho térmico, incluindo superfícies com menor absorvância solar, a ampliação das áreas sombreadas e o controle da radiação térmica incidente e refletida.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática. Conforto ambiental. Estratégias passivas. Simulação computacional. Microclima urbano.

ABSTRACT

With the intensification of urban heat islands, bus stop users become more vulnerable to extreme climatic conditions, resulting in reduced quality of life and adverse health effects. Although widely experienced in everyday urban life, this issue remains neglected in urban planning. This study aims to evaluate the thermal performance of bus stops in a humid subtropical climate, based on a case study in Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil, in order to identify inadequacies and support the development of an adapted model capable of promoting greater thermal comfort for users through bioclimatic strategies. The methodology consisted of surveying the existing bus stop models in the municipality, cataloguing them, and monitoring the main thermal variables. User perception was recorded through an online semi-structured questionnaire. In parallel, twelve urban scenarios were simulated using ENVI-met, representing real conditions. Based on the results, two bus stop models were developed, one for west and east orientations and another for north and south orientations. Subsequently, computational simulations of the two proposed designs were conducted to evaluate their thermal performance. Field research results indicated recurrent thermal discomfort associated with high air temperatures and elevated surface temperatures. Questionnaire data converged with the field results, indicating a high level of thermal discomfort. Computational simulations revealed the influence of the immediate surroundings on reducing mean radiant temperature (MRT) and surface temperature (T_s). Finally, the two proposed solutions showed reductions in MRT and improvements in the UTCI (Universal Thermal Climate Index). It is concluded that, in addition to the design strategies applied to the bus stop itself, it is necessary to incorporate solutions in the immediate surroundings in order to enhance thermal performance, including surfaces with lower solar absorptance, the expansion of shaded areas, and the control of incident and reflected thermal radiation.

Key words: Bus stop. Bioclimatic architecture. Environmental comfort. Passive strategies. Computational simulation. Urban Microclimate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha do tempo da história da mobilidade urbana no Brasil.....	17
Figura 2: Ciclo da perda de competitividade do Transporte Público Urbano (TPU)...	19
Figura 3: Parada de ônibus, comum no séc. XX	23
Figura 4: Ponto de ônibus convencional	23
Figura 5: Funções desejáveis de um abrigo de parada de ônibus	23
Figura 6: Classificação climática de Köppen–Geiger (2001-2025).....	26
Figura 7: Regiões de clima Cfa	27
Figura 8: Mapa de Foz do Iguaçu.....	27
Figura 9: médias climáticas de Foz do Iguaçu de 2008 a 2025.....	28
Figura 10: Carta solar de Foz do Iguaçu	30
Figura 11: Evolução do aquecimento global desde 1850	31
Figura 12: Carta bioclimática desenvolvida e adaptada por Givoni.....	37
Figura 13: Novo zoneamento bioclimático brasileiro (2024).....	38
Figura 14: Etapas do desenvolvimento do trabalho	41
Figura 15: Mapa de correlação das palavras chave	43
Figura 16: Número de publicações por país de origem.....	44
Figura 17: Quantidade de artigos por área.....	44
Figura 18: Vencedor do prêmio de melhor projeto de ponto de ônibus	50
Figura 19: Esquema metodológico adotado	52
Figura 20: diagrama dos agrupamentos dos modelos de ponto de ônibus encontrados em Foz do Iguaçu.....	53
Figura 21: Localização dos pontos de ônibus analisados	55
Figura 22: Equipamentos de medições térmicas utilizadas em pesquisa de campo.....	56
Figura 23: Modelos digitais dos pontos de ônibus avaliados	58
Figura 24: Organograma de desenvolvimento das simulações com Envi_Met 5.7 ...	60
Figura 25: Imagem aérea e frontal do ponto para calibração computacional.....	61
Figura 26: Identificação dos pontos de coleta de dados	62
Figura 27: Identificação da alternância de alturas nos pontos de coleta de dados ...	63
Figura 28: Modelo digital da área de calibração.....	64
Figura 29: Cenários de simulação.....	65
Figura 30: Mapeamento dos pontos de ônibus registrados em Foz do Iguaçu	68
Figura 31: Modelos de pontos de ônibus em foz do Iguaçu	69

Figura 32: Grupos monitorados.....	70
Figura 33: Medições contínuas de temperatura	71
Figura 34: Medições de temperatura de superfície nos pontos monitorados	74
Figura 35: Categoria de ponto de ônibus mais utilizadas.....	78
Figura 36: Elementos ineficientes ou ausentes nos pontos avaliados	78
Figura 37: Conforto térmico percebido pelos respondentes	79
Figura 38: Conforto percebido pelos usuários.....	80
Figura 39: Escala de conforto percebido	81
Figura 40: Quadro de correlação dos cenários simulados	82
Figura 41: Comparação dos cenários A	86
Figura 42: Comparação dos cenários B	87
Figura 43: Comparação dos cenários C.....	88
Figura 44: Comparação dos cenários D.....	89
Figura 45: Comparação de temperatura de superfície no cenário A	90
Figura 46: Comparação de temperatura de superfície no cenário B	91
Figura 47: Comparação de temperatura de superfície no cenário C.....	92
Figura 48: Comparação de temperatura de superfície no cenário D.....	93
Figura 49: Isometrias das propostas	97
Figura 50: Detalhe da cobertura verde.....	98
Figura 51: Quaresmeira, árvore indicada para o projeto proposto	98
Figura 52: Descrição dos materiais: Ponto de ônibus leste/oeste	99
Figura 53: Imagens do ponto de ônibus proposto no contexto urbano.....	100
Figura 54: Cenários das propostas modeladas no <i>Envi_MET</i>	101
Figura 55: Comparação dos resultados obtidos com as novas propostas	102
Figura 56: Temperaturas de superfície das novas propostas	103
Figura 57: Cálculo de UTCl das novas propostas comparados aos cenários extremos simulados	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos trabalhos selecionados	45
Quadro 2: Ponto C, projeção de sombra nos horários de pico.....	75
Quadro 3: Ponto CP, projeção de sombra nos horários de pico.....	75
Quadro 4: Ponto CPL, projeção de sombra nos horários de pico	76
Quadro 5: Estratégias bioclimáticas passivas a serem utilizadas nos projetos.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modais utilizados em algumas capitais brasileiras	20
Tabela 2: Modais de transportes utilizados em São Paulo e Rio de Janeiro	21
Tabela 3: Dados climáticos de Foz do Iguaçu em 2024	29
Tabela 4: Pontos seus respectivos horários de monitoramento	57
Tabela 5: Comparativo entre temperatura interna e externa	72
Tabela 6: Extremos e médias de cada cenário urbano simulado para o verão	83
Tabela 7: Extremos e médias de cada cenário urbano simulado para o inverno.....	84

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 MOBILIDADE URBANA NO BRASIL, EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO	17
2.1.1 Mobilidade urbana pública no Brasil	20
2.1.2 Ônibus como principal agente do transporte coletivo público nacional.....	21
2.1.3 Pontos de ônibus.....	22
2.1.4 Mobilidade Urbana em Foz do Iguaçu	24
2.2 CLIMA.....	25
2.2.1 Caracterização climática de foz do iguaçu	27
2.2.2 Mudanças climáticas e o aumento das ilhas de calor urbana.....	30
2.3 CONFORTO TÉRMICO	33
2.3.1 Conforto térmico em ambientes externos	34
2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	36
2.5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO TÉRMICO	39
2.6 ESTADO DA ARTE	40
2.6.1 Revisão sistemática.....	40
2.6.2 Pontos de ônibus no Brasil (revisão exploratória)	49
3 MÉTODOS	51
3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ÔNIBUS DE FOZ DO IGUAÇU.....	53
3.2 AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO EXTRATIFICADA DOS GRUPOS IDENTIFICADOS.....	53
3.2.1 Medição de temperatura do ar e temperatura superficial	54
3.2.2 Levantamento fotográfico, caracterização e modelagem	57
3.2.3 Aplicação de questionários	58
3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DOS RECORTES URBANOS	60
3.3.1 Calibração do modelo.....	60
3.3.2 Caracterização, modelagem das áreas urbanas e simulação microclimática	

.....	64
3.4 DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	66
3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	67
3.5.1 Avaliação preliminar do desempenho térmico das proposições.	67
4 RESULTADOS	68
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS DE PONTOS DE ÔNIBUS EM FOZ DO IGUAÇU	68
4.2 AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS PONTOS DE ÔNIBUS REPRESENTATIVOS DE CADA GRUPO	70
4.3 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO	76
4.3.1 Caracterização da amostra e contexto de aplicação	77
4.3.2 Percepções quanto a estrutura dos pontos de ônibus utilizados	77
4.3.3 Percepções térmicas	79
4.3.4 Síntese do questionário	81
4.4 SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS: CENÁRIOS URBANOS E DESEMPENHO TÉRMICO DO PONTO DE ÔNIBUS	82
4.4.1 Panorama geral dos resultados	82
4.4.2 Análises comparativas entre os cenários equivalentes.....	85
4.4.3 Síntese final das simulações	94
4.5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PONTO DE ÔNIBUS.....	95
4.5.1 Premissas e diretrizes de projeto	95
4.5.2 Estratégias bioclimáticas empregadas	95
4.5.3 Proposta final: descrição e componentes	96
4.5.4 Avaliação preliminar do desempenho térmico	100
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	106
REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICES	121

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Decorrente da expansão urbana acelerada a partir dos anos de 1960, muitas cidades brasileiras enfrentam atualmente um reflexo da mobilidade urbana não planejada, afetando a qualidade de vida da população nas esferas ambientais e econômicas (Vasconcellos, Carvalho e Pereira (2011). Segundo a NTU, (2024), atualmente, 28% dos deslocamentos urbanos no Brasil são realizados por transporte coletivo, 85,7% destes são através de ônibus, atendendo 2.703 municípios brasileiros.

De acordo com Carvalho (2022), a utilização do transporte público coletivo no Brasil é majoritariamente adotada pela população mais pobre. Para a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2022), a destinação de investimentos para a melhoria nos pontos de embarque e desembarque dos coletivos pode fomentar a utilização destes. Corroborando, Paula *et al.*, (2021) afirmam que um dos fatores responsáveis pela determinação da qualidade no serviço de transporte coletivo por ônibus é a qualidade dos pontos de ônibus. Deste modo, Filho (2016) aponta que um ponto de ônibus deve oferecer ao ocupante, primordialmente, condições de acessibilidade, instalações adequadas e proteção contra intempéries.

A situação climática contemporânea traz consigo preocupações emergentes, tornando essencial o desenvolvimento de estratégias para mitigar as consequências da exposição dos cidadãos às condições climáticas extremas no ambiente urbano (Palomo Amores *et al.*, 2023). Durante ondas de calor, o aumento das temperaturas nas cidades intensifica o estresse térmico, impactando diretamente a saúde dos habitantes (Cornu *et al.*, 2024; Ho *et al.*, 2023). Em concordância, Dharmasastha *et al.* (2024) lembram que proteger-se das ondas de calor é um fator crucial na manutenção do bem-estar humano.

Com o avanço do aquecimento global, países de clima tropical, como o Brasil, enfrentarão uma redução significativa nos dias com temperaturas em um intervalo considerado como conforto térmico (Zhang *et al.*, 2023; Choi, Khalifa e Eltahir, 2024). Algumas consequências desse aquecimento já são evidentes, 2024 foi registrado como o ano mais quente da história no Brasil (INMET, 2025).

No mesmo sentido, o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) registrou no mês de fevereiro de 2025 temperaturas acima da média em 23 cidades do estado. No mesmo período, Foz do Iguaçu apresentou a

maior temperatura média dos últimos 7 anos (SIMEPAR, 2025).

Em relação ao conforto térmico, ambientes externos estão mais suscetíveis aos efeitos das ilhas de calor urbana. Tratam-se de fenômenos de aquecimento térmico, onde centros urbanos apresentam temperatura ambiente e/ou radiante superior às áreas rurais próximas (Oke, 1982). Aquino (2014), identificou em Foz do Iguaçu um contraste de mais de 5 °C, com temperaturas mais altas na área de urbanização densa em comparação à estação do SIMEPAR em área pouco urbanizada. Reforçando essa problemática, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, até 2050, 68% da população mundial viverá em áreas urbanas (UN-Habitat, 2022).

De acordo com Dzyuban (2022), apesar de muitas cidades no mundo se preocuparem com suas metas de desenvolvimento sustentável, a falta de infraestrutura nos pontos de ônibus, em especial em locais de clima quente, pode desmotivar o uso do transporte coletivo. Mokhtari, (2022) defende a utilização de pontos de ônibus como ferramentas para aliviar os efeitos das ondas de calor, devido à distribuição espacial pelas cidades. Complementando esse raciocínio, Dharmasastha (2024) comenta que instalar elementos de resfriamento urbano, como pequenos abrigos com painéis radiantes, pode mitigar os efeitos severos do clima atual.

Diante das informações relatadas, este trabalho visa avaliar a qualidade dos pontos de ônibus em regiões de clima quente e úmido, especificamente a cidade de Foz do Iguaçu, situada no oeste do Paraná, analisando seu desempenho térmico e identificando possíveis inadequações. A partir dessa análise, desenvolveu-se um modelo de ponto de ônibus adaptado ao clima local, visando maior conforto térmico aos usuários do transporte público coletivo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho térmico de pontos de ônibus em clima subtropical úmido, a partir do estudo de caso de Foz do Iguaçu/PR, a fim de identificar inadequações e subsidiar o desenvolvimento de um modelo adaptado que promova maior conforto térmico aos usuários, por meio de estratégias bioclimáticas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar as características climáticas do clima subtropical úmido;
- b) Caracterizar o desempenho térmico dos pontos de ônibus existente na cidade de Foz do Iguaçu-PR;
- c) Identificar as principais estratégias bioclimáticas aplicáveis ao projeto do ponto de ônibus;
- d) Examinar o potencial das estratégias bioclimáticas para promover o conforto térmico em pontos de ônibus;
- e) Verificar a eficiência dos projetos propostos em termos de conforto térmico.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado de forma a conduzir o leitor por uma trajetória lógica e coerente sobre a temática proposta. Inicialmente, na introdução, são apresentados os contextos do problema, os objetivos da pesquisa e as justificativas que embasam sua realização.

Na sequência, o referencial teórico reúne os principais conceitos que fundamentam a pesquisa. São explorados temas como mobilidade urbana no Brasil, as mudanças climáticas e suas implicações nas cidades, o conceito de conforto térmico, as estratégias da arquitetura bioclimática e o uso de simulações computacionais como ferramenta de apoio à tomada de decisões projetuais. Ainda neste tópico, é realizada uma revisão bibliográfica sistemática do estado da arte sobre o tema, com destaque para experiências nacionais e internacionais que envolvem, levantamento microclimático e aprimoramento térmico dos pontos de ônibus. Essa base teórica fornece o suporte necessário para orientar tanto as escolhas metodológicas quanto as proposições futuras do trabalho.

A metodologia adotada é apresentada no capítulo seguinte, detalhando os procedimentos de coleta de dados em campo, as ferramentas utilizadas, e os critérios para seleção e avaliação dos pontos de ônibus analisados. Também são descritas as etapas de modelagem dos microclimas e os parâmetros adotados para a elaboração das simulações computacionais.

Já nos resultados, são abordados os principais dados obtidos, contendo a análise comparativas dos resultados de campo (monitorizações e questionário) e das simulações computacionais. Embasados pelos dados obtidos, finaliza-se o capítulo com a proposta do ponto de ônibus bioclimático com suas descrições e avaliação preliminar do desempenho térmico. Por último, a dissertação é finalizada com a discussão das principais descobertas feitas do decorrer do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOBILIDADE URBANA NO BRASIL, EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO

A dinâmica urbana é algo notável na sociedade contemporânea, comunidades distintas interligam-se por várias esferas sociais, seja cultural, educacional, religiosa, dentre outras, acarretando na necessidade de locomoção diária da população (Antunes; Simões, 2013). Seguindo essa linha Costa (2008) descreve a mobilidade urbana como um atributo importante da sociedade na interlocução das relações sociais.

O tema vem ganhando amplitude nas discussões no contexto brasileiro, em razão das condições precárias dos meios de mobilidade existentes nos centros urbanos do país (Cordovil; Barbosa, 2019). Para compreender o status atual da mobilidade urbana no país é necessário observar, primordialmente, o desenvolvimento histórico da mesma. Os principais marcos históricos podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Linha do tempo da história da mobilidade urbana no Brasil

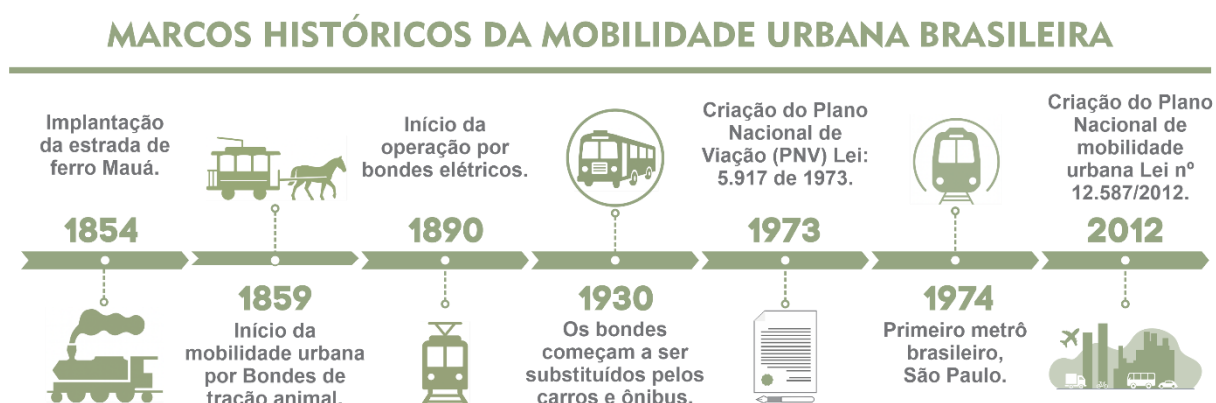


Figura: autor, 2026.

O desenvolvimento dos sistemas de transporte no Brasil teve papel fundamental na configuração urbana das cidades. A implantação da primeira ferrovia brasileira, em 1854, a estrada de ferro Mauá, ligando o Porto de Mauá à Raiz da Serra, no Rio de Janeiro, marcou o início de um novo modelo de deslocamento voltado ao transporte de mercadorias e passageiros, promovendo o surgimento de núcleos

urbanos ao redor das estações (IPHAN, 2023).

Com o avanço do crescimento urbano surgiu o primeiro modal de transporte urbano, os bondes de tração animal, implantados inicialmente no Rio de Janeiro em 1859 (Stiel, 1984). Eficiente para o momento esses bondes foram também adotados em outras capitais do país como Salvador, Recife e São Paulo (Stiel, 1984).

Com o advento da eletrificação no país, os bondes de tração animal passaram a ser substituídos por bondes elétricos a partir da década 1890, permanecendo até meados no século XX (Stiel, 1984). A partir década de 1930, com o aumento dos investimentos em infraestrutura de pavimentação e o crescimento da frota automotiva nas cidades a mobilidade urbana passou a ser parcialmente operada por automóveis particulares e ônibus a combustão, consolidando uma nova etapa na mobilidade urbana (Costa, 2008; Rodrigues, 2016; Stiel, 1984).

Até o início da década de 1960 os serviços dos bondes elétricos foram substituídos majoritariamente pelos serviços realizados com ônibus (Rodrigues, 2016). Esse cenário de expansão urbana e a dependência crescente do transporte rodoviário, intensificado entre as décadas de 1950 e 1970, foi um dos fatores que motivaram o governo federal a buscar soluções mais planejadas para a mobilidade urbana, especialmente após a crise do petróleo de 1973 (Gomide, 2013; Vasconcellos, Carvalho e Pereira, 2011). Nesse contexto, foi instituído o Plano Nacional de Viação (PNV), por meio da Lei nº 5.917, de 10 de setembro de 1973, considerado o primeiro documento de abrangência nacional voltado à organização e integração dos diferentes modais de transporte (Brasil, 1973).

Esse marco representou um passo inicial no reconhecimento da necessidade de planejamento integrado da mobilidade urbana no país, embora sua implementação tenha mantido ênfase na expansão rodoviária e no transporte individual (Costa, 2008). Nesse período também, em 1974, tiveram início as operações do primeiro metrô brasileiro, na cidade de São Paulo, marcando um novo estágio no transporte público coletivo urbano (São Paulo, 2024).

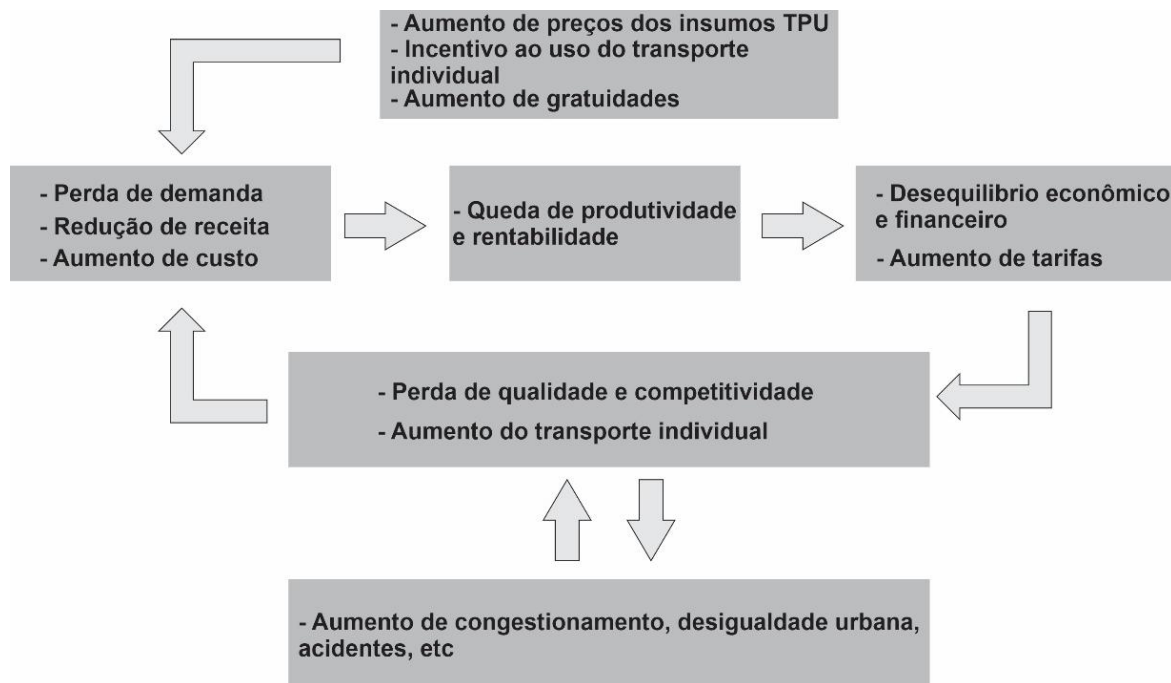
Apesar do avanço representado pela criação do PNV (1973), o modelo de planejamento urbano brasileiro manteve-se baseado na priorização do transporte rodoviário e individual, em detrimento do transporte coletivo e dos modos não motorizados. Essa orientação consolidou a ruptura entre o planejamento urbano e o de transportes, resultando em um sistema de mobilidade pouco sustentável e centrado

no automóvel (Costa, 2008).

Lourenci, Torres e Barbosa (2019) ressaltam que o modelo de mobilidade urbana vigente nas cidades brasileiras, fortemente baseado no uso do automóvel particular, tem gerado impactos negativos sobre o meio urbano e a qualidade de vida da população, evidenciando a necessidade de uma mobilidade mais humanizada, com incentivo ao transporte público coletivo e aos modos ativos de deslocamento. Partindo desse contexto foi instituída a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), por meio da Lei nº 12.587, de 2012, que estabelece princípios de acessibilidade universal, equidade no acesso ao transporte público coletivo e a priorização dos modos não motorizados (Brasil, 2012).

Ainda que estabelecidas normativas e diretrizes, o sistema de mobilidade urbana brasileira mantém um padrão de desigualdade entre os modos motorizados individuais e coletivos, favorecendo o primeiro e penalizando o segundo, o que gera um ciclo de perda de competitividade e insustentabilidade do TPU, conforme ilustrado na Figura 2 (Vasconcellos, Carvalho e Pereira (2011).

Figura 2: Ciclo da perda de competitividade do Transporte Público Urbano (TPU)



Fonte: Adaptado de Vasconcellos, Carvalho e Pereira (2011).

2.1.1 Mobilidade urbana pública no Brasil

De acordo com dados divulgados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2023), apresentados na Tabela 1, a divisão modal de deslocamentos urbanos em 09 metrópoles brasileiras (Curitiba, Campinas, Distrito Federal, Belo Horizonte, São Paulo, Manaus, Salvador, Rio de Janeiro e Recife), o transporte público coletivo é, em média, o meio de deslocamento mais utilizado. O uso do transporte individual motorizado, considerado o modo menos sustentável, superou o transporte público coletivo em apenas duas cidades: Curitiba e Campinas.

Tabela 1: Modais utilizados em algumas capitais brasileiras

Região Metropolitana	Ativo (Caminhada / Bicicleta) %	Público coletivo (Metrô, Ônibus, etc.) %	Individual motorizado %
Curitiba	25,4	25,7	49,0
Campinas	21,8	33,6	44,6
Distrito Federal	28,0	37,4	34,6
Belo Horizonte	38,0	31,0	31,0
São Paulo	32,7	36,6	30,6
Manaus	30,0	39,5	30,5
Salvador	36,2	41,7	22,1
Rio de Janeiro	31,8	48,8	19,5
Recife	40,0	43,3	16,7
Média Brasil	32,7	38,9	28,3

Fonte: Adaptado de Confederação Nacional da Indústria, 2023.

É relevante mencionar que a modalidade de transporte utilizado por uma população não deve ser analisada de forma isolada, a escolha do meio de transporte de um indivíduo depende de sua capacidade econômica, da infraestrutura local e outros aspectos presentes em uma região (CNI, 2023).

A seguir, na Tabela 2, é possível observar o quadro de evolução da utilização dos transportes coletivos nas duas capitais com maior extensão de linha férrea para transporte urbano no Brasil (São Paulo e Rio de Janeiro). Destaca-se que nas cidades analisadas, o ônibus apresenta larga vantagem como modal de transporte público mais utilizado.

Tabela 2: Modais de transportes utilizados em São Paulo e Rio de Janeiro

SÃO PAULO			
Tipo de transporte	1997	2007	2017
Caminhada	34,4	33,1	31,8
Veículo individual motorizado	31,4	29,5	30,6
Ônibus	23,1	23,7	19,8
Metrô/trem	7,5	7,9	11,0
Bicicleta	0,5	0,8	0,9
Outro	3,1	5,0	5,8
RIO DE JANEIRO			
Tipo de transporte	-	2002-2003	2012
Ônibus	-	33,3	37,7
Caminhada	-	33,9	29,4
Veículo individual motorizado	-	16,1	19,5
Metrô/trem	-	3,3	5,4
Bicicleta	-	3,2	2,4
Outro	-	10,2	5,7

Fonte: Adaptado de CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2023.

Corroborando, Muniz *et al.*, (2020) afirmam que o sistema de transporte público coletivo nacional é realizado principalmente por ônibus, pois, a maioria das cidades brasileiras não possui outras modalidades de transporte como metrô, trem e etc.

2.1.2 Ônibus como principal agente do transporte coletivo público nacional

No Brasil, o transporte público realizado por ônibus abrange 86% das viagens de transportes coletivos (Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público, 2018). Caracterizados como o principal meio de transporte do país, os ônibus urbanos estão presentes em mais de 2.700 municípios, o que representa cerca de 49% de todo território nacional. Operados em sua grande maioria por empresas privadas, a frota nacional de ônibus urbanos passa de 1000.000 unidades (NTU, 2023).

Visto a predominância do tipo de transporte público coletivo adotado pelos brasileiros entende-se, concomitantemente, a importância da qualidade da infraestrutura geral das vias urbanas (Melo, 2004). Devendo assim proporcionar aos usuários qualidade e segurança em seus deslocamentos (Oliveira; Salomão; Barbosa, 2022).

Por outro lado, o que se observa nas cidades brasileiras é a falta de manutenção e investimentos em adequações das vias, que, combinados com o aumento constante do número de veículos nas cidades, acarretam o comprometimento da qualidade da pavimentação (Mendes, 2019). O estado de

conservação e manutenção nas vias urbanas utilizadas pelos ônibus interferem diretamente na qualidade do serviço prestado (Paula *et al.*, 2021).

Nesse sentido, vale ressaltar que são muitos os aspectos envolvidos na caracterização de um sistema de transporte público. Elencar os essenciais é um exercício complexo, pois trata-se de uma análise quali-quantitativa e envolve pontos de vistas diversificados sobre o tema (Antunes; Simões, 2013). Um equipamento de suma importância para definição da qualidade do transporte coletivo por ônibus são os pontos de ônibus (Oliveira; Salomão; Barbosa, 2022). É possível ainda apontar 10 atributos necessários nesse sistema de transporte coletivo, sendo eles: tempo de viagem, acessibilidade, lotação, pontualidade, comportamento dos operadores, confiabilidade, sistema de informação, segurança e característica dos veículos e características dos pontos de paradas (Ferraz; Torres, 2004).

2.1.3 Pontos de ônibus

Para iniciar os estudos sobre esse elemento é relevante ressaltar a diferença entre ponto de ônibus e abrigo de ônibus. Entende-se como ponto de ônibus todo local destinado ao embarque e desembarque do transporte coletivo, já os abrigos¹ são os pontos de paradas necessariamente dotados de estrutura física para proteção dos usuários (Bellini, 2008).

Inicialmente os pontos eram demarcados somente com pontaletes de madeira (Figura 3), pois tinham como objetivo organizar a gestão de paradas do transporte. Com o desenvolvimento tecnológico foram ganhando adaptações morfológicas, sendo adicionado abrigos com coberturas, painéis informativos, assentos e afins (Figura 4) (Bellini, 2008).

¹ Apesar das definições serem claras, neste trabalho os abrigos também serão denominados de pontos de ônibus, devido à disseminação desta nomenclatura em território nacional.

Figura 3: Parada de ônibus, comum no séc. XX



Fonte: Autor, 2026.

Figura 4: Ponto de ônibus convencional



Fonte: Autor, 2026.

Responsável pelo primeiro contato no sistema de transporte entre o passageiro e o ônibus (Andrade *et al.*, 2004), o ponto de ônibus deve oferecer ao usuário plenas condições de: acessibilidade, proteção contra intempéries, informações sobre o serviço, limpeza, segurança e iluminação eficiente (Brito *et al.*, 2018; Filho, 2016).

Ely (1997) destaca que, além das características descritas acima, um ponto de ônibus deve desempenhar funções adicionais como garantir conforto no período de espera e atuar como elemento socio cultural, uma vez que reflete a identidade do meio em que está inserido. A seguir é possível observar na Figura 5 um esquema a respeito das funções desejáveis desempenhadas por um ponto de ônibus.

Figura 5: Funções desejáveis de um abrigo de parada de ônibus



Fonte: Adaptado de Ely (1997).

Proporcionar conforto ambiental é uma primícia para um bom desempenho de um transporte público coletivo. Em contrapartida, a realidade encontrada na maioria dos centros urbanos é distante à ideal, como será apresentado no estado na arte dos abrigos do tópico 2.6 deste trabalho.

2.1.4 Mobilidade Urbana em Foz do Iguaçu

Localizada no extremo oeste do estado do Paraná, Foz do Iguaçu encontra-se na tríplice fronteira entre Brasil, Paraguai e Argentina, configurando-se como um importante polo turístico nacional. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui aproximadamente 285 mil habitantes, apresentando intenso crescimento urbano e elevado fluxo diário de pessoas e veículos, tanto de origem local quanto internacional. Essa condição geográfica, somada ao caráter turístico e de serviços, impõe desafios específicos à gestão da mobilidade urbana municipal, marcada por uma estrutura viária concentrada e dependente do transporte rodoviário.

O sistema de transporte público coletivo urbano é atualmente composto por 39 linhas em operação, atendendo todas as regiões do município, com maior frequência em bairros como Porto Meira, Morumbi, Três Lagoas e Vila C (FOZTRANS, 2024). O serviço é operado por ônibus convencionais, articulados e micro-ônibus (FOZTRANS, 2024). Mensalmente são transportados aproximadamente 1,2 milhão de pessoas, sendo cerca de 52 mil em dias úteis, com alta proporção de gratuidades (55%) e forte dependência de subsídio público, que representa aproximadamente 48% do custo total de operação (FOZTRANS, 2024).

Apesar da ampla cobertura territorial, o sistema apresenta baixa atratividade e queda no número de usuários pagantes. De acordo com o relatório elaborado pelo Grupo de Pesquisa em Mobilidade, Meio Ambiente e Energia da UNILA (GPMME–UNILA, 2024), a avaliação geral dos usuários sobre o transporte coletivo obteve nota média de 4,9 em uma escala de 0 a 10, revelando insatisfação quanto à frequência, superlotação, conforto térmico e infraestrutura dos pontos de parada.

O levantamento identificou ainda que 60% dos usuários são mulheres e que a maior parte possui renda de até três salários mínimos, o que reforça o caráter social do sistema. Todavia, cerca de 40% dos entrevistados não utilizam o transporte coletivo, apontando como principais motivos a demora, a falta de linhas e a lotação

dos veículos (GPMME–UNILA, 2024). As condições físicas dos pontos de ônibus também se destacam como fator crítico, com sombreamento insuficiente e ventilação inadequada, resultando em temperaturas superficiais superiores a 50 °C em dias quentes, o que compromete o conforto térmico e a atratividade do transporte público (GPMME–UNILA, 2024).

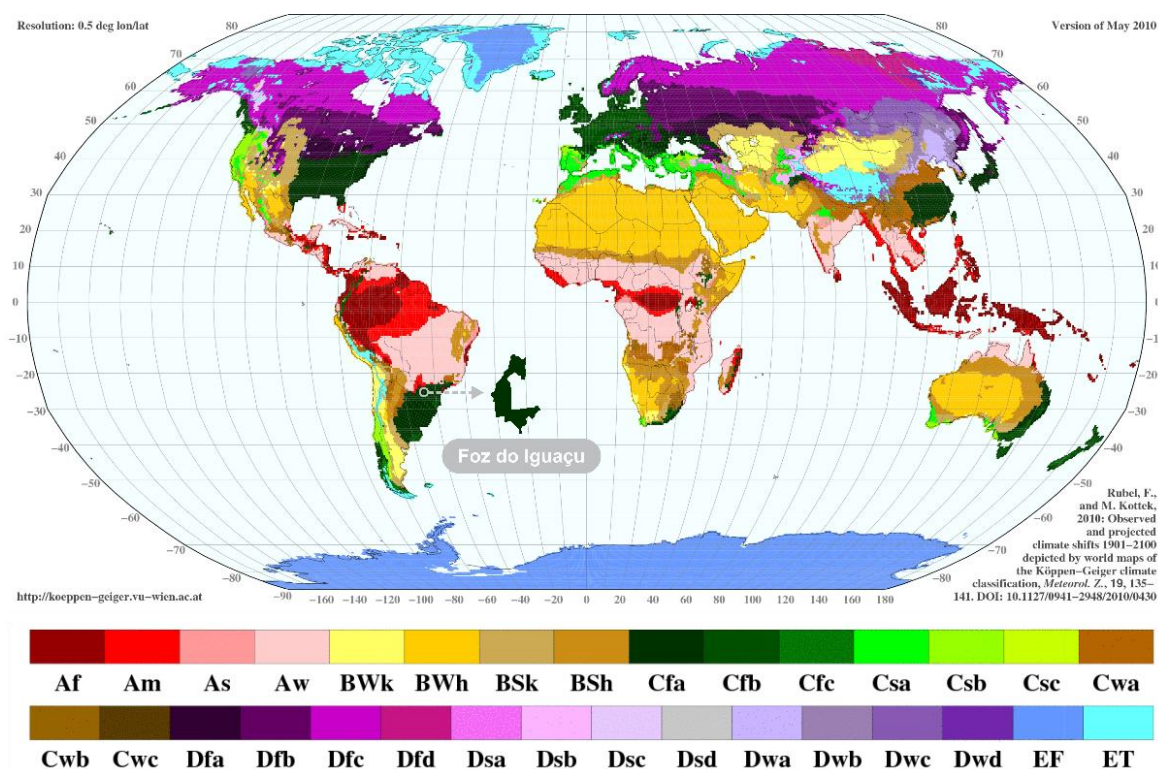
Esses dados esclarecem que o sistema de mobilidade urbana de Foz do Iguaçu enfrenta desafios que limitam sua eficiência, corroborando o diagrama do ciclo de perda de competitividade do transporte público urbano, apresentado na figura 2 (Vasconcellos, Carvalho e Pereira, 2011).

Na busca pela melhoria da mobilidade urbana, a gestão municipal desenvolveu o PMU (Plano de Mobilidade Urbana) de Foz do Iguaçu (PMU, 2023), estabelecendo diretrizes como: a priorização do transporte coletivo e dos modos ativos de deslocamento, a integração entre transporte e uso do solo urbano, e a melhoria da acessibilidade universal. O documento também propõe ações estruturantes, como a modernização da frota, a requalificação dos abrigos de ônibus, a implantação de infraestrutura cicloviária contínua e a ampliação dos corredores de transporte coletivo.

2.2 CLIMA

A compreensão das características climáticas de determinado local é fundamental para a análise do conforto térmico em espaços urbanos, uma vez que as condições atmosféricas locais influenciam diretamente o comportamento térmico e a percepção ambiental dos usuários. Entre os diversos sistemas de classificação climática existentes, destaca-se a classificação de Köppen-Geiger (1961), reconhecida por sua capacidade de integrar parâmetros térmicos e pluviométricos na definição dos tipos de clima e por sua ampla aplicação em pesquisas ambientais e urbanas (Figura 6). Em linhas gerais, essa classificação explana que o clima é o reflexo da vegetação da região e dispõe de uma metodologia numérica de temperatura média dos meses mais frios, definindo assim cinco regiões climáticas principais: tropical, árida, temperada, fria e polar (Nascimento; Oliveira; Luis, 2016).

Figura 6: Classificação climática de Köppen–Geiger (2001-2025)



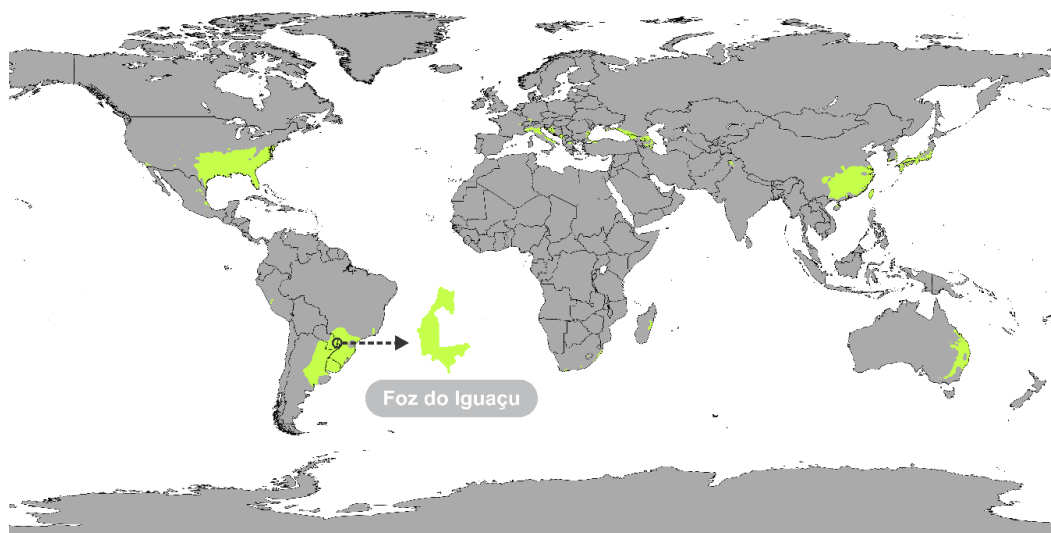
Fonte: Adaptado de Rubel, Kottek (2010).

Como pode ser observado na figura acima, a classificação é feita por meio de letras, aonde o conjunto delas representa a característica climática da região em questão. A primeira letra classifica o clima em 5 grupos principais: A (tropical), B (seco), C (temperado), D (continental) e E (polar). A segunda letra aponta para a precipitação característica local e a terceira descreve o nível de calor.

De acordo com a atualização do zoneamento climático de Koppen-Geiger, no Brasil atualmente existem as seguintes zonas climáticas: Af, Am, Aw, As, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa, Cwb, Cwc, Csa, Csb, sendo que o grupo A (clima tropical) representa 81,4%, o grupo B (clima seco) 4,9% e o grupo C (clima temperado) 13,7% do território nacional (IPEF, 2014).

A classificação Koppen-Geiger indica um clima “Cfa” para Foz do Iguaçu, caracterizado por clima temperado e úmido com verões quentes (Kottek *et al.*, 2006), também chamado no Brasil de clima subtropical úmido. O clima *Cfa*, Figura 7, tem como característica a precipitação abundante e uniforme ao longo do ano e ocorrem no sudeste das Américas, Oceania, África e Ásia.

Figura 7: Regiões de clima Cfa



Zona Cfa

Fonte: Autor, 2026.

2.2.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE FOZ DO IGUAÇU

Situado no extremo oeste do estado do Paraná e pertencendo às coordenadas geográficas de latitude 25° 32' 49" Sul e Longitude 54° 35' 18" Oeste, Foz do Iguaçu (Figura 8) está aproximadamente a 192 metros acima do nível do mar (Cidade Brasil, 2024). Sob a perspectiva climatológica e de acordo com a classificação de Köppen-Geiger o município pertence ao clima Cfa (Kottek *et al.*, 2006).

Figura 8: Mapa de Foz do Iguaçu

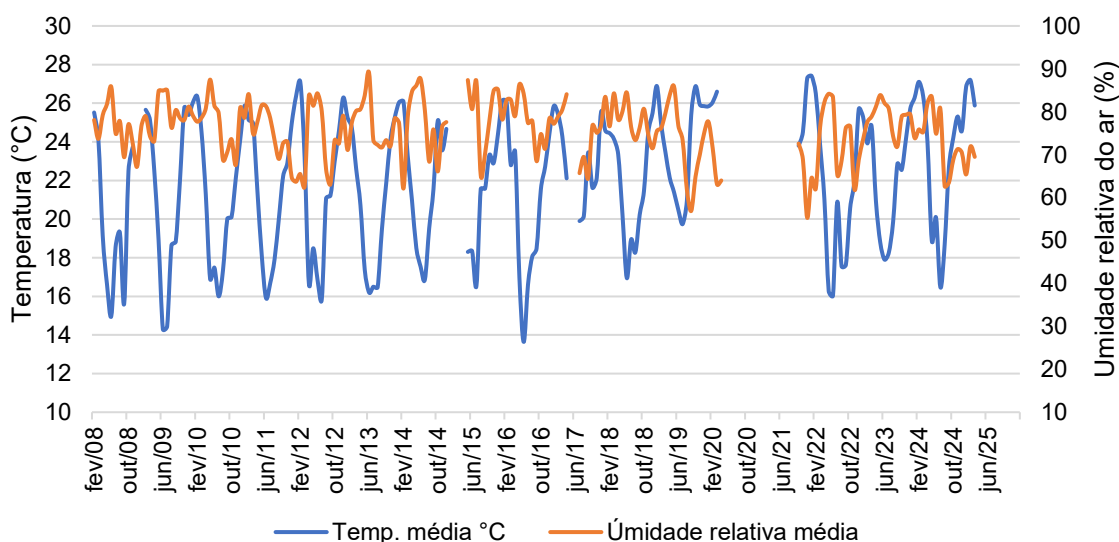


Fonte: Autor, 2026.

Além dos indicadores da classificação climática, a compreensão do comportamento térmico e higrométrico local baseados nas séries de dados históricos é fundamental para a identificação de fatores que possam influenciar na proposição de um projeto arquitetônico. Nesse sentido, o Atlas Climático do Estado do Paraná indica, para o intervalo entre os anos de 1950 a 2015, médias anuais de temperatura do ar variando de 22,1 à 23,0 °C (Nitsche *et al.*, 2019). Entretanto, quando observados os dados máximos e mínimos, as estatísticas apresentam um cenário mais expressivo. Foram registrados, para o mesmo período, temperatura ambiente mínima entre 1,1°C e 2,0 °C e máximas absolutas atingindo 39,0 °C, além de valores frequentemente superiores a 34,0 °C no verão e inferiores a 10°C no inverno (Nitsche *et al.*, 2019).

Em concordância com as informações citadas, a seguir é possível observar o gráfico que apresenta as médias de temperatura ambiente e umidade relativa do ar entre os anos de 2008 e 2025 (Figura 9).

Figura 9: médias climáticas de Foz do Iguaçu de 2008 a 2025.



Fonte: Elaborado a partir dos dados do INMET, 2026.

Analisando um recorte de dados recentes publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), registrou-se, no ano de 2024, uma temperatura máxima de 38,2°C no dia 12 de fevereiro entre as 17 e 18 horas, e uma radiação máxima 4187,1 kJ/m² no dia 04 de janeiro entre 15 e 16 horas (INMET, 2024). A seguir apresenta-se, na Tabela 3, algumas informações destacando os dados climáticos médios para cada mês em 2024.

Tabela 3: Dados climáticos de Foz do Iguaçu em 2024

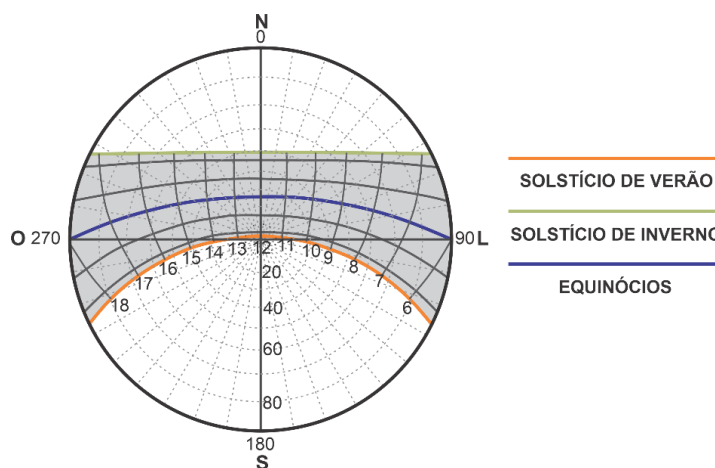
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Radiação global (Kj/m ²)	1706	1572	1490	1083	838	889	819	1213	1229	1478	1595	1648
Temperatura do ar Bulbo seco (°C)	26,2	27,1	26,3	23,9	18,9	20,1	16,2	18,6	22,7	24,2	25,3	24,8
Temperatura Máxima média (°C)	27,0	27,8	26,9	24,4	19,3	20,6	16,6	19,4	23,3	24,8	25,9	25,4
Temperatura mínima média (°C)	25,5	26,4	25,7	23,5	18,5	19,5	15,8	18,0	21,9	23,7	24,7	24,2
Umidade Relativa média (%)	73,9	75,8	75,3	82	83,4	74,9	81	62,7	63,5	68,7	71,2	70,8
Velocidade do vento média (m/s)	2,32	2,3	2,3	2,6	2,4	2,8	2,4	3,4	3,1	2,9	2,6	2,1

Fonte: Elaborado a partir dos dados do INMET, 2024.

Em Foz do Iguaçu, a precipitação é elevada ocorre ao longo do ano todo, sem estação seca definida. Segundo dados da estação local para os anos entre 1991 e 2017, os acumulados médios mensais variam aproximadamente de 81 mm em agosto, caracterizado como mês mais seco, até 211 mm em outubro, com valores também altos no fim da primavera e início do verão como 152 mm em novembro e 191 mm em dezembro, resultando em aproximadamente 1705 mm/ano. (Junior *et al.*, 2021). Esses resultados são coerentes com análises estatísticas para o período 1997 a 2015, que indicam precipitação média anual em torno de 1771 mm para o município (Fidelis *et al.*, 2021).

Baseado no gráfico apresentado pela carta solar de Foz do Iguaçu (Figura 10), é possível afirmar que as incidências de radiação solar nas fachadas, norte, sul, leste e oeste são aproximadamente de 77%, 23%, 50%, 50% respectivamente, conforme pode-se observar na Figura 10 a seguir. No solstício de inverno e nos equinócios há incidência solar nas orientações norte, leste e oeste, com maior número de horas na orientação norte. No solstício de verão ocorre incidência solar em todas as orientações, com maior número de horas na orientação sul.

Figura 10: Carta solar de Foz do Iguaçu



Fonte: Autor, 2026.

2.2.2 Mudanças climáticas e o aumento das ilhas de calor urbana

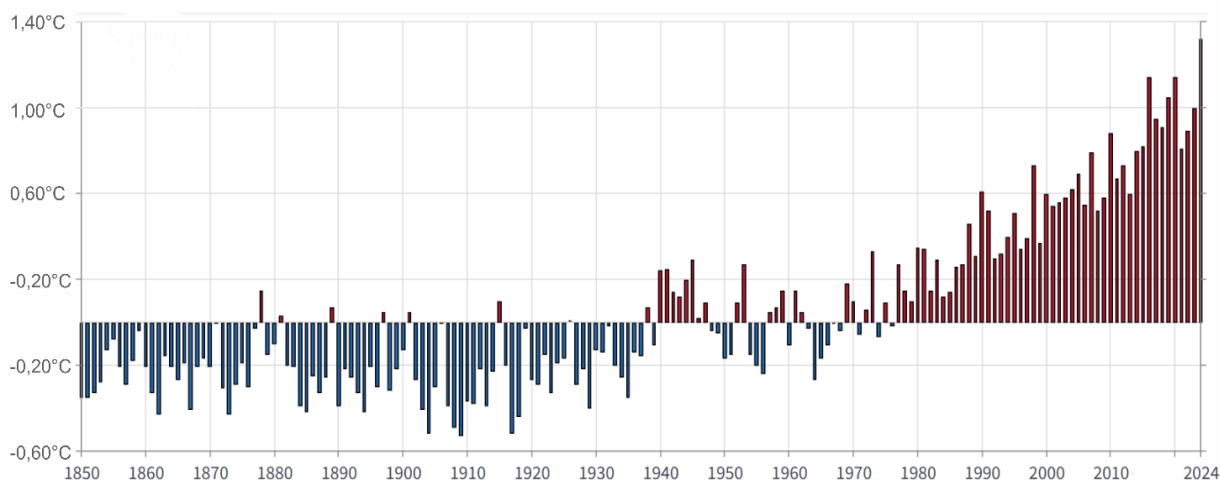
Definido como o aumento gradual da temperatura média da Terra e dos oceanos, o aquecimento global ocorre de forma natural, porém, é acentuado através das ações humanas (o que conhecemos por aquecimento global antropogênico), ocasionado pelas emissões e concentração de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera, impedindo os raios de radiação infravermelha voltarem para o espaço, caracterizando o efeito estufa (IPCC, 2018).

O desmatamento acentuado, a queima de combustíveis fósseis, a agricultura intensiva e o uso impróprio do solo são os principais responsáveis pelo aquecimento antropogênico (Oliveira, 2015). A temperatura global vem frequentemente batendo recordes, segundo a *World Meteorological Organization*, WMO (2024), a temperatura da superfície marítima registrou os maiores níveis da história entre 2023 e 2024.

O ano de 2024 foi caracterizado como o ano mais quente desde que iniciaram os registros de aquecimento global (1850), tendo uma elevação de temperatura média de 1,29°C (NCEI, 2024). O valor registrado em 2024 é 0,1°C superior a 2023, enquanto os anos de 2015 a 2024 registram as maiores temperaturas dentre os últimos 175 registros anuais, conforme observa-se na Figura 11, (National Centers for Environment Information- NCEI, 2024). Além das temperaturas elevadas outras consequências acumuladas foram a perda de 8.200 Km³ das geleiras glaciais desde 1976 e a elevação de 10,3 cm do mar desde 1993 (Copernicus, 2024). A estimativa ainda é que até o ano de 2100 a temperatura média global suba 4°C (Fajersztajn; Veras;

Saldiva, 2016).

Figura 11: Evolução do aquecimento global desde 1850



Fonte: *National Centers for Environment Information, 2024*

Além dos efeitos climáticos supracitados, o aquecimento da temperatura global desencadeou, nos últimos anos, eventos climáticos extremos, como secas e tempestades severas, acarretando em inundações mais frequentes (IPCC, 2018; Seddon *et al.*, 2021) e afetando a natureza e comunidades humanas, em especial aquelas sob a margem da vulnerabilidade sócio econômica (Chausson *et al.*, 2020).

Além do aquecimento global, natural e antropogênico, outro fator que exerce influência sobre as condições térmicas das sociedades nos dias atuais são as ilhas de calor urbanas (ICU). As ICU são fenômenos de aquecimento térmico, onde centros urbanos apresentam temperatura ambiente e/ou radiante superior às áreas rurais próximas (Oke, 1982). Essas temperaturas elevadas e a radiação solar direta tornam, muitas vezes, ambientes urbanos em lugares hostis e prejudiciais à saúde humana (Marando *et al.*, 2022).

As ICUs podem ocorrer por meio da alteração do uso do solo, com a diminuição da vegetação, minimizando a capacidade natural de resfriamento por evapotranspiração, além do aumento da inércia térmica pela pavimentação e edificações, que podem contribuir para o seu agravamento (OKE *et al.*, 2017). Santamouris *et al.* (2015) citam que as emissões de calor antropogênicas como fontes de calor, veículos, indústrias e afins também podem aumentar os níveis de temperatura urbana. Outra variável de influência que vale ser citada é a morfologia e geometria urbana (Voogt; Oke, 2003). A presença dos cânions urbanos com

edificações altas e vias e passeios públicos estreitos, tende a dificultar a dispersão do calor (Voogt; Oke, 2003). Reforçando, Rodrigues *et al.*, (2024) mencionam que as ICUs são fenômenos intensificados também pelas mudanças climáticas.

No sul do Brasil, estudos apontam tendências significativas de aquecimento e alterações de precipitação, em especial nas últimas décadas. Cardoso *et al.* (2022) observaram elevações das temperaturas médias anuais e um aumento da frequência de eventos extremos de calor. Rocha Jr. *et al.* (2022) encontraram uma tendência no aumento da frequência e intensidade de extremos de temperatura para a mesma região, com tendência positiva para os extremos de calor e negativa para frio, indicando uma maior amplitude térmica diária.

Na escala estadual, no Paraná, entre 2013 a 2020, foi identificado um aumento médio da temperatura de aproximadamente 2°C na cidade de Maringá (norte do estado) e de 4°C para Foz do Iguaçu (oeste), com diminuição da umidade relativa média do ar em Foz do Iguaçu, Maringá em Curitiba (Polinarski, *et al.*, 2023). Dados apontam ainda para um aquecimento em todo Paraná nas próximas décadas, com aumento da temperatura em até 1,8°C em determinadas regiões (Carpenedo, *et al.*, 2022).

Aprofundando para o contexto da cidade de Foz do Iguaçu, essas alterações climáticas são perceptíveis em registros recentes. Em 2025, as Cataratas do Iguaçu atingiram, no mês de maio, uma vazão três vezes menor que a normal, decorrente de uma estiagem de aproximadamente seis meses (G1, 2025).

Em estudo conduzido por Hartmann e Flores (2022), verificou-se que a ausência de arborização em áreas centrais de Foz do Iguaçu resulta em elevação média de 28,66 °C na temperatura interna de veículos, implicando diretamente no aumento do consumo de combustível e emissões adicionais de 1440 toneladas de CO₂. Os autores destacam que a implantação de arborização urbana constitui medida eficaz para reduzir o desconforto térmico e o impacto energético-ambiental associado à mobilidade urbana. Tais evidências confirmam a heterogeneidade das respostas climáticas regionais e apontam para necessidade de planejamento adaptativo.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

Bastante difundido na arquitetura, o conceito de conforto térmico pode ser dado por diferentes abordagens. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) uma pessoa considera estar satisfeita em relação ao conforto térmico se existe um equilíbrio entre as trocas de calor do corpo em relação ao ambiente em que está inserido e a temperatura da pele e suor estiverem sob valores aceitáveis.

O conforto térmico pode ser descrito como uma associação entre a condição psicológica humana e sua resposta de satisfação quanto ao ambiente térmico no qual se insere (ASHRAE 55, 2020; Coutinho *et al.*, 2014). Essa percepção térmica está associada a algumas variáveis físicas de entorno como: vegetação, edificações e clima (Coutinho *et al.*, 2014). Corroborando, Fanger (1970) afirma que a sensação térmica dos ocupantes de um ambiente depende não apenas dos fatores climáticos internos, mas também de variáveis externas, como a temperatura radiante, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e o nível de atividade metabólica. Ruas (1999) reforça a importância das variáveis metabólicas para determinação do conforto térmico de um indivíduo.

Elaborar um projeto arquitetônico tendo como premissa as variáveis ambientais, com propósito de aprimorar o conforto térmico na edificação, pode proporcionar ao usuário um bem-estar e contribuir para diminuição do consumo energético desta edificação (Cordeiro, 2023). Lamberts, Dutra e Pereira (2014), lembra ainda que para desenvolver um bom projeto arquitetônico, o projetista deve analisar as necessidades de conforto do indivíduo com tomada de soluções baseadas nas características climáticas locais, proporcionando concomitantemente uma maior eficiência energética ao edifício.

A última revisão da norma brasileira de conforto térmico para ambientes internos ABNT NBR 16401-2 (ABNT, 2024) organiza a avaliação do conforto térmico por três métodos distintos: 1. Zona analítica de conforto térmico, na qual o ambiente é considerado termicamente aceitável quando PPD² é inferior a 10%, o que equivalente a PMV³ entre -0,5 e 0,5, variando de acordo com a taxa metabólica dos

² PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) é o percentual previsto de insatisfeitos sob as mesmas condições.

³ PMV (Predicted Mean Vote) é um índice que estima a sensação térmica média de um grupo (escala

ocupantes, vestimentas e dados de temperatura operativa, tendo aplicabilidade do modelo PMV limitada a velocidades médias do ar igual ou inferior a 0,20 m/s.

2. Zona gráfica para altas velocidades do ar, a qual permite ampliar a aceitabilidade em temperaturas operativas mais elevadas por meio do aumento do movimento do ar. Adotando-se como referência que, para uma temperatura operativa inferior a 23 °C, para obtenção de conforto, o limite superior de velocidade do ar permanece em 0,20 m/s; para temperatura operativa entre 23 °C e 25,5 °C, utiliza-se a relação definida pela norma (equação/curva); e, para temperatura operativa acima de 25,5 °C, admite-se limite superior de 0,80 m/s, quando não há controle local da ventilação.

3. O terceiro método trata-se do Modelo Adaptativo, aplicável a ambientes ventilados naturalmente, nos quais os ocupantes possuem maior possibilidade de ajuste, como abertura de janelas e escolha de vestimentas e afins. Nesse método, a faixa aceitável de temperatura operativa interna não é fixa; ela é definida em função da temperatura média predominante do ar externo. Assim, o limite superior e inferior de temperatura operativa interna é dado pela equação:

$$T_{op.sup}(^{\circ}C) = 0,31. (temp. média externa) + 21,3$$

$$T_{op.inf}(^{\circ}C) = 0,31. (temp. média externa) + 14,3$$

Vale reforçar que apesar as instruções normativas contribuírem fortemente na condução do planejamento de ambientes confortáveis, ela é destinada exclusivamente a ambientes internos, onde a interferência de elementos condicionantes de conforto como radiação solar direta e indireta, temperatura média radiante e até mesmo a ventilação podem ser controlados.

2.3.1 Conforto térmico em ambientes externos

Proteger-se das ondas de calor não é somente uma questão de conforto, mas sim uma necessidade para manter o bem-estar pessoal nos dias atuais (Dharmasastha, et al., 2024). Fernandes *et al.* (2019) lembram que o planejamento urbano adequado pode ser utilizado como ferramenta para promover espaços pensados para as variáveis climáticas, proporcionando maior conforto térmico.

É conveniente dizer que existem diversos estudos a respeito do conforto térmico para ambientes internos, todavia as variáveis entre conforto térmico externo/urbano e conforto térmico interno divergem em alguns aspectos (Coutinho *et al.*, 2014).

Existem dois principais fatores que impedem a adoção direta dos critérios de conforto interno para o externo. O primeiro está relacionado à exposição direta às condições climáticas, que faz com que a temperatura percebida pelos indivíduos frequentemente ultrapasse os limites estabelecidos para o conforto interno. O segundo refere-se à adaptação climática da população local, uma vez que os habitantes de uma determinada região desenvolvem um consenso térmico que varia sazonalmente, influenciando as respostas fisiológicas e perceptivas ao clima (Stathopoulos; Wu; Zacarias, 2004).

Segundo Monteiro e Aluci (2010), pesquisas destinadas a conforto térmico para o ambiente externo tiveram seu crescimento mais acentuado a partir do final do século XX, impulsionadas pelos avanços nas discussões sobre sustentabilidade. Neste contexto, a ausência de um modelo específico para ambientes abertos levou grande parte dos pesquisadores a utilizarem índices de conforto térmico destinados ao ambiente interno.

Nesta mesma pesquisa Monteiro e Alucci (2010) compararam e aplicaram em cenários urbanos variados diferentes modelos de índices de conforto e estresse térmicos encontrados na bibliografia. Os autores observaram que o índice mais eficaz na aplicação do experimento foi a carga térmica (HL), seguido pela temperatura equivalente percebida (TEP) e a nova temperatura efetiva corrigida (CET). Também concluíram que modelos tradicionais como *Predicted Mean Vote* (PMV) não apresentaram resultados satisfatórios para o conforto urbano, devido às variáveis como velocidade do vento e radiação solar direta.

É conveniente citar que as análises de Monteiro e Alucci (2010) não levaram em consideração o índice Índice Termoclimático Universal (UTCI), atualmente muito aplicado em estudos térmicos. Outros índice comumente usado para estudos de conforto térmico em ambiente externo é o *Physiological Equivalent Temperature* (PET). Os índices UTCI e PET podem ser estimados por meio de *softwares* de simulações térmicas urbanas como o Envi_met (Envi_Met, 2024).

Como já mencionado neste trabalho, as ondas de calor e as formações de ilhas

de calor urbanas são fenômenos crescentes que abrangem cidades inteiras, compostas por morfologia urbana diversificada. Por este motivo torna-se necessário segregá-la a malha urbana em parcelas que sejam passíveis de análises mais detalhadas, otimizando a compreensão do comportamento climático (Silva *et al.*, 2022).

2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Derivado dos conceitos de concepção arquitetônica em que se busca o desenvolvimento de um elemento, aproveitando o que o meio natural oferece com interferência mínima no clima, a arquitetura bioclimática surge com o princípio básico e fundamental de propor uma relação harmônica entre as características arquitetônicas propostas e a zona bioclimática a qual está inserida (Neves, 2006).

A arquitetura bioclimática utiliza de forma predominante estratégias passivas. O termo “passivo” diz respeito a um objeto que sofre uma ação. No caso de estratégias passivas, trata-se da obtenção de conforto térmico através de sistemas não mecânicos de aquecimento e resfriamento, que utilizam como recursos apenas as forças da natureza (Chiras, 2002).

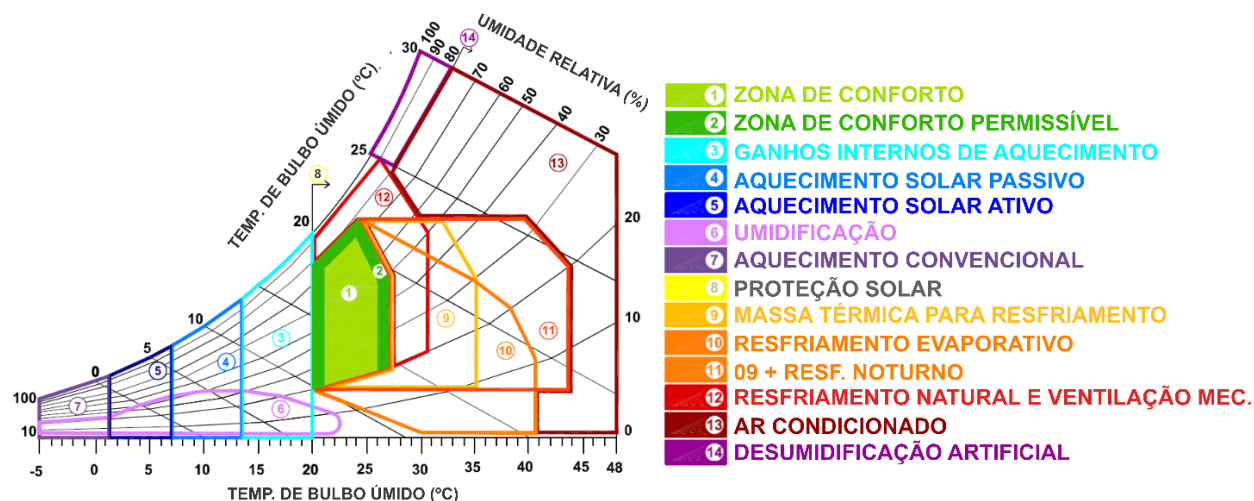
Os objetivos de uma construção passiva, em linhas gerais, é o uso racional e otimizado de energia e, portanto, não se restringe ao uso em espaço fechado residencial, também é qualificado para uso em espaços abertos, comercial, industrial, de transporte e outros. As estratégias passivas vão muito além de reduzir o consumo de energia, são capazes de proporcionar maiores níveis de conforto térmico e qualidade do ar interno aos usuários (Jayasena *et al.*, 2022; Truong; Garvie, 2017; Vrotsou; Glad, 2021).

Propor estratégias bioclimáticas tanto para o ambiente interno quanto ao externo requer do projetista um entendimento inicial das condições térmicas de um determinado local. Para auxiliar nessa questão, Givoni (1968) desenvolveu uma carta bioclimática aprimorando-a em 1979 para climas quentes e, em 1992, com a versão atualmente utilizada em países em desenvolvimento (Serafim; Remor; Fenato 2018).

A carta apresenta uma subdivisão por zonas de acordo com um mapeamento dos dados presentes no eixo x (temperatura de bulbo seco), no eixo y (temperatura de bulbo úmido) e curvas psicrométricas (umidade relativa), sendo que,

para cada zona especificada indica-se uma estratégia bioclimática a ser adotada, conforme Figura 12.

Figura 12: Carta bioclimática desenvolvida e adaptada por Givoni



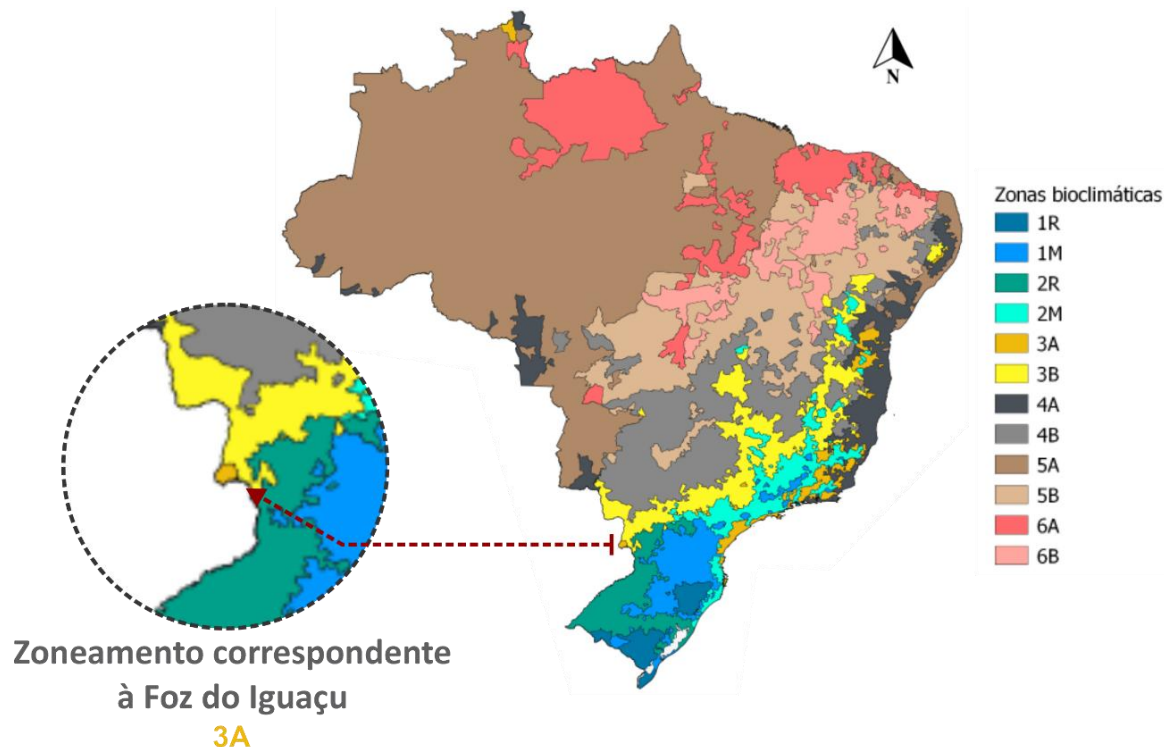
Fonte: Adaptado de Manzano-Agugliaro et, al. (2022).

Como visto, o conhecimento a respeito do zoneamento bioclimático é fundamental para desenvolvimento de uma edificação eficiente quanto ao consumo energético. Através deste é possível identificar as características do clima e suas interferências no desempenho térmico da edificação (Walsh; Labaki; Cóstola, 2016).

A norma brasileira de desempenho térmico de edificações ABNT NBR 15220-3⁴, atualizada em 2024, estabelece doze zonas bioclimáticas, conforme Figura 13, definidas a partir de parâmetros de temperatura, umidade e radiação solar (ABNT, 2024). De acordo com a revisão da norma, as estratégias bioclimáticas específicas por zona deixaram de ser apresentadas, permanecendo apenas a caracterização climática de cada região e a recomendação do uso de ferramentas complementares de análise para a definição das estratégias de conforto térmico e eficiência energética (ABNT, 2024).

⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho.

Figura 13: Novo zoneamento bioclimático brasileiro (2024)



Fonte: Adaptado de ABNT (2024)

Segundo a ABNT NBR 15220-3:2024, Foz do Iguaçu enquadra-se na Zona Bioclimática 3A, Mista e Úmida, caracterizada por temperatura média anual do ar entre 20,9 °C e 22,9 °C e umidade relativa média superior a 73,2 % (ABNT, 2024). Essa zona apresenta condições climáticas de transição, combinando períodos quentes e úmidos no verão com temperaturas mais amenas no inverno. As condições climáticas locais exigem estratégias de projeto que equilibrem o controle da radiação solar e a ventilação natural, favorecendo o resfriamento passivo no verão e o aproveitamento térmico da radiação solar nos períodos frios.

Delgado, Sacht e Vettorazzi (2016) descrevem como principais técnicas bioclimáticas urbanas para o clima de Foz do Iguaçu as seguintes técnicas: uso de vegetação, elevação das edificações acima no nível do solo, induzir e/ou alterar o sentido da ventilação natural em até 45° em direção ao usuário e otimização das zonas sombreadas.

Bellara e Abdul (2023) concluíram que a utilização de vegetação em espaços urbanos como estratégia bioclimática é relevante pois observaram uma capacidade de estabilização das variáveis microclimáticas. Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

corroboram com as ideias citadas acima e sugerem ainda a utilização de técnicas passivas de resfriamento evaporativo e umidificação como, telhado verde e espelhos d'água.

A definição da estratégia bioclimática mais adequada exige do profissional de projeto um domínio aprofundado das condições climáticas locais e capacidade analítica para avaliar quali-quantitativamente as respostas térmicas do ambiente construído. Nesse sentido, e em consonância com a ANBT NBR 15220-3:2024, torna-se essencial o uso de ferramentas computacionais dinâmicas de simulação, visando otimizar o desempenho térmico e energético do ambiente construído, subsidiando decisões de projeto mais precisas, sustentáveis e contextualizadas.

2.5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO TÉRMICO

Analisar um modelo arquitetônico do ponto de vista do conforto ambiental é uma tarefa complexa devido a quantidade de variáveis de um modelo e da interdisciplinaridade presente no tema. Os programas de simulação então se apresentam como uma ferramenta capaz de sintetizar as informações e trazer ao projetista um compilado de dados das mais variadas esferas, componentes construtivos, dimensionamentos, condicionamento de ar, dentre outros (Vettorazzi, 2019).

As últimas décadas se caracterizam pelos avanços na área tecnológica, otimizando o potencial de processamento de dados e principalmente tornando possível elaborar modelos preditivos⁵, auxiliando o usuário nas tomadas de decisões (Silva *et al.*, 2022). As ferramentas de simulação computacional voltadas a arquitetura e engenharia visam otimizar o processo projetual criando modelos simplificados e dos fenômenos físicos complexos reais (Hensen; Lamberts, 2012).

As tecnologias atuais têm potencial para enfrentar a complexidade da morfologia urbana contemporânea, por meio do diagnóstico do desempenho térmico e da implementação de estratégias otimizadas de modelagem em múltiplas escalas climáticas, abrangendo a cidade, o bairro e o ambiente interno (Gonçalves *et al.*, 2024).

⁵ Modelos computacionais que estimam possíveis cenários futuros.

Um dos *softwares* utilizados em larga escala atualmente em pesquisas no âmbito do conforto térmico urbano sob microescala climática, é o Envi_Met (Morsch *et al.*, 2018). Trata-se de um *software* de modelagem climática tridimensional do cenário urbano, simulando a interação térmica entre os componentes de um microclima, como: edifícios, vegetações, e afins (Envi_Met, 2024), quantificando o desempenho térmico através de cálculos confiáveis embasados nas teorias da bibliografia internacional referente a modelos físicos da termodinâmica e mecânica de fluidos, sendo possível assim determinar as trocas térmicas e o balanço energético nos cenários simulados (Novaes; Monteiro, 2022).

De acordo com um estudo realizado por Novaes e Monteiro (2022), simulações computacionais desenvolvidas em um modelo calibrado pelo Envi_met, obtiveram resultados de temperatura e umidade relativa do ar próximos aos dados reais coletados em campo. Além do trabalho mencionado acima, inúmeras outras pesquisas também já comprovaram a eficácia da aplicabilidade do Envi_met para simulações dinâmicas no ambiente urbano (Leal, 2018; Morsch *et al.*, 2018; Santos, 2023; Xavier, 2021).

2.6 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentado o *status quo* referente aos pontos de ônibus, trazendo para este trabalho informações de duas maneiras, primeiramente será realizado uma revisão bibliográfica sistemática, obtendo informações bibliométricas e analíticas do que está sendo feito atualmente a respeito da mitigação da temperatura nos pontos de ônibus ao redor do mundo.

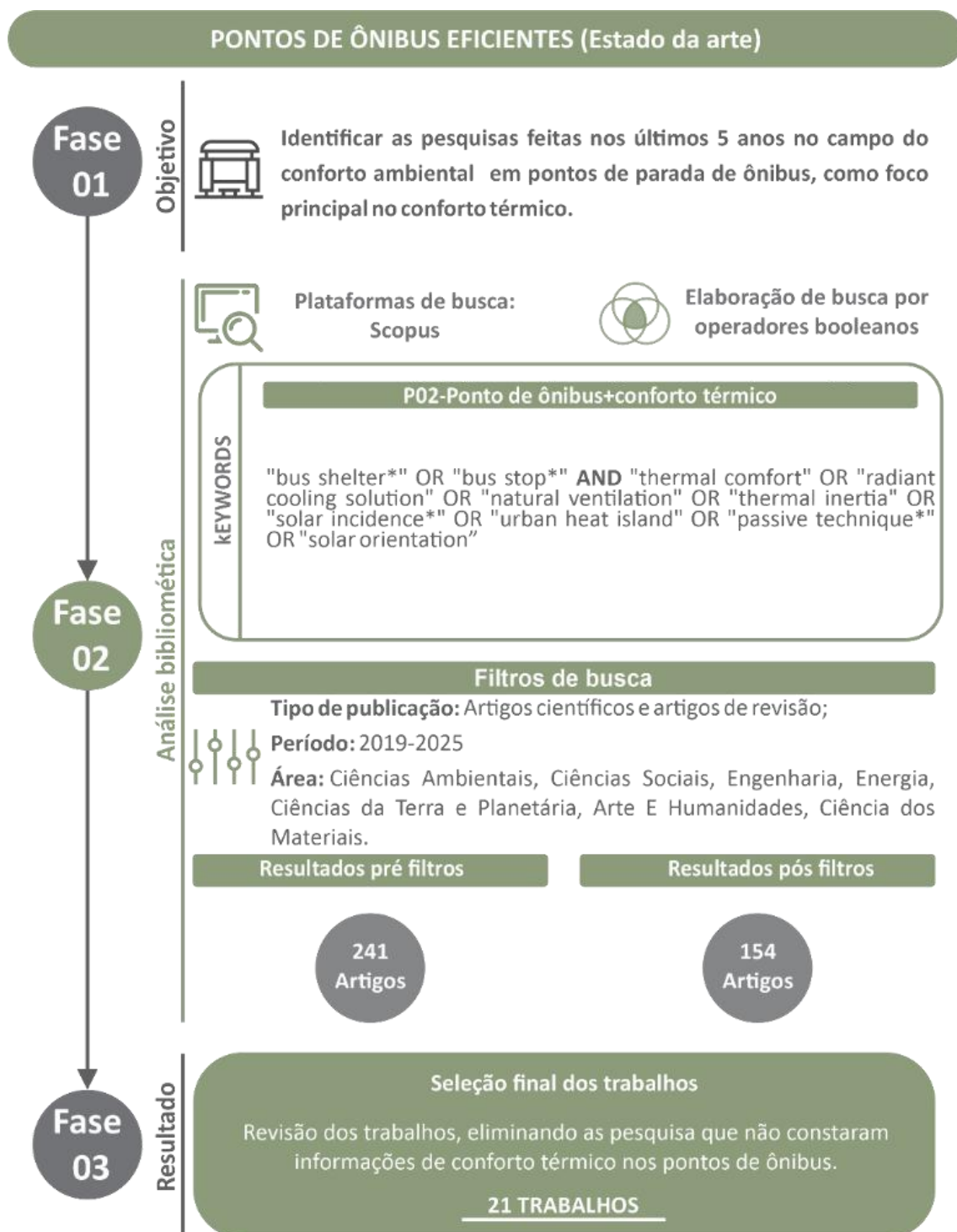
Sequencialmente, com o objetivo de otimizar os resultados da revisão do estado da arte, será apresentado uma revisão exploratória à cerca do tema apresentando trabalhos que expõem uma visão atual dos pontos de ônibus tanto nos quesitos o conforto térmico quanto funcionais e estéticos.

2.6.1 Revisão sistemática

A realização de revisão sistemática é uma metodologia que avança os limites da procura exploratória por produções científicas. Com a mesma é possível estabelecer um método para uma busca específica de trabalhos dentro de um

determinado assunto, agregando maior rigor aos resultados obtidos (Galvão; Ricarte, 2019). Dito isso, para as buscas deste trabalho foi estabelecido um procedimento em 03 fases, conforme Figura 14.

Figura 14: Etapas do desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autor, 2026.

A revisão sistemática é um procedimento metodológico que segue alguns protocolos, devendo assim serem atendidos alguns pontos, como a delimitação da questão principal da pesquisa, a definição da plataforma de busca dos trabalhos, a elaboração de estratégias bem definidas para a realização das buscas a definição e seleção dos textos e, por fim, a apresentação clara das informações extraídas dos materiais (Galvão; Ricarte, 2019).

Segundo Lycarião, Roque e Costa (2023), a definição da plataforma de busca requer dos autores da revisão, um processo de tentativas prévias, almejando observar de forma breve quais das plataformas acadêmicas apresentam melhores resultados sobre o tema requerido. Desta forma, seguindo o indicado na literatura supracitada foram iniciadas as pesquisas iniciais, tendo como melhor resultado a plataforma Scopus.

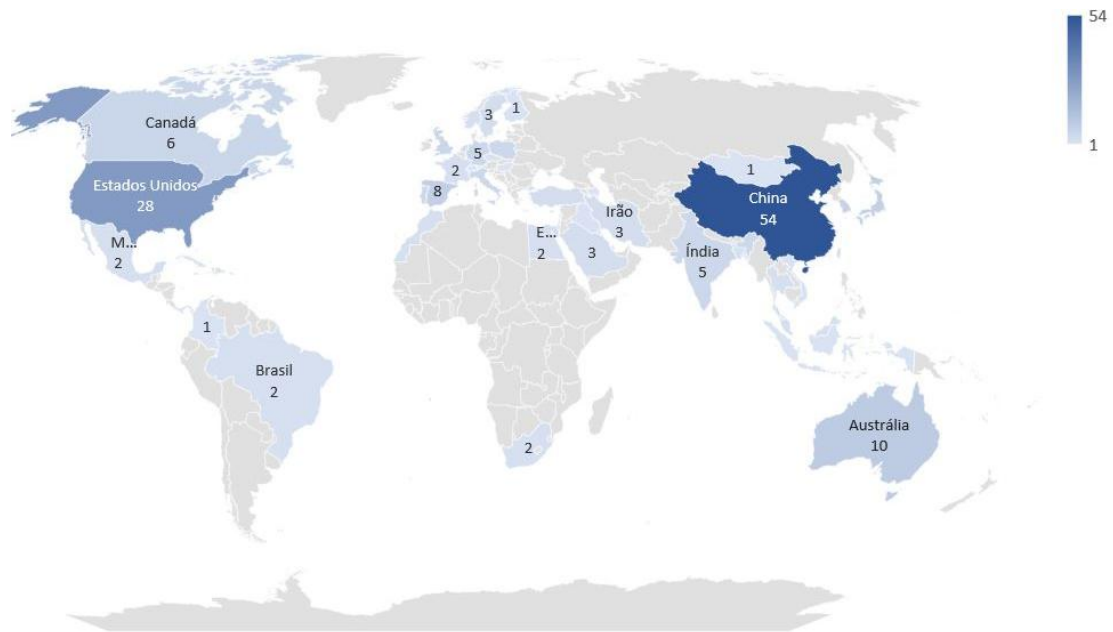
Para a realização de buscas avançadas foi utilizado o método de operadores booleanos. Segundo Donato e Donato (2019) a utilização de operadores booleanos permite aumentar ou restringir uma pesquisa através da combinação de palavras.

O objetivo principal desta revisão sistemática é identificar o estado da arte nas estratégias de conforto térmico nos pontos de ônibus. De acordo com Soares, Picolli e Casagrande (2018), para obter uma confiabilidade aceitável do resultado da revisão bibliométrica é importante definir e justificar rigorosamente os filtros aplicados a pesquisa como a lacuna temporal da busca, as áreas de abrangência, os tipos de trabalhos e as bases de dados escolhidas.

Desta forma, para seleção dos trabalhos foi necessário elaborar o processo de filtragem e buscando atingir trabalhos mais contemporâneos foram selecionados os publicados nos últimos 5 anos. Também foram aplicados aos filtros de busca somente artigos científicos e artigos de revisão. Foram também especificadas as seguintes áreas dos trabalhos: Ciências Ambientais, Ciências Sociais, Engenharia, Energia, Ciências da Terra e Planetária, Arte E Humanidades, Ciência dos Materiais, devido a essas estarem teoricamente correlacionadas ao tema da pesquisa. Com os resultados da aplicação dos filtros foram encontrados um total de 154 artigos.

O mapa de coocorrência de palavras chaves dos artigos (Figura 15), mostra que a literatura sobre conforto térmico urbano é fortemente centralizada nos termos “*thermal comfort*”, “*bus stop*” e “*bus shelter*”, evidenciando o foco crescente em pontos de ônibus como ambientes críticos de exposição ao calor. *Clusters* associados à ilha

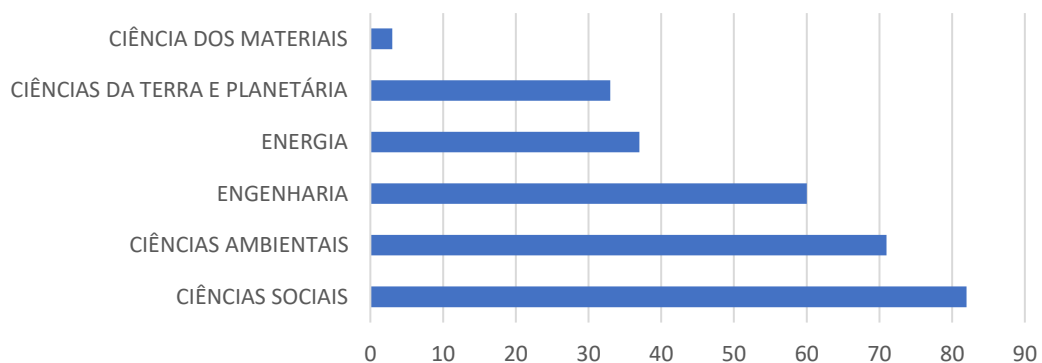
Figura 16: Número de publicações por país de origem



Fonte: Autor, 2026.

A quantidade de produções de acordo com as áreas da ciência (Figura 17), indica que a qualidade dos pontos de ônibus são, principalmente, uma preocupação social e ambiental.

Figura 17: Quantidade de artigos por área



Fonte: Autor, 2026.

Após a aplicação dos filtros foi necessário revisar o teor dos trabalhos (título e resumo) para selecionar somente aqueles que apresentassem informações de acordo com os critérios citados anteriormente, resultando assim na seleção de 21 artigos (quadro 01).

Quadro 1: Descrição dos trabalhos selecionados

Autores	Titulo	Ano
Dzyuban, Y.; <i>et al.</i>	<i>Public transport infrastructure and thermal perceptions of users in hot–arid climates.</i>	2022
Mokhtari, N.; Ulpiani, G.; Ghasempour, R.	<i>The Cooling Station: Combining hydronic radiant cooling and daytime radiative cooling for urban shelters.</i>	2022
Yu, C.; Dear, R.	<i>Thermal respite for pedestrians in overheated urban environments – Introduction of a dynamic analysis of outdoor thermal comfort.</i>	2022
Koscikova, Z; Krivtsov, V.	<i>Environmental and Social Benefits of Extensive Green Roofs Applied on Bus Shelters in Edinburgh.</i>	2023
Kyogoku, S.; Takebayashi, H.	<i>Experimental Verification of Mist Cooling Effect in Front of Air-Conditioning Condenser Unit, Open Space, and Bus Stop</i>	2023
Montero-Gutiérrez, P.; <i>et al.</i>	<i>Natural cooling solution for thermally conditioning bus stops as urban climate shelters in hot areas: Experimental proof of concept.</i>	2023
Velasco, E.; Segovia, E.	<i>Energy efficiency of actively cooled bus stops using AirAbitat® under tropical climate conditions.</i>	2023
Barnat, E; Sekret, R; Babiarz, B.	<i>Cooling of Air in Outdoor Areas of Human Habitation</i>	2024
Bo Shu, <i>et al.</i>	<i>Influence of the thermal environment of urban sidewalks under green shading from a human scale</i>	2024
Colamino, N; <i>et al.</i>	<i>A sidewalk-level urban heat risk assessment framework using pedestrian mobility and urban microclimate modeling</i>	2024
Czyza, S; Kowalczyk, A.	<i>Applying GIS in Blue-Green Infrastructure Design in Urban Areas for Better Life Quality and Climate Resilience.</i>	2024
Kania, N. E. D.; <i>et al.</i>	<i>Bus stop design strategy based on visual comfort level in Bandung City.</i>	2024
Montero-Gutiérrez, P.; <i>et al.</i>	<i>Heat wave resilience in open Spaces: A case study of a Self-Sufficient cooling shelter.</i>	2024
Pan, Y.; Li, S.; Tang, X.	<i>Investigation of bus shelters and their thermal environment in hot-humid areas—A case study in Guangzhou.</i>	2024
Takebayashi, H.	<i>A Simplified Evaluation Framework for Adaptation Measures to Urban Heat Islands.</i>	2024
Wright, C.; <i>et al.</i>	<i>Assessing heat-related health perceptions in the minibus taxi industry in Tshwane, South Africa</i>	2024
Briant, L.; <i>et al.</i>	<i>Small but Significant: A Review of Research on the Potential of Bus Shelters as Resilient Infrastructure</i>	2025
Hou, J.; <i>et al.</i>	<i>A comprehensive review of thermal comfort related design strategy of semi-outdoor transitional spaces.</i>	2025
Lanza, K.; <i>et al.</i>	<i>Heat stress mitigation by trees and shelters at bus stops</i>	2025
Steinharter, Z.; <i>et al.</i>	<i>Hot stops, cool looks: Aesthetic solutions for thermacomfort at transit stops.</i>	2025
Yi, W.; <i>et al.</i>	<i>Hyperlocal heat stress around bus stops in Philadelphia: Insights from spatio-temporal microclimate modeling and explainable AI.</i>	2025

Fonte: Autor, 2026.

Após a análise do conteúdo integral dos trabalhos selecionados é possível compreender os principais assuntos debatidos referente ao tema de conforto térmico em pontos de ônibus e ambientes semi externos.

A literatura recente converge em demonstrar que os pontos de ônibus são elementos críticos de exposição ao calor extremo, especialmente em climas áridos e quentes-úmidos. Em Phoenix, nos Estados Unidos, caracterizada por clima quente e úmido Dzyuban *et al.* (2022) registraram valores médios de PET de 44,10 °C, com 22,2% dos usuários relatando sentir muito calor e 24,7% afirmaram sentir calor na utilização dos pontos de ônibus durante a espera, evidenciando a inadequação térmica dos abrigos convencionais.

Em um contexto de clima quente e úmido, na cidade de Guangzhou, Pan, Li e Tang (2024) observaram uma temperatura radiante média superior a 50 °C em pontos expostos ao sol, com diferença de 6 °C entre locais arborizados e descobertos. Em uma escala qualitativa, Wright *et al.* (2024) reforçam esses achados na cidade de Tshwane, África do Sul, ao identificar sintomas de sudorese, exaustão e náuseas entre usuários e motoristas que aguardam em áreas sem sombra, revelando que o estresse térmico associado ao transporte público é tanto um desafio ambiental quanto fisiológico.

Esse corpo de evidências motivou uma série de pesquisas voltadas a compreensão do por que os pontos de ônibus em locais de clima quente superaquecem e quais parâmetros físicos determinam seu desempenho. Kania *et al.* (2024) apresentam, através de pesquisa voltada ao conforto térmico, na cidade de Bandung, Indonésia, abrigos compostos apenas por cobertura convencional registraram Daylight Factor (DF) entre 46% e 55%, indicando forte incidência solar, enquanto marquises e painéis verticais reduzem o DF para 17 a 23%, limitando a radiação incidente. Apesar do trabalho ter foco no conforto luminoso, os autores reconhecem que a redução da entrada de radiação solar direta tende a limitar os ganhos térmicos nos pontos de ônibus.

Hou *et al.* (2025) reforçam que orientação solar, a geometria, taxa de abertura e grau de enclausuramento implicam diretamente na ventilação e no sombreamento, podendo dobrar a eficiência térmica nos pontos de ônibus. Além disso, o desconforto térmico não se restringe ao abrigo. Colaninno *et al.* (2024) esclarecem, através de estudos feitos na cidade de Los Angeles, Estados Unidos, que trajetos feitos pelos

pedestres até o ponto de ônibus frequentemente atingem UTCI acima de 29 °C ao meio-dia, ampliando a carga térmica acumulada, implicando em desconforto térmico no tempo de espera.

Baseado na realidade supracitada, surgem pesquisas que buscam propor soluções para proporcionar conforto térmico nos pontos de ônibus. A arborização surge como a estratégia bioclimática mais consistente. Em Taipei, Bo Shu *et al.* (2024) observaram que, embora a redução na temperatura do ar sob árvores seja modesta, entre 0,6 e 1,1 °C, a redução de temperatura superficial é expressiva, atingindo redução de até 10 °C, mesmo em superfícies que atingiram 56°C.

Em Houston, Lanza *et al.* (2025) avaliaram a temperatura de termômetro de bulbo húmido (WBGT) de 17 pontos de ônibus e mostraram que a sombra arbórea foi a estratégia de mitigação de calor mais eficaz, reduzindo a temperatura em cerca de 3,3 °C em relação a área aberta ao sol. Os pontos de ônibus apresentaram desempenho variável, com reduções médias entre 0,9 e 1,7 °C, enquanto apenas o modelo mais aberto (sem proteções laterais) atingiu reduções próximas às árvores, 3,3 °C. Steinharter *et al.* (2025) acrescentam que a estética e a presença de vegetação cooperam positivamente para a percepção térmica dos usuários dos pontos de ônibus em Denver, Estados Unidos, reduzindo a chance de relatos de calor.

Além das soluções baseadas na natureza, tecnologias passivas e híbridas vêm ganhando destaque na literatura. Takebayashi (2024) demonstrou que, no Japão, a irrigação de pavimentos reduziu em cerca de 10 °C a temperatura superficial, enquanto superfícies altamente refletivas podem aumentar a radiação absorvida pelo corpo. No campo do resfriamento radiante, Dharmasastha *et al.* (2024) verificaram reduções nos coeficientes convectivos e radiativos, e Mokhtari, Ulpiani e Ghasempour (2022) relatam reduções de até 10 °C em UTCI com sistemas radiantes.

No mesmo sentido, Montero-Gutiérrez *et al.* (2024) ampliam esse horizonte ao propor um abrigo autossuficiente, para a cidade de Sevilla, Espanha, com sistema *falling-film* alimentado por energia solar, mantendo a carga térmica entre 70 e 120 W/m² durante 90% do período crítico. Em estudo anterior, os autores já haviam mostrado que materiais radiantes combinados com ventilação natural podem reduzir o desconforto em até 50%.

Por outro lado, algumas tecnologias ativas ainda apresentam limitações. Kyogoku e Takebayashi (2023) observaram que, no Japão, sistemas de névoa

produzem apenas 1 °C de redução no ar em clima úmido, sem impacto no WBGT, enquanto Velasco e Segovia (2023) identificaram desempenho real de apenas 1 °C com elevado consumo energético. Frente a esses resultados, Barnat *et al.* (2024) analisaram diferentes configurações de resfriamento ativo e híbrido, em Rzeszow, Polônia, concluindo que sistemas evaporativos, sobretudo quando associados a energia solar, apresentam o melhor desempenho energético, chegando a suprir até 81% da demanda elétrica.

Em escala urbana, Yi *et al.* (2025) mapearam oito mil cento e vinte e seis pontos de ônibus da Filadélfia, entre 11h e 15h, identificando que mais de 99% ultrapassam 32 °C, com picos de 37 a 38,9 °C. Esses resultados dialogam com os experimentos de Yu e Dear (2022), que mostram que o desconforto térmico se acumula em apenas quatro minutos sob forte radiação, mas que sombra e vento podem reduzir a temperatura da pele entre 0,4 e 0,7 °C por minuto, restaurando o conforto no mesmo intervalo de tempo, reforçando a importância dos pontos de ônibus como ferramenta de alívio térmico distribuídos.

Em conjunto, em uma escala urbana maior, Czyza e Kowalczyk (2024) argumentam que corredores de resfriamento e pontos estratégicos de sombra devem ser integrados ao planejamento urbano para enfrentar ondas de calor. A síntese apresentada por Briant *et al.* (2025) confirma que abrigos de ônibus, devido à sua capilaridade urbana e baixo custo, têm alto potencial como infraestrutura climática, sendo unanimemente apontados como elementos prioritários para intervenções de sombreamento e mitigação térmica.

De modo geral, a literatura esclarece que o desempenho térmico dos pontos de ônibus é um componente crítico da adaptação urbana ao calor, influenciados pelo microclima, pela morfologia urbana e pela disponibilidade de estratégias de controle térmico. Os estudos analisados revelam dados consistentes de exposição excessiva à radiação, insuficiência de proteção climática e vulnerabilidade climática aos usuários em diferentes locais, ao mesmo tempo em que apontam soluções passivas, baseadas na natureza e híbridas como as mais promissoras para mitigação.

Embora esses trabalhos ofereçam uma base sólida de evidências e tendências de projeto, é fundamental compreender como essas questões se manifestam na realidade brasileira, marcada por ampla diversidade climática, desigualdades urbanas e heterogeneidade nas tipologias dos pontos de ônibus. Nesse sentido, a seção

seguinte apresenta uma revisão exploratória específica sobre os pontos de ônibus no Brasil, discutindo suas configurações atuais, limitações funcionais e o estágio de desenvolvimento dos projetos existentes no país.

2.6.2 Pontos de ônibus no Brasil (revisão exploratória)

Com o objetivo de interpretar a realidade em que se encontram os pontos de ônibus no Brasil, bem como quais projetos estão sendo elaborados atualmente nesse âmbito, foram realizadas pesquisas bibliográficas exploratórias. Ressalta-se ainda que os materiais apresentados a seguir não somente abordam aspectos relacionados ao desempenho térmico desses equipamentos, trata-se de uma abordagem do estado geral da plasticidade e funcionalidade das paradas de ônibus.

De acordo com Souza *et al.*, (2019) a sensação térmica no serviço de transporte circular da Universidade Federal do Pará, em um contexto de 32 paradas de ônibus, somente 05, apresentam os requisitos mínimos de conforto ambiental (bancos e coberturas). Oliveira, Salomão e Barbosa, (2022) apontam que no município de Juiz de Fora, dentre as 8 regiões analisadas, em 6 é possível encontrar mais de 80% dos pontos sem cobertura. A ausência de assento foi registrada entre 20 a 40% dos abrigos e, no geral, 10% dos pontos de ônibus apresentam anomalias nas calçadas.

Segundo Pires *et al.*, (2020) nos pontos de ônibus feitos de container utilizados em Cuiabá, o índice de calor (IC) pode chegar a 42°C, o que reflete na classificação de perigo a danos à saúde humana. Já Souza *et al.*, (2019) obtiveram, através de medições em pontos de ônibus na cidade de Belém do Pará, temperaturas radiantes de cobertura de 38 à 50°C, e piso de 34 à 36°C.

Visto a importância dos pontos de ônibus no contexto da mobilidade urbana nacional alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos para promover uma melhor qualidade de vida através da otimização do deslocamento urbano da população. No ano de 2022 foi promovido um concurso pela Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP) em parceria com a projetar.org, e *Concrete Show South America*. Destinados a estudantes o concurso visava promover um ponto de ônibus em concreto que pudesse ser instalado em cidades brasileiras (Souza, 2017).

3 MÉTODOS

A estrutura metodológica desta pesquisa foi desenvolvida buscando integrar o levantamento teórico, investigação empírica e simulações computacionais embasando o trabalho para a proposição de soluções projetuais, conforme esquematizado na Figura 19.

Inicialmente, procedeu-se à revisão bibliográfica sistemática, com o objetivo de identificar o estado da arte sobre o conforto térmico e desempenho energético em pontos de ônibus. Em seguida, através de observação em campo e registro fotográfico, foram realizadas a identificação e categorização das tipologias dos pontos de ônibus de Foz do Iguaçu, estabelecidos pela igualdade geométrica.

Na sequência, foi identificado um modelo mais representativo de cada grupo selecionado para a realização da avaliação empírica, sendo essa feita por meio da coleta de dados climáticos em campo, aplicação de questionário semiestruturado *online*, análise documental e registro fotográfico. Essa etapa permitiu caracterizar os pontos de ônibus e consolidar uma base de informações que serviu de suporte às fases posteriores.

Paralelamente, foram conduzidas simulações computacionais em recortes urbanos de 50 m x 50 m, modelados no *software* ENVI-met 5.7.2, previamente calibrados com dados reais aferidos *in loco* com o uso de arquivos climático no formato EPW⁶. Essa etapa visou estimar parâmetros microclimáticos relevantes de acordo com possíveis cenários urbanos de modo a possibilitar a análise comparativa entre diferentes microclimas.

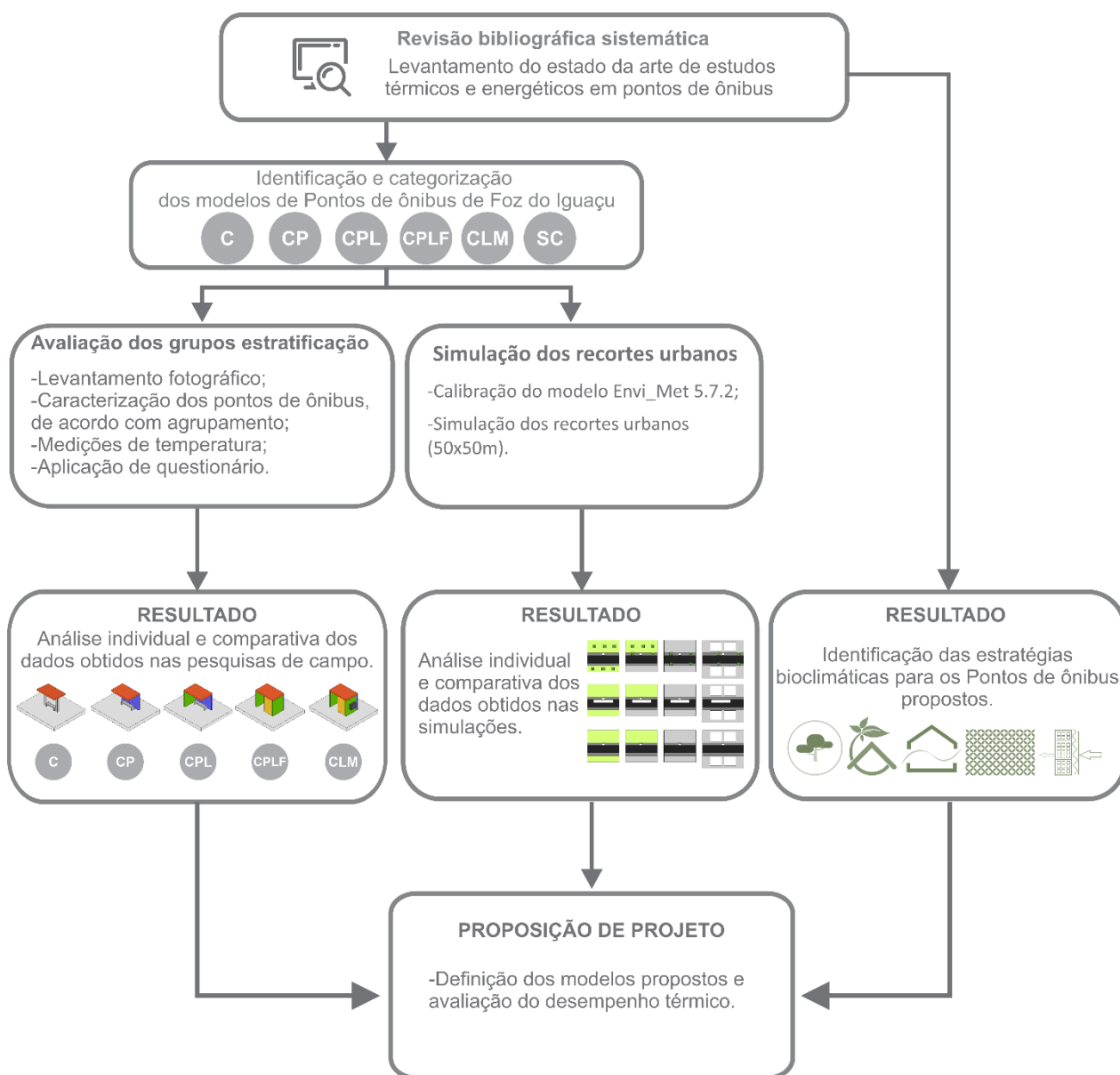
Os resultados foram examinados em três frentes complementares. Primeiramente, foi feita a análise individual e comparativa dos dados obtidos em campo, possibilitando a identificação de padrões microclimáticos. Em um segundo momento, realizou-se a análise dos resultados provenientes das simulações, permitindo a avaliação do desempenho térmico de cada cenário urbano em estudo. A partir destes resultados e juntamente com as revisões bibliográficas sistemática e exploratória, foram elencadas as estratégias bioclimáticas ideais para os projetos a

⁶ Um arquivo climático de formato EPW contém dados horários de temperatura, umidade, vento e radiação de uma determinada localidade, usado em programas de simulação ambiental.

serem desenvolvidos.

Como etapa conclusiva do processo metodológico e embasados pelas análises das simulações computacionais e nas estratégias bioclimáticas identificadas, foi definido o modelo final de pontos de ônibus. Tal projeto configura o principal produto da pesquisa, fundamentado em uma abordagem metodológica integrada que combina evidências experimentais, simulações e diretrizes de projeto bioclimático.

Figura 19: Esquema metodológico adotado



Fonte: Autor, 2026.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ÔNIBUS DE FOZ DO IGUAÇU

Segundo Oliveira (2002), uma pesquisa de campo busca realizar uma análise do elemento e de como ele se comporta em seu meio natural, através da observação do pesquisador. Para obtenção de resultados mais proveitosos indica-se um cruzamento dos resultados desta com outros tipos de pesquisa realizadas como revisões bibliográficas, fazendo assim a verificação da veracidade das informações coletadas (Marconi; Lakatos, 2023).

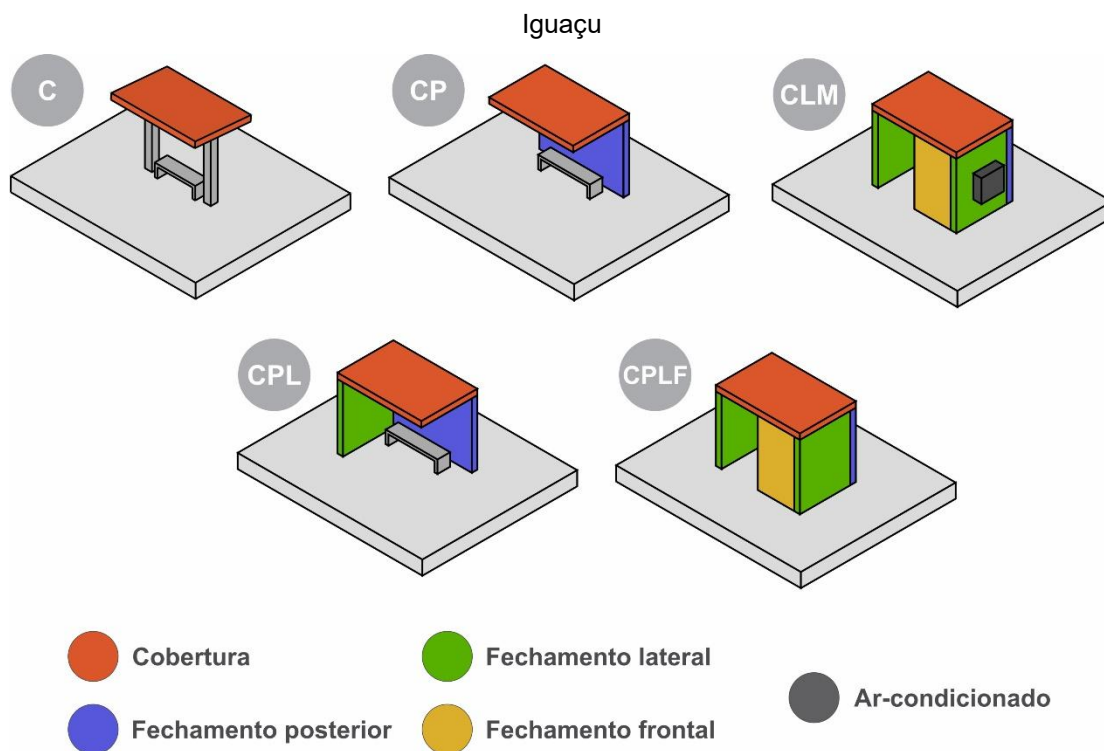
Na constatação da existência de vários modelos de ponto de ônibus diferentes em Foz do Iguaçu, fez-se necessário identificar os principais modelos encontrados de no município. O levantamento empírico foi desenvolvido mediante observação *in loco*, com registro e análise dos elementos identificados. Os registros foram realizados no dia 16 de fevereiro de 2025, por meio de documentação fotográfica.

Complementarmente, foram obtidas informações oficiais junto à Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, incluindo dados administrativos e legais relacionados à implantação e regulamentação dos pontos de ônibus no município. Essas informações possibilitaram compreender os critérios normativos utilizados pelo poder público para a gestão das unidades de pontos e paradas de ônibus, servindo de base comparativa às condições reais observadas durante a pesquisa de campo.

3.2 AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO EXTRATIFICADA DOS GRUPOS IDENTIFICADOS

Após a identificação preliminar dos principais modelos de ponto de ônibus encontrados na cidade de Foz do Iguaçu, apresentado no item 4.1 deste trabalho, observou-se a necessidade em realizar um agrupamento das tipologias, aonde foi definida a geometria como categorizador desta subdivisão. Foram estabelecidos então 6 grupos distintos: com cobertura (C); com cobertura e fechamentos posterior (CP), com cobertura, fechamentos posterior e lateral (CPL), com fechamentos total, cobertura, posterior, lateral e frontal (CPLF), climatizado (CLM) e sem cobertura (SC). Conforme a Figura 20 a seguir é possível observar uma representação dos grupos citados.

Figura 20: diagrama dos agrupamentos dos modelos de ponto de ônibus encontrados em Foz do



Fonte: Autor, 2026.

3.2.1 Medição de temperatura do ar e temperatura superficial

Após a identificação dos modelos de pontos de ônibus e da separação em grupos, verificou-se a existência de diferentes modelos dentro da mesma categoria. Sendo assim, para efeito de análise, foram selecionados os exemplares com maior representatividade em cada grupo, garantindo assim resultados comparáveis e relevantes.

A seleção dos locais aferidos (Figura 21) considerou, além do cumprimento aos modelos identificados, como também critérios logísticos de viabilidade de coleta, a homogeneidade do entorno imediato e a similaridade microclimática, assegurando condições equivalentes entre os pontos de ônibus analisados.

Figura 21: Localização dos pontos de ônibus analisados



Localização de cada ponto de ônibus referenciado

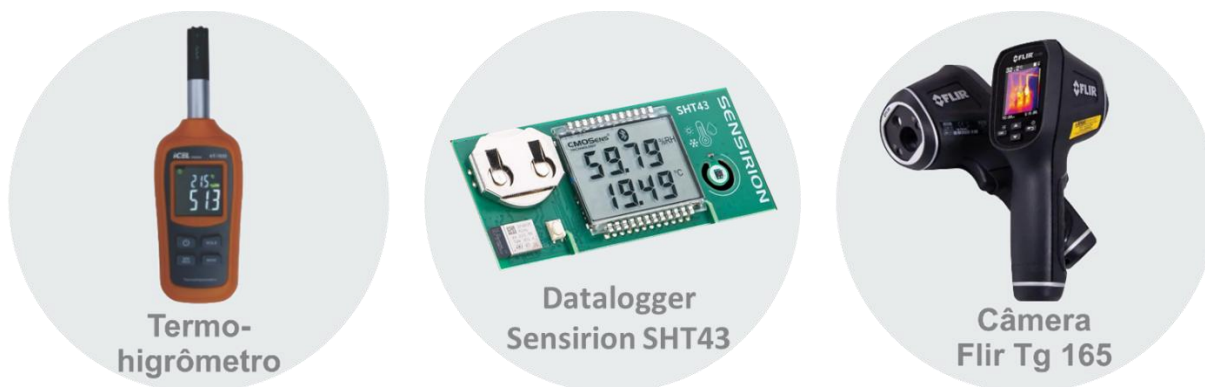
- 01 | Ponto grupo C, Av. Parati, Itaipu A, 25.500142 S, 54.567813W
- 02 | Ponto grupo CPL, Av. Gramado, Itaipu A, 25.498172 S, 54.567841W
- 03 | Ponto grupo CP, Av. Silvio Américo Sasdelli, 25.494606 S, 54.563818W
- 04 | Ponto grupo CLM, Av. Mario Filho, Morumbi, 25.524279 S, 54.533821W
- 05 | Ponto grupo CPLF: Av. das Cataratas, Bourbon, 25.560289 S, 54.561751W

Fonte: Autor, 2026.

As medições de temperatura do ar (T_a) e umidade relativa (UR) foram realizadas por dois procedimentos complementares. Utilizou-se um termo-higrômetro Digital HT-7035 (Icel) para leituras pontuais em campo, sem registro contínuo de dados, posicionado a 1,5 m de altura no centro de cada ponto de ônibus, e fora do mesmo a uma distância de 3 metros também a 1,5m de altura, permitindo a comparação entre as condições no interior e no exterior dos abrigos no mesmo intervalo de tempo. Paralelamente, instalou-se um *datalogger* Sensirion SHT43, a 2,0

m de altura, para registro contínuo e automático de Ta e UR, assegurando, desta forma, uma série temporal mais consistente e reduzindo a influência de variações momentâneas e da operação manual. Já a temperatura superficial foi obtida por uma câmera termográfica FLIR TG165 (Figura 22).

Figura 22: Equipamentos de medições térmicas utilizadas em pesquisa de campo







Fonte: Autor, 2026.

O monitoramento com os *dataloggers* ocorreu interruptamente entre os dias 06 e 07 de dezembro de 2025 em todos os grupos (C, CP, CPL e CPLF). Entretanto, as aferições com termo-higrômetro e com a câmera termográfica foram realizadas no mesmo dia em horários definidos segundo dois critérios: picos de utilização do transporte coletivo (início e término do dia) e períodos de maior incidência térmica diária (próximo ao meio dia). Devido a questões de deslocamento, houveram pequenas variações nos horários de medição entre os pontos.

A ausência das medições no ponto CLM se deu ao fato de intercorrência durante a campanha de monitoramento, visto que o equipamento instalado foi furtado no período de coleta, inviabilizando a continuidade e a confiabilidade dos dados. Além disso, os pontos CPLF e CLM não foram contemplados com medições pontuais por termo-higrômetro nem com registros de Ts por câmera termográfica, em razão da inviabilidade operacional de deslocamento durante a campanha de campo, uma vez que se localizavam a maior distância em relação aos pontos C, CP e CPL, nos quais essas medições foram concentradas. Os horários de medição de cada ponto podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Pontos seus respectivos horários de monitoramento

Categoria	Ponto de ônibus	Horário das medições com Datalogger	Horário das medições pontuais (Termo-higrômetro) e de Ts (câmera termográfica)		
C		A partir das 08:00 h do dia 06/12 até as 18:00 h do dia 07/12	06:30 h 07:30 h 08:30 h	11:30 h 12:30 h 13:30 h	16:30 h 17:30 h 18:30 h
CP		A partir das 08:00 h do dia 06/12 até as 18:00 h do dia 07/12	06:35 h 07:35 h 08:35 h	11:35 h 12:35 h 13:35 h	16:35 h 17:35 h 18:35 h
CPL		A partir das 08:00 h do dia 06/12 até as 18:00 h do dia 07/12	06:40 h 07:40 h 08:40 h	11:40 h 12:40 h 13:40 h	16:40 h 17:40 h 18:40 h
CPLF		A partir das 08:00 h do dia 06/12 até as 18:00 h do dia 07/12	---	---	---

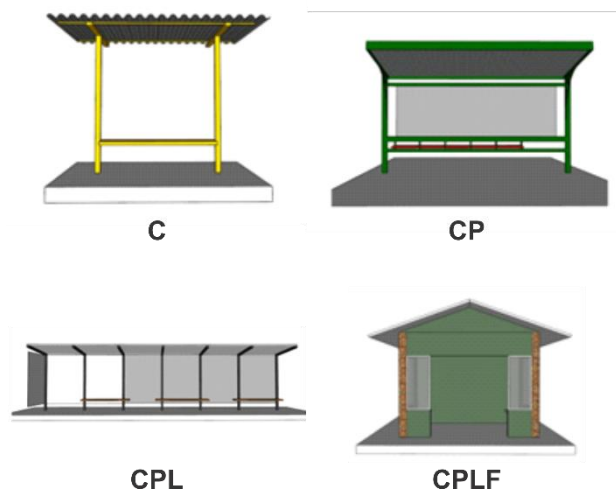
Fonte: Fonte: Autor, 2026.

3.2.2 Levantamento fotográfico, caracterização e modelagem

Além das medições climáticas, também foram realizados os registros fotográficos dos pontos de ônibus selecionados, bem como o levantamento geométrico e caracterização dos materiais de composição de cada ponto. Com essas informações foram desenvolvidos os modelos digitais representativos de todos os exemplares selecionados, o que possibilitou a análise da incidência solar de cada

exemplo bem como tornou possível o cruzamento de dados entre os resultados obtidos nessa e nas etapas posteriores. A Figura 23 apresenta os modelos digitais elaborados.

Figura 23: Modelos digitais dos pontos de ônibus avaliados



Fonte: Autor, 2026.

3.2.3 Aplicação de questionários

O questionário é uma forma de pesquisa de campo aonde o pesquisador desenvolve e organiza questões de interesse de sua pesquisa, os questionamentos devem ser elaborados buscando sanar lacunas de conhecimento da pesquisa, esse método proporciona um grande número de respondentes e concomitantemente uma maior abrangência nos resultados obtidos (Cervo, Bervian e Silva, 2007).

O questionário utilizado nesta pesquisa foi elaborado no *Google Forms* e elaborado de forma semiestruturada, contendo: perguntas fechadas, escalas de avaliação e um espaço final para respostas abertas. O questionário inicia com duas questões destinadas à caracterização do usuário, em seguida, aborda o padrão de uso dos pontos de ônibus, questionando a frequência de utilização, o tempo médio de espera e o período do dia em que o participante costuma aguardar o transporte.

Na sequência, o formulário apresenta ao respondente uma imagem com as diferentes tipologias de abrigos existentes na cidade, solicitando que indique qual delas utiliza com maior frequência. Ainda sobre infraestrutura, o usuário identifica quais elementos já percebeu faltar em algum ponto que utilizou, como bancos,

cobertura, fechamentos laterais, iluminação ou informações visuais.

Logo após, solicita-se que o participante avalie diversos aspectos do abrigo (como conforto térmico, visual e acústico, manutenção e acessibilidade) por meio de uma escala de 1 a 5. As questões seguintes tratam especificamente da percepção térmica, separando as respostas referentes ao verão e ao inverno, usando categorias de sensação térmica que variam de muito frio a muito calor, e uma escala de conforto que varia de muito desconfortável a muito confortável.

O instrumento também investiga a sensação de proteção climática oferecida pelos abrigos, considerando chuva, sol e vento. Ao final, há uma pergunta aberta para que o usuário registre comentários adicionais ou observações sobre os pontos de ônibus da cidade. A aplicação do questionário ocorreu entre agosto e outubro de 2025, de forma *online* e com participação voluntária⁷ dos usuários. A divulgação do questionário ocorreu por meio de *QR codes* distribuídos no município e do envio do link para grupos em aplicativos de mensagens. O questionário pode ser encontrado no Apêndice A desse trabalho.

3.2.3.1 Tratamento estatístico do questionário

Buscando avaliar a incerteza associada aos resultados do questionário, adotou-se um intervalo de confiança de 95% para as estimativas de proporção. A margem de erro amostral máxima foi calculada a partir da expressão para o erro em proporções em amostras grandes (Montgomery, Runger, 2014).

$$E_{m\acute{a}x} = Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{n}} \quad \text{Equação (1)}$$

Aonde $E_{m\acute{a}x}$ é a margem de erro máxima, $Z_{\alpha/2}$ é o quantil da distribuição normal padrão, associado ao nível de confiança, sendo que para 95%, $z_{0,025}$ é igual aproximado à 1,96, p é a proporção adotada para o cálculo e n é o tamanho da amostra. Considerou-se o pior caso de variabilidade, com $p=0,5$, que maximiza o

⁷ Nos termos da Resolução CNS nº 510/2016, o questionário não demandou submissão ao sistema CEP/CONEP, pois trata-se de pesquisa de opinião com participantes não identificados.

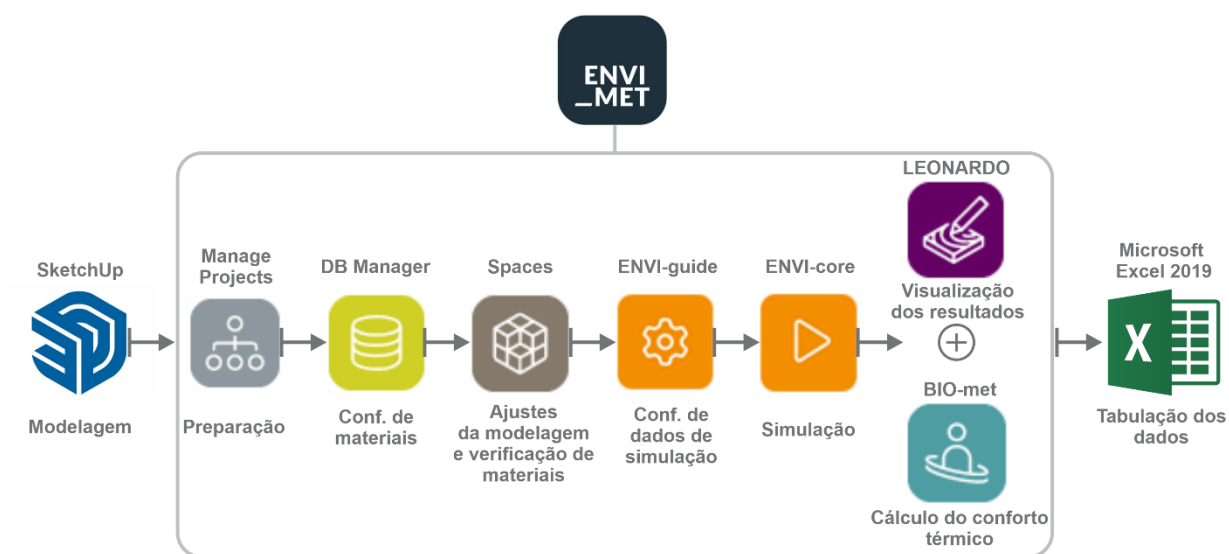
termo $(p(1-p))$ e fornece um valor conservador para o erro amostral. Com $n=96$ respostas válidas, obtém-se:

$$E_{m\acute{a}x} = 1,96 \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,5}{96}} \approx 0,10$$

3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DOS RECORTES URBANOS

O *software* definido neste trabalho para realizar as simulações climáticas foi o *Envi_met 5.7.2* (ENVI-MET GMBH, 2025), já as áreas de estudo foram modeladas com o *SketchUp 2021*, (TRIMBLE, 2021). O processo de modelagem e simulações adotados neste trabalho podem ser observados na Figura 24.

Figura 24: Organograma de desenvolvimento das simulações com Envi_Met 5.7



Fonte: Autor, 2026.

3.3.1 Calibração do modelo

Buscando maximizar a confiabilidade dos dados obtidos nas simulações é necessário fazer a calibração do modelo digital. O método de inserção de dados climáticos utilizados no *Envi_Met* foi o *full forcing*⁸, que permite a inserção do arquivo

⁸ *Full forcing* é um método de inserção de dados climatológicos do *Envi_MET* que consiste em impor

climático do formato *EPW*.

A calibração dividiu-se em duas etapas principais: medições das condições climáticas em campo e processo digital (modelagem no ambiente virtual e respectiva calibração). Para a coleta de temperatura do ar foi definido o ponto de ônibus localizado na região norte de Foz do Iguaçu, com as seguintes coordenadas geográficas 25°43'11"S e 54°59'37"O. O referido ponto encontra-se dentro das instalações do Itaipu Parquetec, conforme pode-se observar a seguir (Figura 25).

A escolha deste ponto de ônibus para coleta de dados de calibração se deu pela necessidade por segurança dos equipamentos no período das medições, diminuindo a probabilidade de enviesamento dos dados por vandalismo de usuários e afins. É importante referir que esse modelo de ponto de ônibus é condizente com muitos modelos encontrados no município.

Figura 25: Imagem aérea e frontal do ponto para calibração computacional
Foz do Iguaçu



01- Foz do Iguaçu (Brasil) / 02- Cidade de Leste (Paraguai) / 03- Porto Iguaçu (Argentina)

Fonte: Autor, 2026.

ao programa uma série temporal das variáveis meteorológicas. Isso permite reproduzir com maior realismo a variação das condições atmosféricas durante o período de simulação.

Foram instalados três equipamentos de medição de temperatura, tipo Dataloggers HOBO U100-001 Temp., conforme Figura 26. Os equipamentos foram configurados para medições a cada 10 minutos.

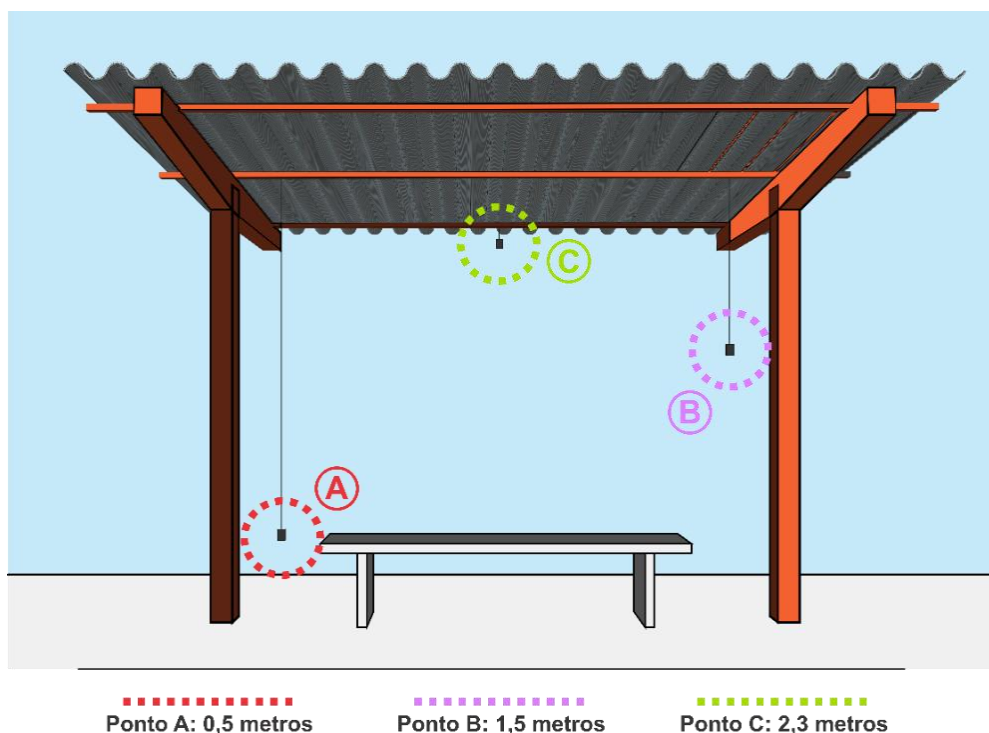
Figura 26: Identificação dos pontos de coleta de dados



Fonte: Autor, 2026.

Inicialmente foi realizado um ensaio piloto das medições, entre os dias 29 de janeiro e 04 de fevereiro de 2025, com a instalação dos equipamentos a uma altura de 2,3 m com relação ao piso. Através da análise preliminar dos resultados, verificou-se que com a proximidade do equipamento a cobertura contribuiu diretamente nos resultados obtidos de temperatura do ar, decidiu-se então reposicionar os equipamentos. A segunda investigação utilizou os equipamentos posicionados em três alturas distintas, 0,5 m, 1,5 m e 2,3 m, conforme Figura 27. As medições foram realizadas no dia de 05 de fevereiro entre as 8 h e 17 h.

Figura 27: Identificação da alternância de alturas nos pontos de coleta de dados



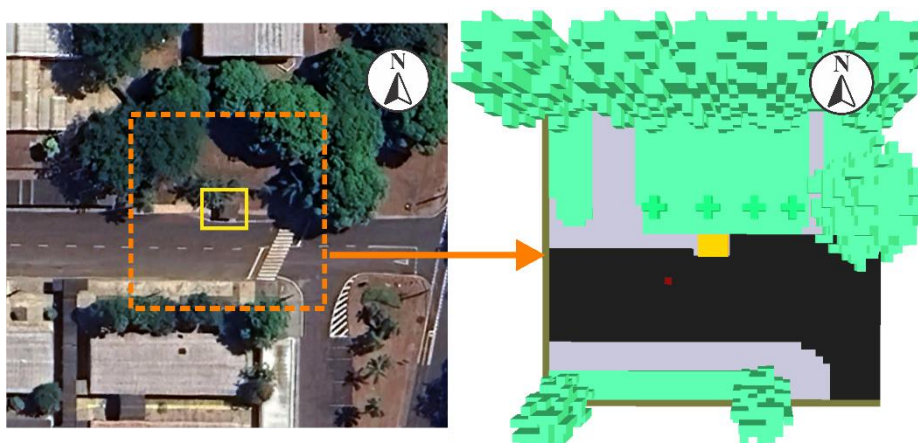
Fonte: Autor, 2026.

Após a coleta dos dados de temperatura nas datas mencionadas, deu-se início ao processo de modelagem computacional do ambiente. Para a representação física do objeto de estudo utilizou-se o *software* SketchUp 2021 (TRIMBLE, 2021), no qual foi desenvolvido o modelo tridimensional do abrigo e de seu entorno imediato.

O recorte espacial adotado para a simulação foi de 50 m x 50 m, definidas de modo a abranger o abrigo de ônibus e seu entorno imediato. Embora a espessura mínima admissível no ENVI-met para os componentes geométricos seja de 0,5 m, adotou-se, neste trabalho, 1,0 m, buscando assegurar a representatividade dos fluxos microclimáticos e, ao mesmo tempo, viabilizar as simulações evitando aumento exponencial do custo computacional.

Concluída essa etapa, empregou-se a extensão *ENVI-met INX*, responsável por converter o modelo para o formato compatível com o ENVI-met. O cenário resultante, apresentado na Figura 28, serviu de base para a configuração e execução das simulações.

Figura 28: Modelo digital da área de calibração



Fonte: Autor, 2026.

Na sequência, procedeu-se com a definição dos dados climáticos no Envi_Guide, adotando-se a metodologia *Full Forcing*, alimentada por arquivo climático *EPW* para Foz do Iguaçu. O arquivo climático utilizado encontra-se disponível no site [Climate.OneBuilding.Org](https://climate.onebuilding.org)⁹. Os horários simulados de calibração foram no intervalo entre 7 h e 19 h, abrangendo o horário de maior amplitude térmica. Os resultados obtidos foram posteriormente comparados com os dados medidos em campo, permitindo avaliar a acurácia e o comportamento do modelo em relação às condições microclimáticas reais.

3.3.2 Caracterização, modelagem das áreas urbanas e simulação microclimática

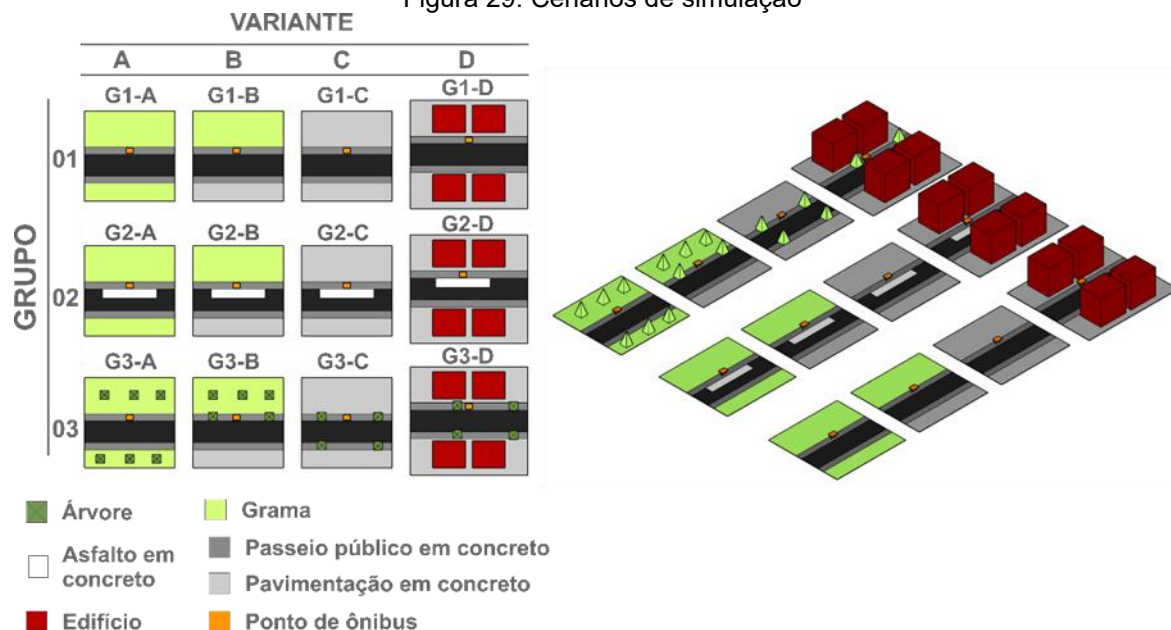
Para a simulação computacional foram definidos três grupos de cenários urbanos, conforme Figura 29, todos baseados no mesmo modelo tridimensional previamente calibrado. Essa etapa foi realizada para isolar, controladamente, qual a influência que os principais componentes do entorno imediato do ponto de ônibus exercem sobre as principais variáveis climáticas, permitindo dessa forma identificar quais os elementos mais determinantes para o conforto térmico e quais as estratégias apresentam maior potencial de mitigação.

As dimensões das áreas de abrangência dos cenários foram estabelecidas por serem suficientes para contemplar o ponto de ônibus e seu entorno imediato,

⁹ Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: 03/10/2025.

garantindo a representatividade dos fluxos microclimáticos e, ao mesmo tempo, evitando o aumento excessivo do custo computacional do modelo.

Figura 29: Cenários de simulação



Fonte: Autor, 2026.

A variação dos cenários dentro de cada grupo foi concebida para representar diferentes graus de complexidade urbana e, assim, compreender de forma progressiva o impacto dos elementos do entorno sobre o microclima do ponto de ônibus.

No “grupo 01”, as quatro variações partem de uma configuração mínima composta por pavimentação asfáltica, passeio público em concreto e grama, avançando para a inclusão de áreas pavimentadas adicionais e, por fim, para a presença de edificações, permitindo analisar como o adensamento e a substituição de superfícies naturais por artificiais modificam as condições térmicas locais.

O “grupo 02” repete exatamente as mesmas variações do grupo 01, porém com a inserção de um recorte de pavimentação em concreto destinado a área de paragem do ônibus, em todos os quatro cenários, simulando situações frequentes no município e possibilitando avaliar o efeito contínuo dessa superfície no entorno imediato do abrigo.

Já o “grupo 03” reproduz a mesma estrutura do “grupo 01”, porém com a adição de árvores no entorno em todas as variações, permitindo comparar diretamente o

papel da vegetação no sombreamento, na redução da radiação incidente e na melhoria das condições microclimáticas comparadas às configurações equivalentes sem arborização. Assim, as variações foram planejadas de forma sistemática para isolar o efeito de superfícies, adensamento e vegetação sobre o desempenho térmico dos pontos de ônibus.

Para compreender o comportamento climático em dias quentes e frios nos cenários testados, as simulações foram realizadas para os dias 04 de fevereiro de 2025 e 11 de junho de 2025. As datas foram definidas por terem dados representativos típicos das estações de verão e inverno em Foz do Iguaçu, sem corresponder a episódios climáticos extremos, permitindo uma avaliação mais coerente do desempenho dos cenários em situações sazonais típicas.

Foram extraídos os seguintes parâmetros: temperatura do ar (T_a), temperatura média radiante (TMR), temperatura superficial (T_s) e umidade relativa do ar (UR). Para T_a , TMR e UR, a coleta dos resultados foi realizada ao longo do período diurno, das 06:30 às 19:00, de modo a representar a evolução das condições térmicas durante o horário de uso mais provável do ponto de ônibus. Já a temperatura superficial (T_s) foi analisada de forma espacial, por meio de mapas de calor, adotando-se como referência o horário das 16:00, por corresponder ao período de maior estresse térmico para essa variável, permitindo comparar a distribuição e a intensidade das superfícies aquecidas entre os diferentes cenários simulados. As principais propriedades térmicas dos materiais utilizados nas simulações podem ser observadas no apêndice B do trabalho.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Definir as estratégias utilizadas nos novos projetos de ponto de ônibus é parte fundamental na obtenção de resultados coerentes, sendo assim, baseados nas informações levantadas na pesquisa de campo, nas simulações computacionais e na revisão bibliográfica sistemática, foram elencadas as principais estratégias bioclimáticas aplicáveis ao ponto de ônibus para o clima de Foz do Iguaçu. As estratégias adotadas e as referências estão apresentadas no item 4.5.1 dos resultados.

3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Embasados pelos resultados provenientes das pesquisas de campo, das simulações computacionais e da definição das estratégias bioclimáticas, foram desenvolvidos dois modelos de ponto de ônibus pra Foz do Iguaçu, um para cada quadrante da carta solar (orientação solar norte, sul, leste e oeste).

O processo de concepção foi realizado no *software SketchUp 2021* (TRIMBLE, 2025), adotado por sua precisão geométrica e pela possibilidade de análise de incidência solar. O desenvolvimento dos modelos seguiu os princípios de projeto bioclimático, buscando integrar aspectos formais, construtivos e ambientais em uma abordagem coerente com as condições microclimáticas simuladas. Dessa forma, os projetos resultantes refletem a síntese entre análise empírica, modelagem computacional e diretrizes de conforto térmico urbano.

3.5.1 Avaliação preliminar do desempenho térmico das proposições.

Seguindo os procedimentos metodológicos descritos no tópico 3.3 (figura 24), os projetos propostos foram submetidos as simulações para o dia 04 de fevereiro de 2025. Os modelos foram desenvolvidos em duas orientações solares distintas, frente Norte e Frente Oeste, de acordo com a especificidade de cada proposta.

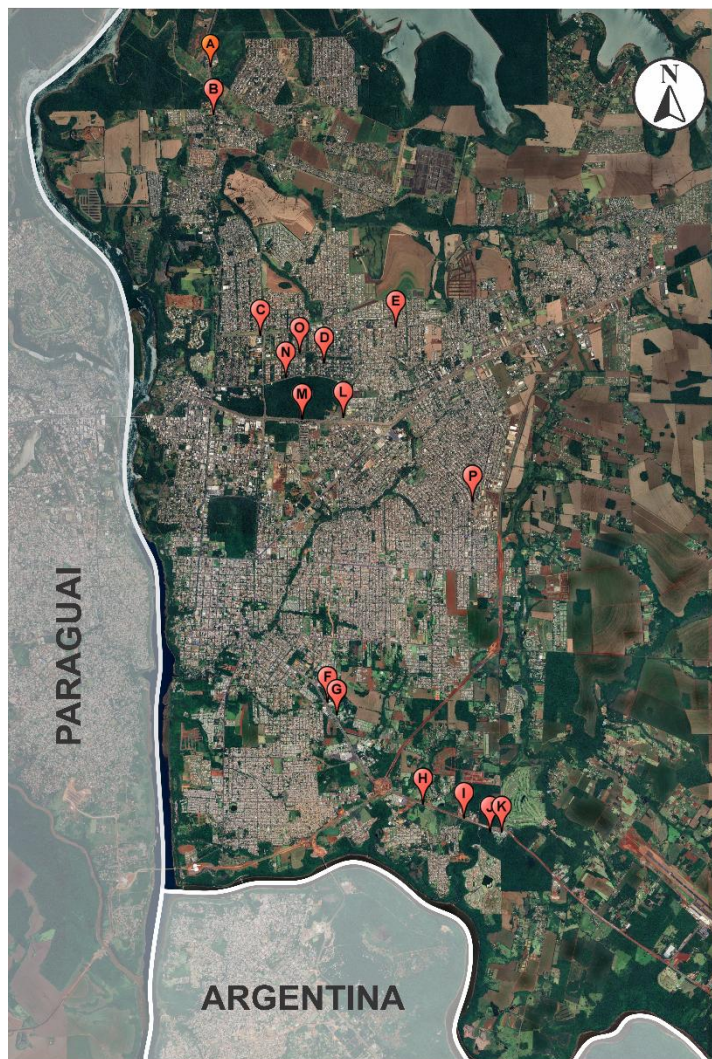
Para ambas as simulações, foram extraídos os dados de TMR, Ta, Ts e UR. Posteriormente, por meio do *software* ENVI-met e com base nos resultados obtidos, foi calculado o índice UTCI, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico das soluções propostas sob condições representativas de verão.

4 RESULTADOS

4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS DE PONTOS DE ÔNIBUS EM FOZ DO IGUAÇU

O critério de identificação se deu de forma visual, na qual foram reconhecidas as diferentes tipologias de abrigo/parada existentes no município de Foz do Iguaçu. O município conta com 1.264 paradas de ônibus (Movitapp, 2024) e a distribuição tipológica não segue uma distribuição padrão, variando de acordo com a gestão e ações afins. Sendo assim, a seguir serão apresentados os pontos divergentes encontrados. Os locais de identificação podem ser observados na Figura 30 a seguir.

Figura 30: Mapeamento dos pontos de ônibus registados em Foz do Iguaçu



Fonte: Autor, 2026.

A seguir serão apresentados (Figura 31) os pontos referenciados na imagem acima com a divisão de acordo com os agrupamentos geométricos definidos no tópico 3.2.



Fonte: Autor, (2025)

Através dos registros observou-se uma variedade geométrica nos pontos de ônibus em Foz do Iguaçu. Além da diversidade de forma também foi constatada a falta de padrão na utilização de materiais, como: estruturas em concreto ou material metálico, cobertura em fibrocimento, concreto, e materiais de origem poliméricas.

4.2 AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS PONTOS DE ÔNIBUS REPRESENTATIVOS DE CADA GRUPO

Conforme descrito no tópico 3.2.1, foram realizadas medições de Ta, UR e Ts nos dias 06 e 07 de dezembro de 2025. Foram selecionados modelos representativos de cada grupo, de acordo com a frequência de distribuição no município, conforme Figura 32.

Figura 32: Grupos monitorados



Fonte: Autor, 2026.

No primeiro dia de monitoramento (06/12) as condições atmosféricas apresentaram-se estáveis, alta insolação e sem a presença de nuvens. No segundo dia (07/12) a manhã apresentou domínio de sol com presença parcial de nuvens, após as 13 h houve uma mudança abrupta no clima, com o aumento progressivo de nuvens, acarretando em céu totalmente coberto no período da tarde.

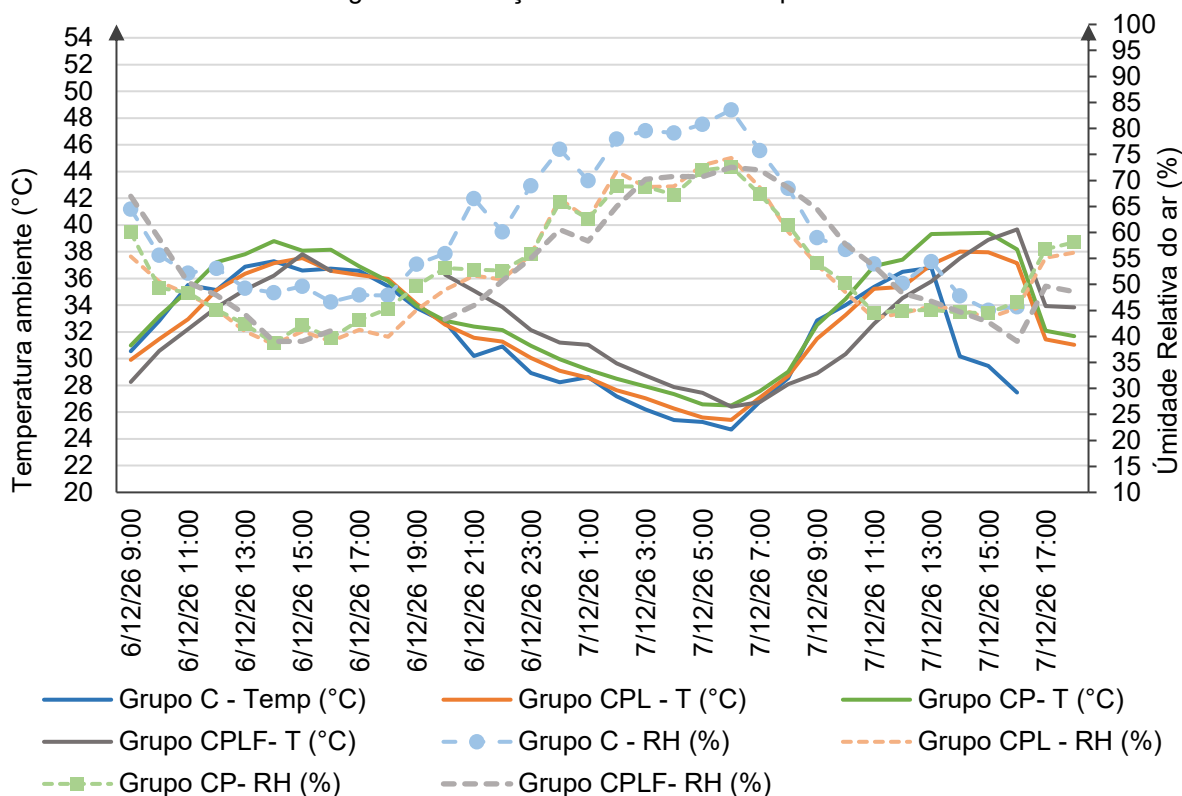
Com o monitoramento contínuo no interior dos pontos de ônibus (realizado com os dataloggers) os registros de campo evidenciaram, para os quatro grupos monitorados, um ciclo diário para Ta e UR, com aquecimento progressivo acentuado entre as 08 h e 15 h, apresentando resfriamento noturno e novo aumento na manhã do dia seguinte.

As temperaturas máximas ocorreram no período da tarde, variando de 37,29 °C (Grupo C) a 39,67 °C (Grupo CPLF), enquanto as mínimas se concentraram no amanhecer, por volta de 6h, entre 24,70 °C (Grupo C) e 26,50 °C (Grupo CP). Como esperado, a UR apresentou comportamento inverso à Ta, valores mais elevados durante a madrugada e manhã, atingindo até 83,57% (Grupo C), e redução nos horários de maior aquecimento, com mínimos próximos de 38%.

Em termos médios, observou-se menor Ta no Grupo C (31,68 °C) e maior Ta

no Grupo CP (33,48 °C), com variações relativamente moderadas entre os grupos. O gráfico a seguir (Figura 33) apresenta os dados coletados nos dias monitorados.

Figura 33: Medições contínuas de temperatura



Fonte: Autor, 2026.

Conforme descrito no item 3.2.1, para compreender qual a proteção térmica oferecida pelos pontos C, CP e CPL foram feitos registros de Ta e UR no mesmo horário em dois pontos distintos, dentro de cada abrigo a um metro e meio de altura com equipamento posicionado ao centro (interior), bem como à três metros do mesmo, no mesmo passeio público, mesma altura e mesmo horário.

Os dados evidenciam diferenças sucintas entre temperatura interna e externa em alguns períodos do dia. No Ponto C, o interior do abrigo apresentou as maiores reduções às 13:30 h do primeiro dia de monitoramento, sendo 35,3 °C interno e 39,5 °C externo. No Ponto CPL, as diferenças foram mínimas na maior parte do período registrado, com maior diferença no dia 07 de dezembro as 11:30h, com redução de 1,9 °C, indicando que o interior pouco se distingue do ambiente externo. Apresentando comportamento intermediário, o ponto CP teve reduções pontuais relevantes como no dia 06/12 às 16:30 h com diferença de mais 3,8 °C no lado externo. A seguir é possível

observar a Tabela 6 com os registros feitos.

Tabela 5: Comparativo entre temperatura interna e externa

		Ponto (C) Temperatura (°C)			Ponto (CP) Temperatura (°C)			Ponto (CPL) Temperatura (°C)		
		Interno	Externo	Amplitude	Interno	Externo	Amplitude	Interno	Externo	Amplitude
06/12/2025	06:30	24,3	24,3	0,0	25,3	25,3	0,0	24,5	24,7	-0,2
	07:30	29,6	28,6	+1,0	28,3	27,8	+0,5	26,4	27,2	-0,8
	08:30	30,5	32,4	-1,9	30,4	30,2	+0,2	30,8	29,6	+1,2
	11:30	34,0	36,4	-2,4	32,7	35,8	-3,1	32,7	32,8	-0,1
	12:30	35,7	38,4	-2,7	34,6	34,2	+0,4	34,0	34,1	-0,1
	13:30	35,3	39,5	-4,2	35,5	38,5	-3,0	35,6	35,6	0,0
	16:30	36,4	37,9	-1,5	35,6	39,4	-3,8	35,0	34,9	+0,1
	17:30	36,4	35,7	+0,7	35,8	35,6	+0,2	35,8	35,6	+0,2
	18:30	34,6	34,8	+0,2	33,8	33,8	0,0	34,4	34,5	-0,1
07/12/2025	06:30	27,3	26,8	+0,5	27,2	27,1	+0,1	26,9	26,8	+0,1
	07:30	30,7	30,5	+0,2	28,9	28,8	+0,1	28,1	28,2	-0,1
	08:30	29,9	31,2	-1,3	30,1	33,1	-3,0	28,9	29,2	-0,3
	11:30	34,5	37,9	-3,4	34,7	34,9	-0,2	33,9	35,1	-1,2
	12:30	36,0	37,7	-1,7	35,4	37,1	-1,7	35,5	36,2	-0,7
	13:30	36,5	39,3	-2,8	36,9	37,0	-0,1	36,1	36,1	0,0
	16:30	33,4	32,3	+1,1	32,0	32,7	-0,7	32,7	31,8	+0,9
	17:30	30,9	31,0	-0,1	32,8	32,4	+0,4	30,8	30,7	+0,1
	18:30	30,5	30,0	+0,5	29,6	29,4	+0,2	29,7	29,7	0,0

Fonte: Autor, 2026.

Além da Ta e da UR, outro dado relevante para compreensão da eficiência térmica dos pontos é a temperatura superficial de cada componente do ponto e dos materiais que compõem o seu entorno imediato. Desta forma com as coletas em campo foi possível realizar a comparação da Ts dos materiais dos pontos C, CP e CPL, e dos materiais dos seus respectivos entornos imediatos.

O ponto C foi o cenário mais crítico, com aquecimento expressivo em elementos do próprio ponto, destacando-se a cobertura que atingiu máxima de 63,3 °C às 13:30 h, e média de 47,0 °C. Já o assento apresentou máxima de 57,5 °C e média 38,7 °C, além do piso a sombra com máxima de 53,1 °C e média 42,2 °C, indicando maior propensão a irradiação e desconforto por proximidade às superfícies aquecidas.

O ponto CP, modelo mais implantado pela prefeitura municipal, comportou-se de forma intermediária, com temperatura máxima no assento atingindo 38,5°C, na

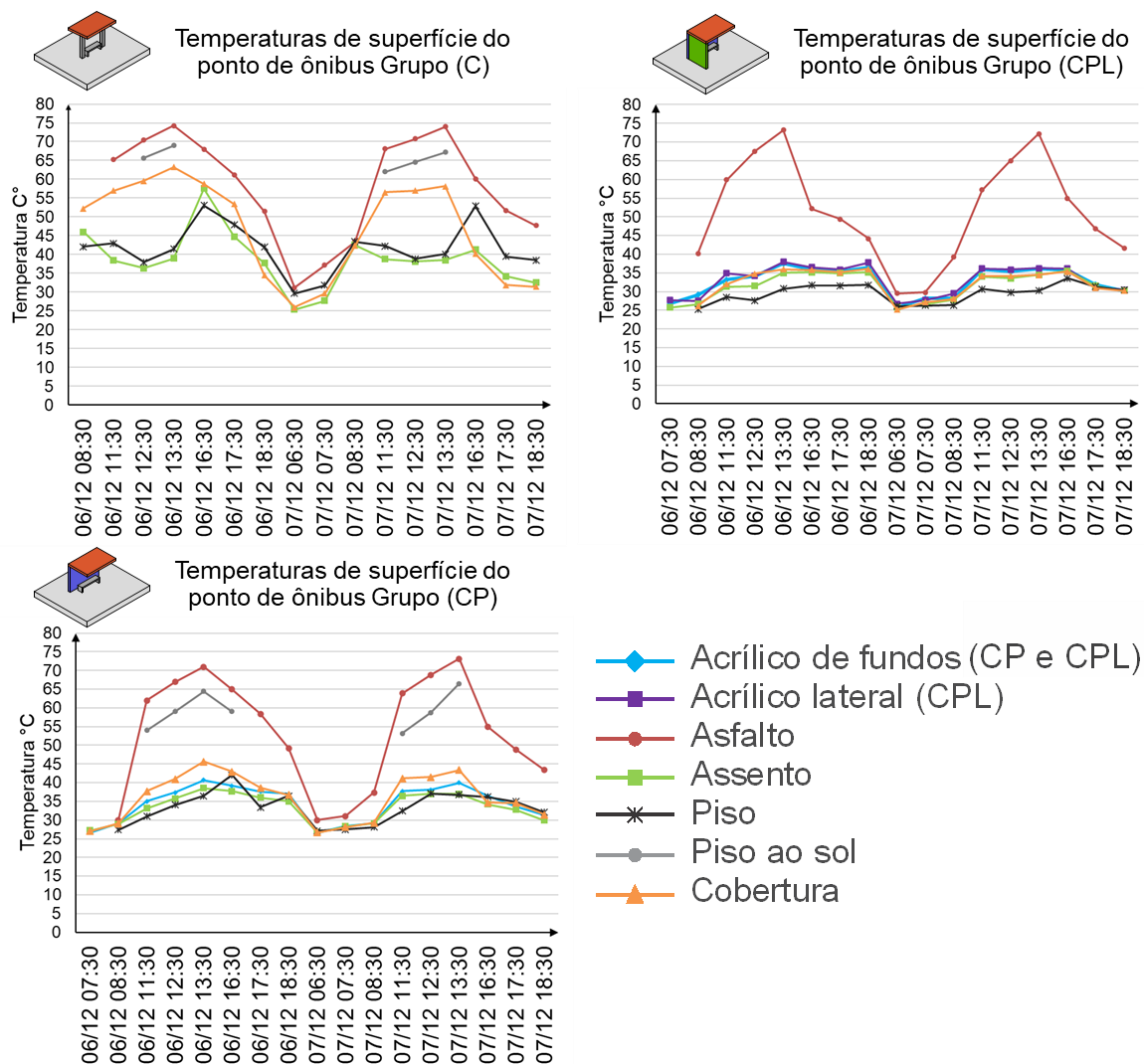
cobertura a máxima foi de 45,6 °C e média de 35,8 °C.

Em contraste, o ponto CPL apresentou a melhor desempenho nesses quesitos, com valores amenos e constantes, os registros apontaram máximo de 35,5 °C, média 31,5 °C no assento, na cobertura a temperatura máxima foi de 36,1 °C e média de 32,3 °C, já no piso a máxima foi de 33,6 °C e média de 29,5 °C, sugerindo assim uma condição mais favorável ao usuário mesmo sob aquecimento urbano. Ressalta-se que dentre os 3 pontos averiguados, esse em questão dispõe de grandes arvores próximas e com cobertura de sombra durante o dia todo. Os dados gerais podem ser observados na tabela 6 a seguir.

Com a coleta foi possível constatar que apesar do modelo CPL ter performance térmica superior, os números, em especial as médias ficam próximas ao modelo CP, todavia a discrepância se dá quando comparados ao ponto C. Outro fator relevante foi a constatação da influência direta do sombreamento, o piso exposto a radiação direta (aqui denominado de piso ao sol) atingiu máximos de 69,0 °C no ponto C e 66,5 °C no CP, enquanto o chão à sombra reduziu para cerca de 42 °C em ambos, reforçando assim que o sombreamento é determinante para reduzir o superaquecimento superficial dos pontos e seus respectivos entornos.

Os comportamentos térmicos descritos acima podem ser visualizados de forma mais detalhada na Figura 34, a mesma apresenta a variação temporal da temperatura superficial dos principais materiais constituintes dos pontos C, CP e CPL, bem como de elementos de seus entornos imediatos, ao longo dos dias monitorados. A representação gráfica permite observar, com maior clareza, a amplitude térmica dos diferentes materiais e reforça o papel da exposição solar direta na intensificação do aquecimento superficial.

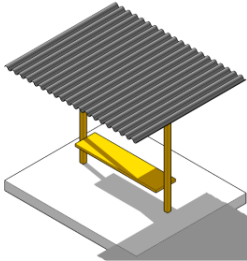
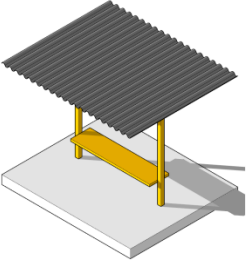
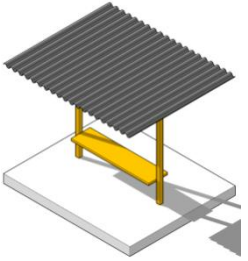
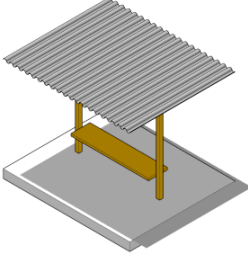
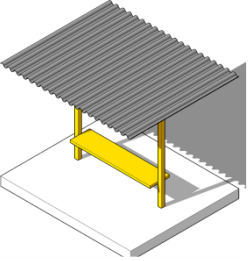
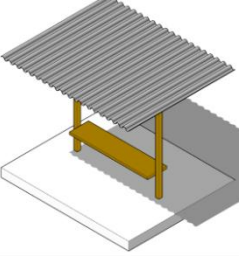
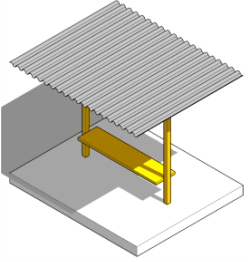
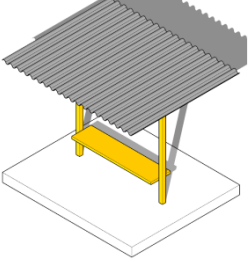
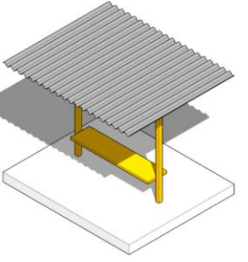
Figura 34: Medições de Ts nos pontos monitorados



Fonte: Autor, 2026

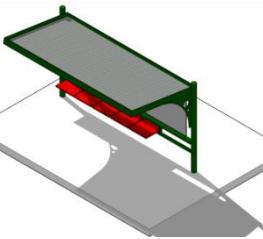
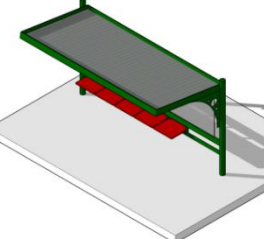
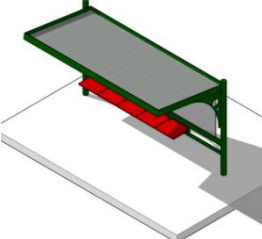
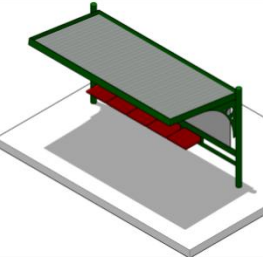
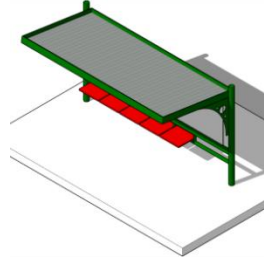
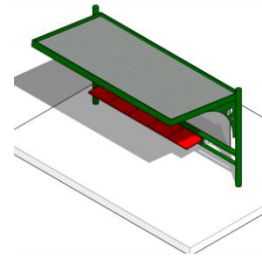
Desconsiderando o entorno existente de cada ponto de ônibus, com a modelagem computacional (Quadro 2, 3 e 4) pôde-se observar, com equidade, que devido à falta de proteção adequada nos 3 abrigos (C, CP e CPL) o sombreamento ocorre de forma total somente entre 11h e 13h, contribuindo assim diretamente para o aumento exponencial da temperatura no período da tarde, devido à associação entre o calor absorvido pelos materiais e a contínua carga térmica recebida até o final do dia.

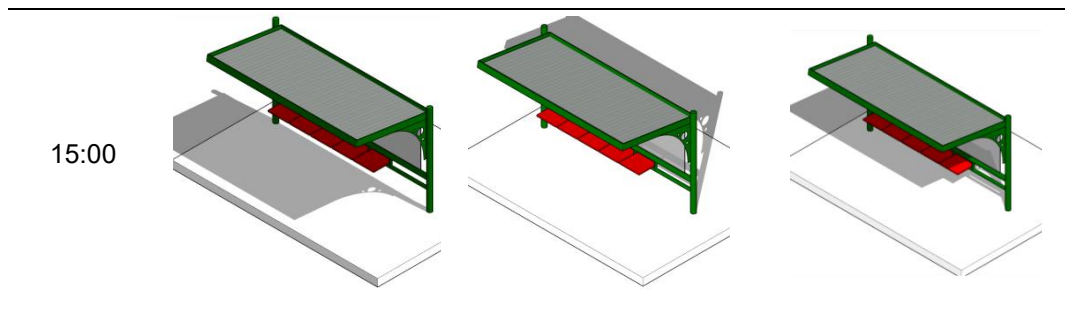
Quadro 2: Ponto C, projeção de sombra nos horários de pico

Horário	Solstício de verão	Solstício de inverno	Equinócios
09:00			
12:00			
15:00			

Fonte: Autor, 2026.

Quadro 3: Ponto CP, projeção de sombra nos horários de pico

Horário	Solstício de verão	Solstício de inverno	Equinócios
09:00			
12:00			



Fonte: Autor, 2026.

Quadro 4: Ponto CPL, projeção de sombra nos horários de pico

Horário	Solstício de verão	Solstício de inverno	Equinócios
09:00			
12:00			
15:00			

Fonte: Autor, 2026

4.3 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

Como visto, o objetivo deste questionário foi identificar a percepção que o usuário tem do transporte público coletivo em Foz do Iguaçu, com relação a 2 principais fatores, infraestrutura geral e percepções de conforto em períodos de verão

e inverno, fornecendo um diagnóstico complementar as medições realizadas *in loco*. Ao todo foram coletadas 96 respostas válidas, considerando-se um intervalo de confiança de 95% e a expressão de erro amostral em proporções, a pesquisa apresenta uma margem de erro máxima de aproximadamente $\pm 10,0$ pontos percentuais.

4.3.1 Caracterização da amostra e contexto de aplicação

A amostra total (n=96) foi composta na grande maioria por pessoas do gênero feminino, n= 67, já o público masculino foi representado por 29 respondentes. Com relação à faixa etária, observou-se predominância de participantes entre 19 e 40 anos, 71,9%, seguidos de 20,8% de participantes de 0 a 18 anos, 6,3% com idade entre 41 e 60 anos e 1% de pessoas afirmando ter 60 anos ou mais.

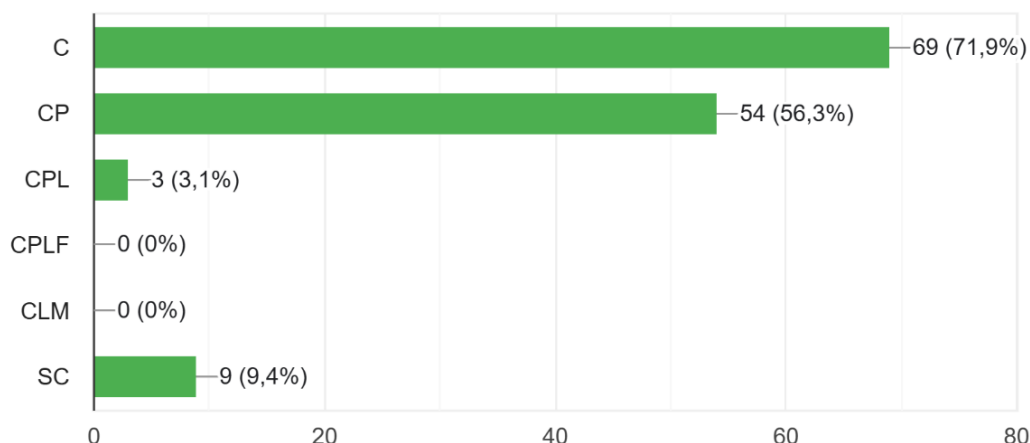
Os resultados apontam para elevada experiência dos respondentes na utilização dos pontos de ônibus, 39 pessoas afirmaram usa-los todos os dias e 27 declararam utilizar os equipamentos urbanos várias vezes na semana. Quanto ao tempo de espera 54,2% declararam ser de 15 a 30 minutos, seguidos de 31 a 60 minutos (20,8%), até 15 minutos de espera (21,9%) e mais de 60 minutos 3,1%. Salienta-se para a importância desses dados, pois trata-se do tempo de exposição às condições climáticas dos usuários.

A respeito do horário utilização dos pontos de ônibus notou-se maior frequência pela manhã (06:00 h - 11:59 h) com 64,5%, e tarde (12:00 h – 18:59) 72%, no período noturno (após as 19:00) a procura pela utilização é consideravelmente menor, 23,7%.

4.3.2 Percepções quanto a estrutura dos pontos de ônibus utilizados

De acordo com os modelos apresentados de tipologias de ponto de ônibus do município, os pontos mais utilizados são o modelo C e CP, conforme Figura 35 a seguir.

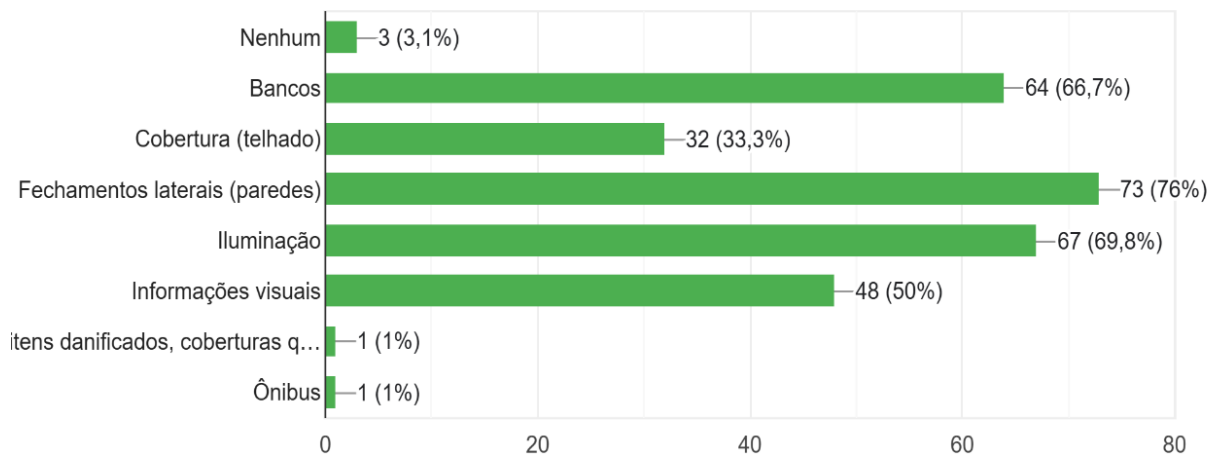
Figura 35: Categoria de ponto de ônibus mais utilizadas



Fonte: Autor, 2026.

Quando perguntados a respeito de quais itens estavam ausentes em algum ponto de ônibus que utilizaram, 76% disseram já perceber a ausência de fechamentos laterais, 66,7% bancos, 69,8% de iluminação, seguidos pelos demais, conforme Figura 36.

Figura 36: Elementos ineficientes ou ausentes nos pontos avaliados

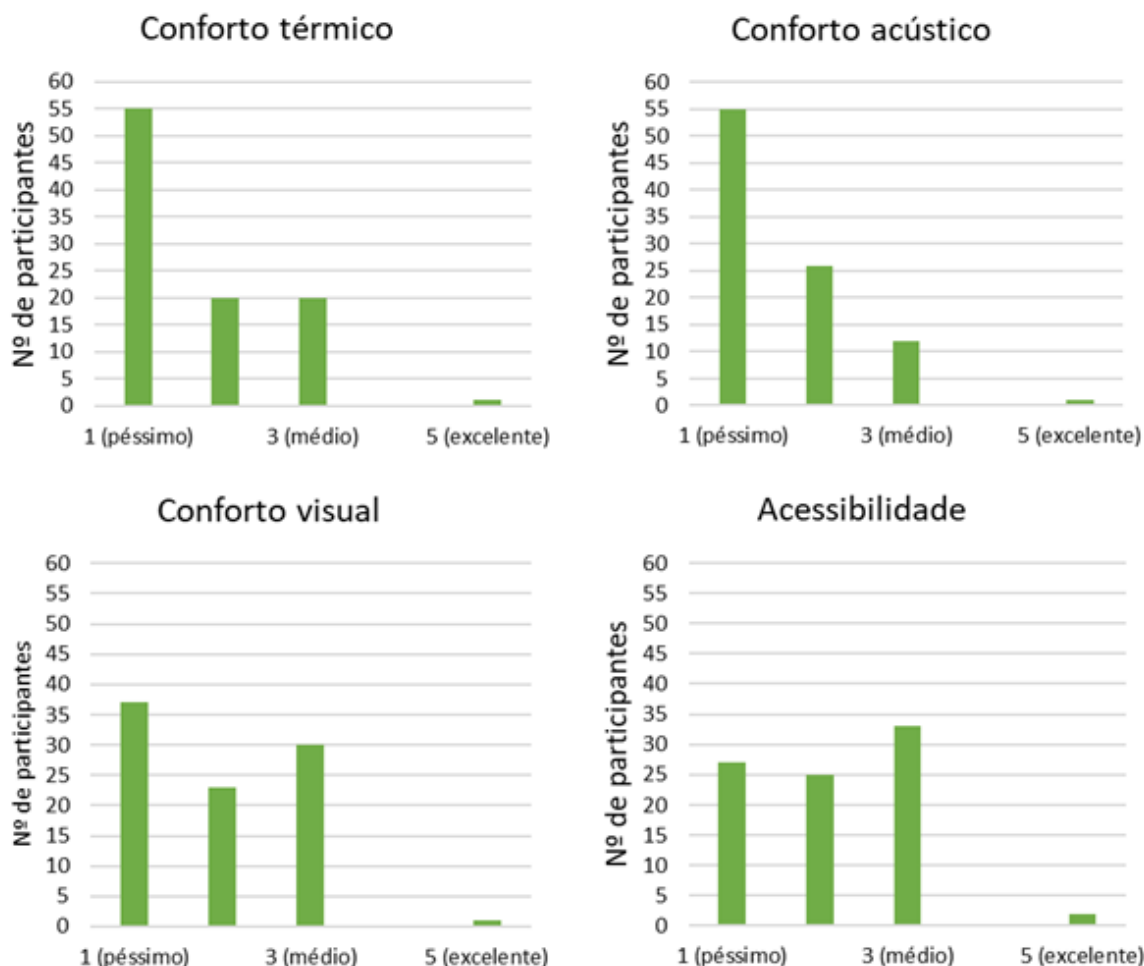


Fonte: Autor, 2026.

Além das opções elencadas alguns indivíduos afirmaram, em resposta aberta, enfrentar problemas com sujeira, falta de manutenção preventiva e corretiva, falta de proteção adequada quanto às chuvas, principalmente por falta de proteção lateral. Outro problema relevante identificado foi a falta de escolha correta dos materiais, implicando em desconforto térmico devido a transparência de vidros e afins.

Referente aos confortos térmico, acústico e visual, além de acessibilidade, foi possível constatar que os pontos foram avaliados majoritariamente entre os conceitos péssimo e mediano, conforme observa-se na Figura 37 a seguir.

Figura 37: Conforto térmico percebido pelos respondentes



Fonte: Autor, 2026.

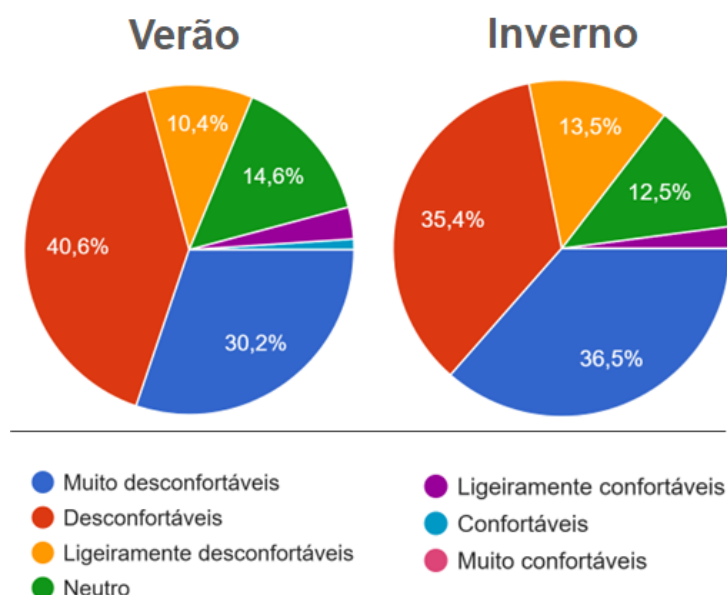
4.3.3 Percepções térmicas

A partir das respostas a respeito do conforto térmico percebido nos pontos de ônibus tanto no verão quanto no inverno (Figura 38), foi possível constatar que, em ambas as estações grande parte dos usuários sentem desconforto, 81,2% no verão e 85,4% no inverno. Em contraste, a percepção de conforto é 4,1% no verão e 2,1% no inverno. Assim como registrado para conforto/desconforto a neutralidade das percepções acompanhou a similaridade das respostas entre as estações, de modo

que 14,6% dos respondentes alegaram não sentir conforto ou desconforto no verão e 12,5% no inverno.

Em conjunto, os dados acima evidenciam que a experiência térmica percebida pelos usuários nos pontos de ônibus é predominantemente negativa, indicando baixa capacidade dos abrigos em mitigar o estresse térmico encontrado frequentemente no município.

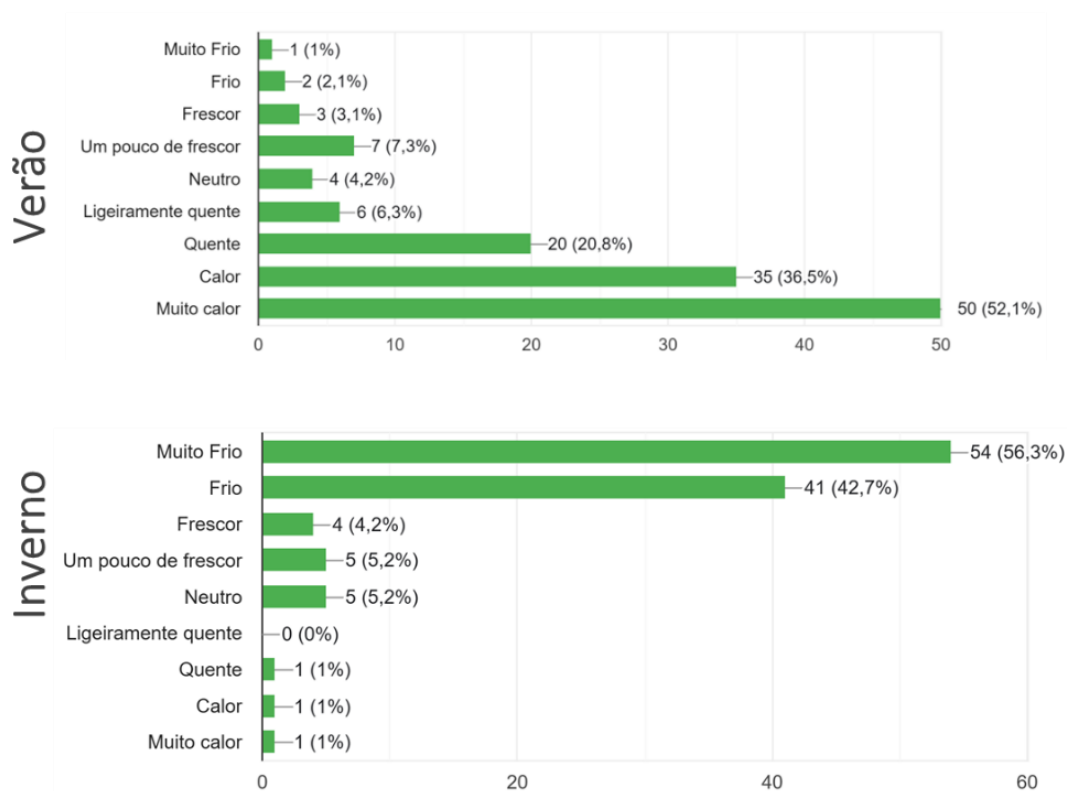
Figura 38: Conforto percebido pelos usuários



Fonte: Autor, 2026.

Quanto a percepção térmica (Figura 39), a questão foi estruturada em múltipla escolha, permitindo que os participantes selecionassem mais de uma alternativa, em consequência disso os percentuais representam a proporção representativa de cada alternativa, podendo a soma ultrapassar 100%. No verão, observou-se predominância de sensações associadas ao aquecimento, com destaque para as sensações de muito calor (52,1%) e calor (36,5%), seguidas por quente (20,8%). Em contrapartida, no inverno, a percepção concentrou-se em sensações de resfriamento, principalmente muito frio (56,3%) e frio (42,7%), enquanto as respostas neutras permaneceram baixas (5,2%). Esses dados corroboram a vulnerabilidade térmica e climática em que as pessoas são submetidas ao utilizar o transporte público coletivo.

Figura 39: Escala de conforto percebido



Fonte: Autor, 2026.

4.3.4 Síntese do questionário

De modo geral, os resultados do questionário evidenciam uma percepção negativa sobre a qualidade e a infraestrutura dos pontos de ônibus em Foz do Iguaçu. As avaliações dos critérios abordados concentraram-se majoritariamente nas faixas inferiores da escala, indicando desempenho insatisfatório. Entre os elementos estruturais abordados, destacaram-se a ausência ou deficiência de fechamentos laterais, iluminação, bancos e informações visuais, além de recorrentes menções a problemas de manutenção, como equipamentos danificados, sujeira e vandalismo.

Os resultados apontam elevado desconforto tanto no verão quanto no inverno, onde observou-se alta frequência de respostas indicando estresse térmico e baixa satisfação. A avaliação da proteção contra elementos climáticos, também apresentou-se predominantemente negativa, sugerindo que o desconforto percebido não se explica apenas pela temperatura do ar, mas sobretudo pela exposição do usuário às condições climáticas, muitas vezes severas.

Em conjunto, as descobertas apontam para a necessidade de intervenções que

combinem sombreamento eficiente, proteção seletiva e melhoria da infraestrutura e manutenção dos pontos de ônibus na cidade, alinhando desempenho térmico e qualidade de uso ao longo do ano.

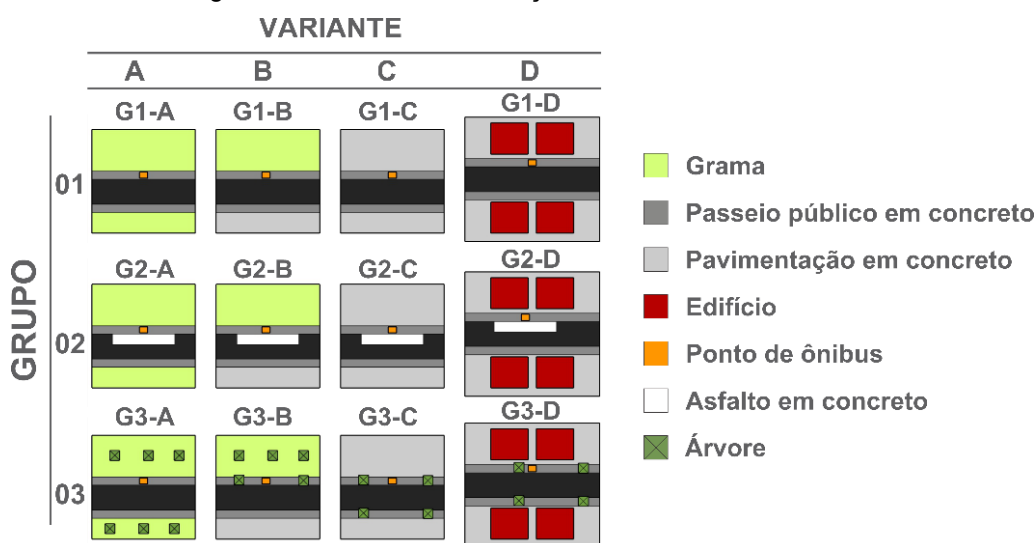
4.4 SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS: CENÁRIOS URBANOS E DESEMPENHO TÉRMICO DO PONTO DE ÔNIBUS

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados das simulações microclimáticas dos diferentes cenários urbanos, avaliando seu efeito sobre o desempenho térmico no ponto de ônibus e indicando quais as variáveis climáticas mais sensíveis para a obtenção de conforto dos usuários. Os resultados apresentados auxiliam a fundamentação das definições das estratégias bioclimáticas utilizadas no tópico 4.5.

4.4.1 Panorama geral dos resultados

De acordo com as simulações, foi possível extrair informações relevantes principalmente quanto a variáveis climáticas no interior do abrigo de cada um dos doze cenários modelados (Figura 40). As variáveis climáticas levantadas foram, UR, Ta, TMR e Ts, sendo Ta, UR e TMR extraídas do centro do ponto de ônibus à 1,5 metros de altura e a Ts de todo o cenário simulado.

Figura 40: Quadro de correlação dos cenários simulados



Fonte: Autor, 2026.

De acordo com a as informações extraídas das simulações para o verão (dia 04 de fevereiro), foi possível observar através dos dados máximos, mínimos e médios (Tabela 6) que os números mais expressivos ocorrem na TMR.

Tabela 6: Extremos e médias de cada cenário urbano simulado para o verão

Picos máximos												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	43,02	89,94	81,88	38,49	95,65	59,42	42,51	91,31	82,01	42,19	100	73,99
G2	38,50	95,68	59,34	38,27	95,66	59,83	38,21	96,35	59,61	37,92	100	54,73
G3	38,19	96,50	47,81	38,58	96,07	49,69	38,17	97,00	53,62	37,78	100	48,89
Picos mínimos												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	25,33	44,78	21,47	23,04	39,52	30,76	25,40	45,99	21,45	25,45	05,18*	21,57
G2	23,05	39,49	30,84	23,04	40,05	30,86	23,89	40,12	40,22	22,53	41,15	20,26
G3	22,97	40,97	26,16	22,95	39,54	29,27	23,11	40,11	26,21	22,52	41,06	20,23
Médias												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	35,85	69,78	42,46	34,17	57,16	47,08	35,81	69,43	50,30	35,47	69,36	42,73
G2	34,03	57,81	49,07	33,97	57,72	49,01	34,39	56,05	50,97	33,52	58,99	46,69
G3	33,73	58,67	41,80	34,19	57,26	43,94	33,87	57,98	45,74	33,52	59,06	42,75

Fonte: Autor, 2026.

A variação de picos máximos de Ta entre os doze cenários se dá de forma mais estreita, variando aproximadamente de 1 a 2°C na maioria das comparações, exemplo, em G2 os máximos se mantêm entre 37,92 e 38,50 °C e em G3 entre 37,78 e 38,58 °C. Por outro lado, TMR apresenta maior amplitude tendo picos máximos que chegaram a valores de 82,01 °C (G1-C), e com médias que atingiram 50,97°C (G2-C). Esse comportamento confirma o alto grau de influência que cargas radiativas do entorno imediato do ponto de ônibus tem sobre o estresse térmico do mesmo.

Nesse sentido, o G3-A se destaca como a condição mais favorável (TMR máx. 47,81 °C; média 41,80 °C), seguido pelo G3-D (TMR máx. 48,89 °C; média 42,75 °C). Em contraste, configurações mais expostas elevam significativamente a TMR, como em G1-C (máx. 82,01 °C) e G1-A (máx. 81,88 °C), caracterizando condições mais críticas de estresse térmico; assim, recomenda-se o G3-A (e, secundariamente, o G3-D) como a configuração mais favorável para o período quente.

Quanto as resultados dos dias de frios (simulações do dia 11 de junho), de

forma geral, os dados (Tabela 7) indicam um ambiente úmido e com temperaturas mais amenas, com UR elevada na maior parte dos cenários simulados, tendo as médias próximas 83% e Ta baixas, com médias concentradas em torno de 18 à 19 °C, principalmente nos grupos G1e G3 (com exceção do cenário D, que eleva a Ta média para 26,28 °C). Quanto à TMR, segue como a variável mais sensível à configuração urbana e aos materiais do entorno, embora os picos máximos na maioria dos casos fiquem em patamares moderados, com exceção ao cenário G1-D, indicando a influência da maior exposição à radiação e ganhos por superfícies e entorno.

Tabela 7: Extremos e médias de cada cenário urbano simulado para o inverno

Picos máximos												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	20,93	93,03	27,86	21,00	93,02	28,00	21,02	89,73	28,86	31,74	93,91	43,87
G2	20,80	93,03	28,82	20,91	92,42	26,93	20,80	90,27	28,80	20,50	69,19	25,85
G3	20,55	92,38	25,99	20,99	92,44	27,11	20,91	69,70	29,36	20,51	89,25	24,62
Picos mínimos												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	15,06	73,91	13,67	15,06	72,72	13,68	15,47	72,63	14,73	19,23	46,26	19,24
G2	15,06	74,38	13,70	15,22	73,08	14,50	15,22	74,4	14,48	15,65	74,53	16,46
G3	15,20	75,14	14,59	15,18	72,78	14,47	16,48	73,07	14,87	15,66	74,51	16,48
Médias												
	A			B			C			D		
	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C	Ta °C	UR %	TMR °C
G1	18,30	84,12	22,05	18,33	83,82	21,85	18,42	83,11	22,44	26,28	65,90	30,79
G2	18,27	84,26	22,57	18,30	83,96	22,40	18,39	83,96	22,88	18,30	84,21	21,48
G3	18,18	84,71	21,23	18,32	83,91	21,83	18,36	83,42	22,98	18,27	83,88	21,10

Fonte: Autor, 2026.

Considerando como critério de decisão de definição de melhor cenário de inverno, a redução de extremos radiativos e maior estabilidade no nível do pedestre, o cenário G3-D destaca-se como a opção mais favorável, pois apresenta o menor pico máximo de TMR entre as 12 combinações (24,62 °C) e TMR média de 21,10 °C, indicando menor exposição a cargas radiativas elevadas. Em contraste, o cenário G1-D configura o pior desempenho, com valores muito superiores aos demais (TMR máxima de 43,87 °C e TMR média de 30,79 °C, além de Ta média de 26,28 °C).

Essa diferença explica-se pela influência dos materiais empregados e da configuração urbana. No cenário G3-D a presença combinada de árvores e

edificações tende a reduzir a exposição direta à radiação solar nos limites do ponto de ônibus, condicionando o aquecimento das superfícies. Por outro lado, no cenário G1-D a predominância de pavimentação em concreto e pavimentação asfáltica associada à massa construída favorece maior armazenamento e reemissão de calor, elevando significativamente a TMR.

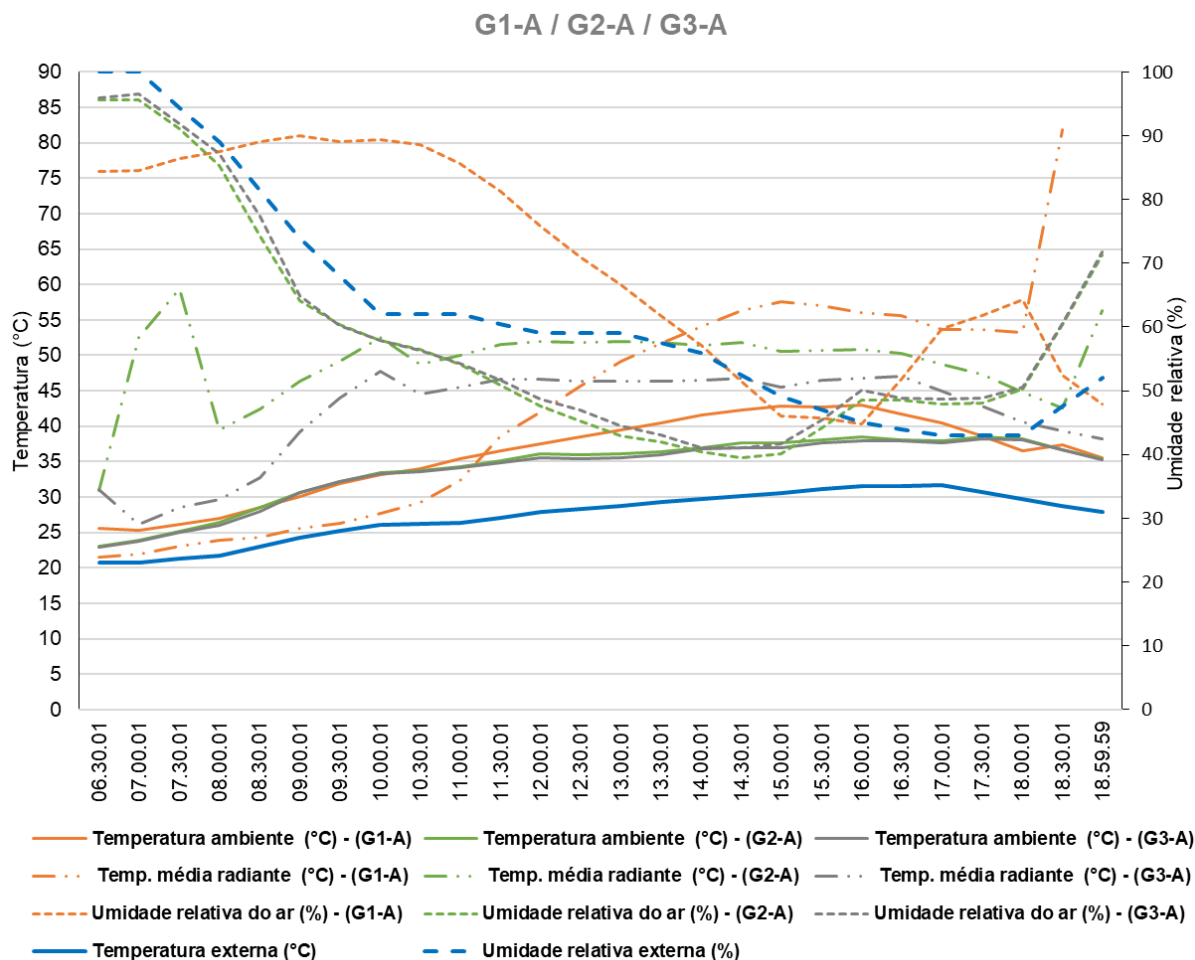
4.4.2 Análises comparativas entre os cenários equivalentes

Com o objetivo de identificar a melhor performance entre os cenários simulados, realizou-se uma análise comparativa direta entre os grupos, considerando cada variante separadamente. Assim, foram comparados os resultados de G1-A, G2-A e G3-A (e, de forma análoga, das variantes B, C e D). Essa abordagem permite avaliar o efeito das estratégias propostas mantendo constante a morfologia espacial de cada variante, identificando quais configurações apresentaram melhor desempenho em condições equivalentes.

Na análise dos cenários A (Figura 41), observou-se que as diferenças entre cenários são mais evidentes na variável associada à carga térmica sobre o usuário, em especial a TMR, enquanto a T_a apresentou variação mais discreta, com maior discrepância às 16:00h em G1-A com uma T_a 5,21°C acima dos demais. A maior temperatura simulada nesta variação de cenário foi de 43,01 °C em G1-A às 16h.

O melhor desempenho nesta comparação ocorreu no cenário G3-A, registrando as menores médias de T_a e TMR, sendo de 33,72°C e 41,79°C respectivamente. Esses dados são coerentes com a composição dos cenários do grupo 3 (arborização associada a áreas gramadas), cuja tendem a mitigar a exposição radiativa.

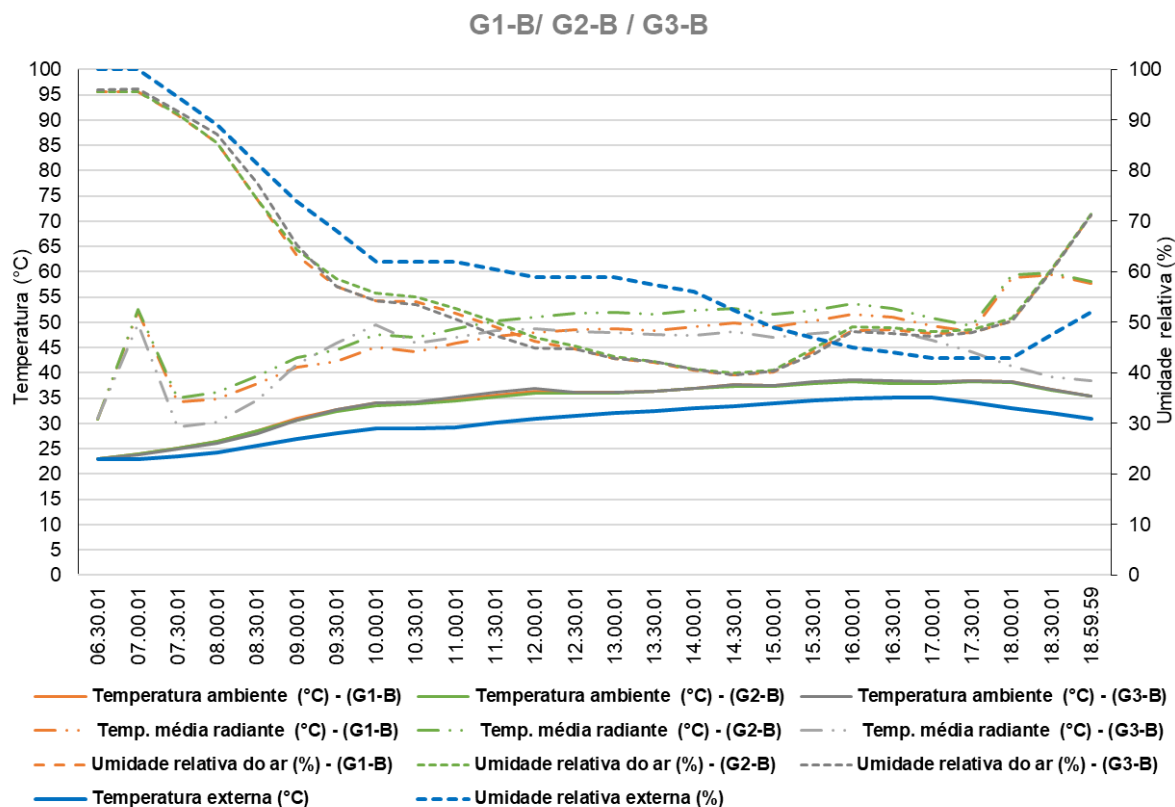
Figura 41: Comparação dos cenários A



No equivalente B (G1-B, G2-B e G3-B), o padrão comparativo se mantém com valores de T_a ainda mais próximos do que a análise anterior, enquanto a TMR apresenta maior separação entre os grupos, porém ainda discretas, com maiores variações nos horários de maior carga térmica (Figura 42).

Nessa análise conjunta, o cenário G3-B se destaca por reduzir a TMR, com a média mais reduzida dentre eles, 43,94 °C, bem como a menor média de T_a , 33,97 °C, além disso também teve o pico máximo de TMR (49,69 °C) inferior aos picos observados em G1-B (59,42 °C) e G2-B (59,83 °C), reforçando que a melhoria não é apenas média, mas também reduz extremos radiativos. Esse comportamento reforça a influência positiva das modificações do grupo 3, em que a presença de arborização (e a redução da exposição direta) atenua a carga radiante no ponto de ônibus.

Figura 42: Comparação dos cenários B

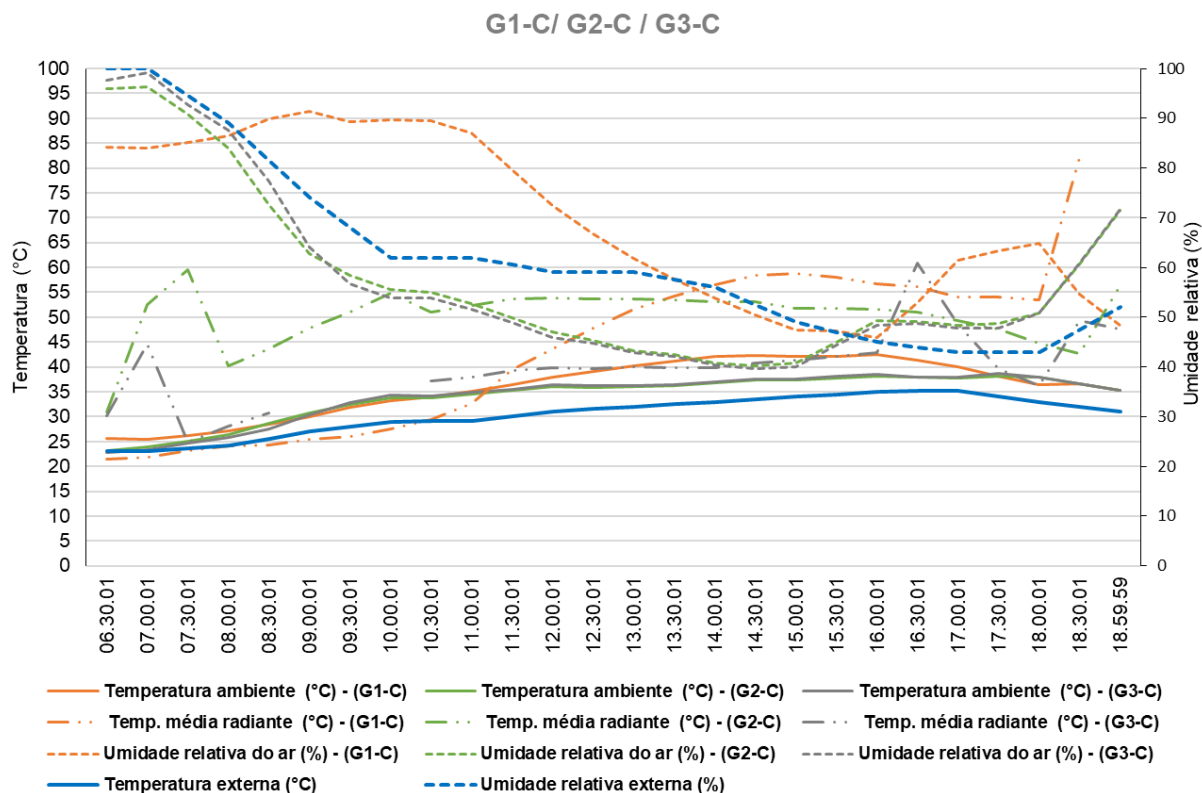


Fonte: Autor, 2026.

O conjunto C (Figura 43) apresentou o comportamento mais crítico para a TMR, com pico de 82,01 °C no G1-C, indicando forte exposição radiativa no entorno do ponto de ônibus. Em contrapartida, para a mesma variante C, os cenários G2-C e G3-C registraram picos de TMR menores (59,61 °C e 53,62 °C, respectivamente), evidenciando redução do carregamento radiativo quando há modificações no entorno (especialmente com a presença de vegetação no Grupo 3).

Em termos médios, os cenários da variante C mantiveram Ta elevadas (médias de 35,81 °C em G1-C, 34,39 °C em G2-C e 33,87 °C em G3-C), enquanto as médias de TMR permaneceram altas, sobretudo em G1-C (50,30 °C) e G2-C (50,97 °C), reforçando que a condição de conforto nesse conjunto é dominada pela componente radiativa, típica de ambientes com predominância de superfícies artificiais e sombreamento insuficiente. Entretanto, mesmo em um arranjo mais desfavorável, o grupo 3 reduz de modo mais efetivo a componente radiativa, evidenciando a importância das alterações de entorno (especialmente arborização) para mitigação da TMR.

Figura 43: Comparação dos cenários C

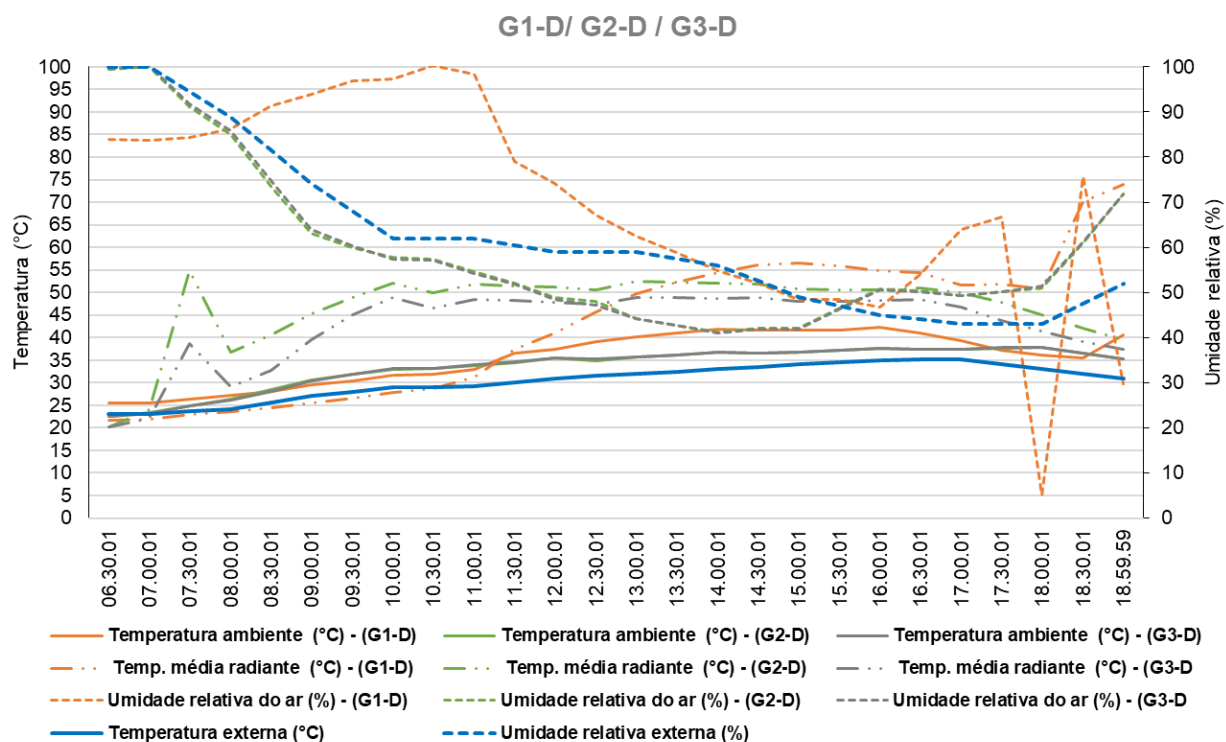


Fonte: Autor, 2026.

No equivalente D (Figura 44) os cenários registraram comportamento similar as análises anteriores, no sentido em que o cenário G3-D obteve melhor desempenho que os demais, principalmente em TMR. Nota-se ainda que assim como na análise de do grupo A e grupo C a Ta se aproxima na maior parte do período simulado, apresentando variações maiores em G1-D, entre 11:30h e 17h, neste caso o grupo 1 registrou 4,52 °C a mais que os demais às 16h.

O cenário urbano G3-D apresentou a menor TMR média (42,75 °C) e o menor pico máximo de TMR (48,89 °C) do conjunto D, indicando menor carga radiativa percebida no abrigo. O desempenho superior de G3-D é coerente com a configuração do grupo 3, na qual a presença de arborização atua reduzindo a exposição radiativa direta e moderando o aquecimento das superfícies próximas ao ponto de ônibus.

Figura 44: Comparação dos cenários D



Fonte: Autor, 2026.

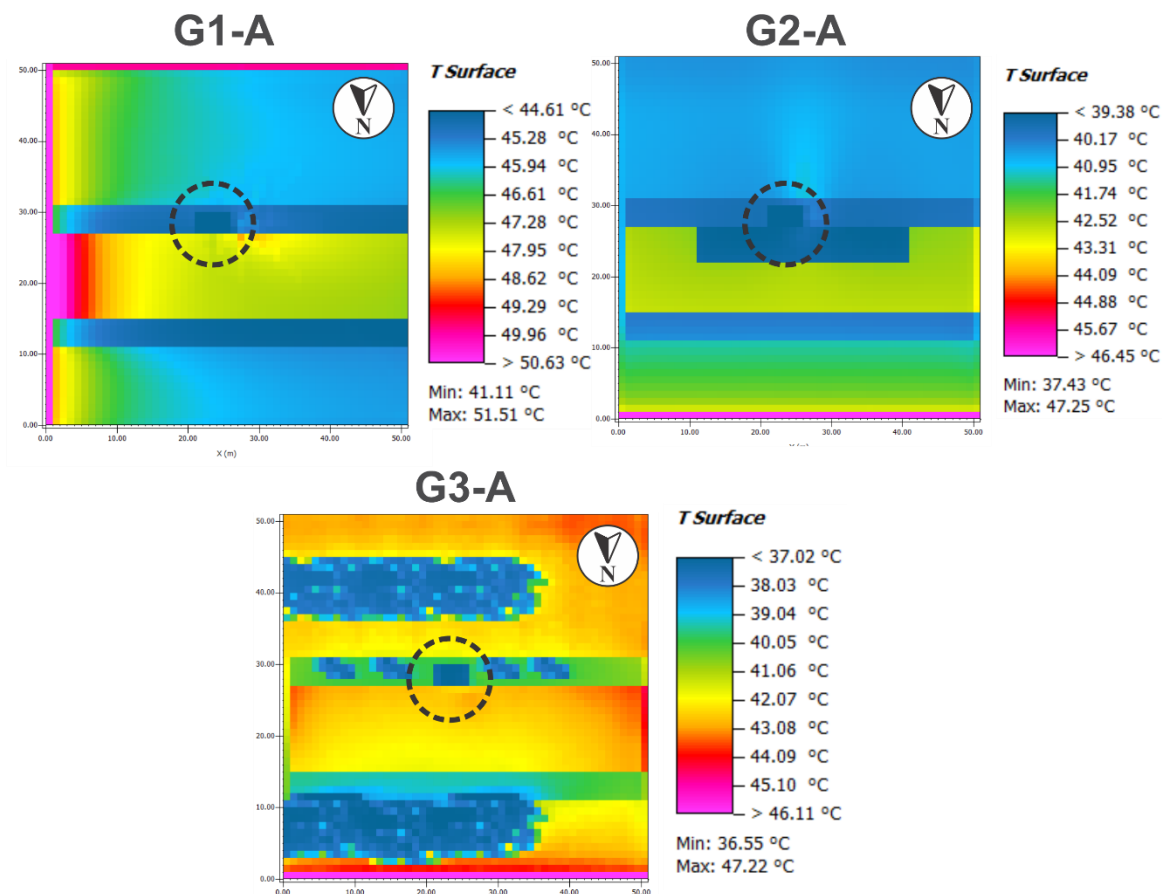
Considerando em conjunto as comparações equivalentes A, B, C e D, os resultados indicam um comportamento consistente entre os grupos, as variações em T_a e UR são relativamente moderadas entre cenários com mesma geometria, enquanto a TMR apresenta diferenças mais amplas e sistemáticas, sendo a variável mais adequada para discriminar desempenho térmico no ponto de ônibus.

Em termos de hierarquia, os cenários do grupo G3 apresentam tendência recorrente de melhor desempenho com menores médias e picos de TMR, ao passo que os cenários do grupo G1 concentram as condições mais críticas e o grupo G2 tende a assumir comportamento intermediário, dependendo do equivalente analisado. Esses achados sustentam que a melhoria do conforto no abrigo, nas condições simuladas, está fortemente associada à redução da carga radiativa do entorno.

É conveniente lembrar que a T_s exerce um papel crucial na percepção térmica das pessoas, principalmente em ambientes externos, desta forma foram extraídas das simulações as T_s para auxiliar na compreensão do desempenho térmico nos 12 cenários. Para isso, foram extraídos os mapas das 16 h, esse horário foi definido pelo fato que em todas as simulações ocorreram o maior estresse térmico de T_s .

Na variação A, pode-se observar que o cenário G1-A teve o desempenho inferior dentre as comparações, com temperaturas próximas à 48°C nas proximidades do ponto de ônibus, conforme figura a seguir (Figura 45).

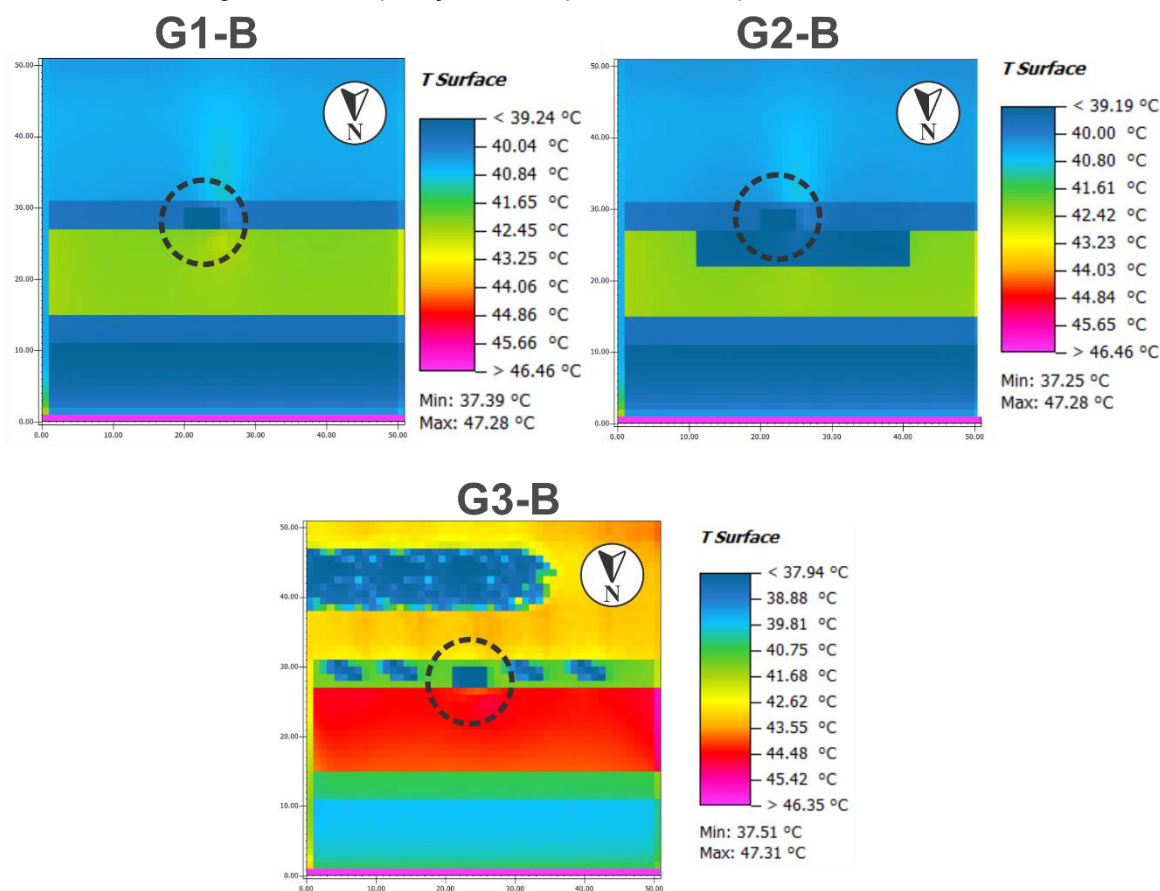
Figura 45: Comparação de temperatura de superfície no cenário A



Fonte: Autor, 2026.

As variações do tipo B (Figura 46) apresentam temperaturas de superfície mais homogêneas, principalmente entre G1-B e G2-B, indicando melhor controle térmico local. Já o G3-B mostra manchas mais quentes, principalmente na área de pavimentação asfáltica.

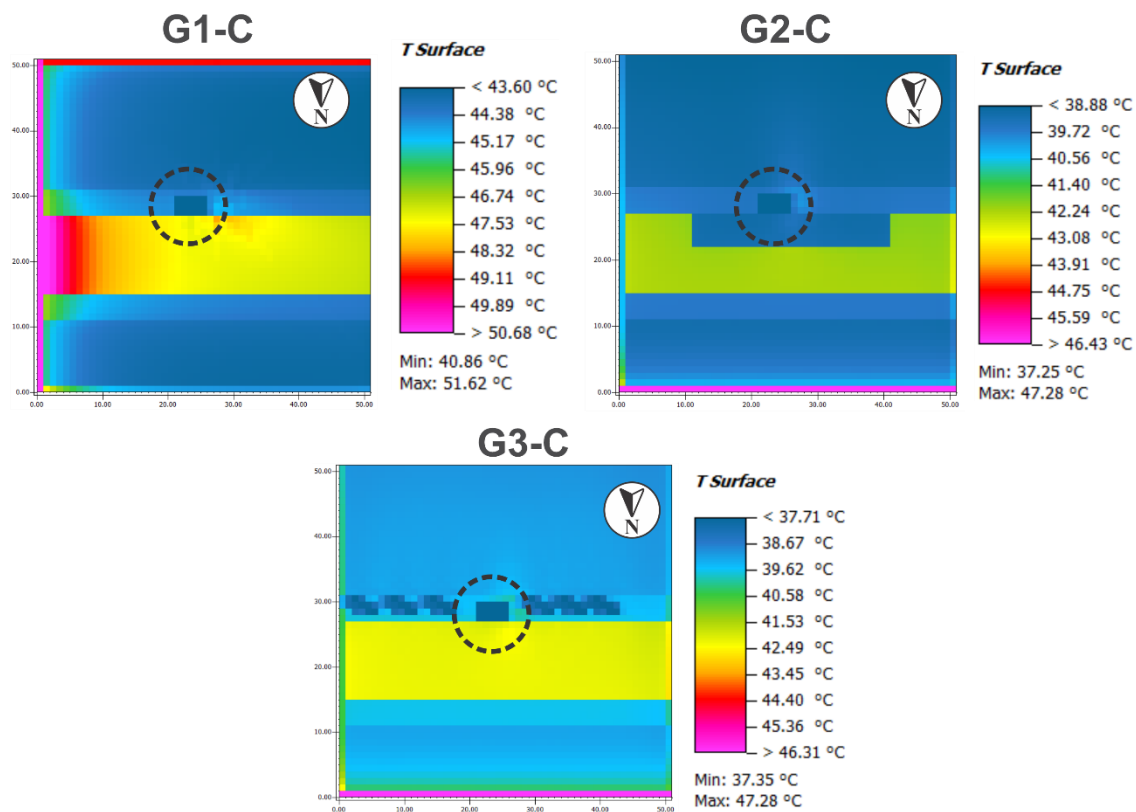
Figura 46: Comparação de temperatura de superfície no cenário B



Fonte: Autor, 2026

Na categoria C (Figura 47) observa-se novamente temperaturas próximas a 50 °C nas superfícies adjacentes ao ponto de ônibus, especialmente em G1-C. Nesta comparação o cenário G2-C apresenta a melhor distribuição térmica, com menor contraste térmico entre as superfícies próximas ao usuário do ponto. Essa diferenciação se dá principalmente pela utilização de faixa de pavimentação com maior albedo (concreto na área de paragem de ônibus), apresentando assim menor contraste térmico nas superfícies próximas aos usuários.

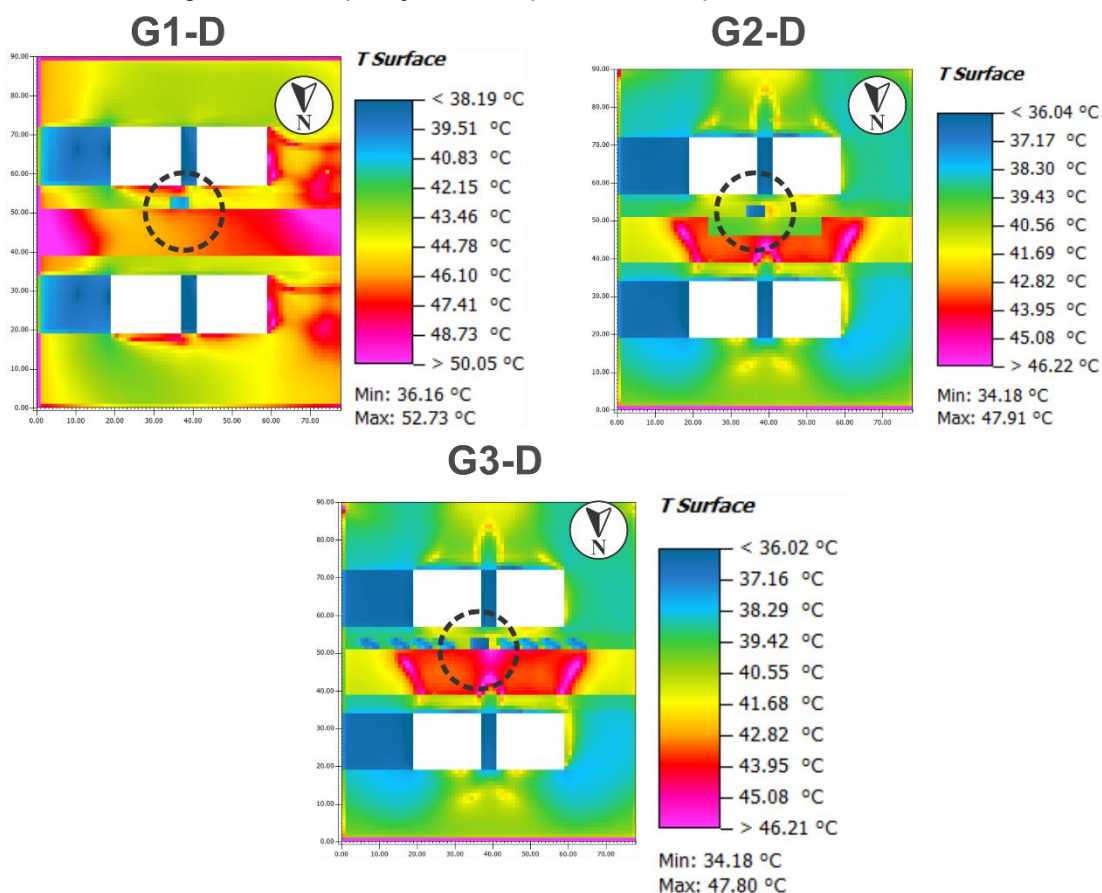
Figura 47: Comparação de temperatura de superfície no cenário C



Fonte: Autor, 2026

Finalizando a análise comparativa entre os cenários, observa-se que o conjunto D (Figura 48) apresenta um desempenho inferior em G1-D. A presença de edifícios e seu potencial em absorção e reflexão de calor resulta na elevação da temperatura das superfícies. Ainda assim, neste conjunto é possível identificar melhorias graduais com as técnicas passivas aplicadas nos cenários como a pavimentação em concreto, sendo mais denso e claro (G2-D) e arborização no passeio público (G3-D).

Figura 48: Comparação de temperatura de superfície no cenário D



Fonte: Autor, 2026

De forma geral, os mapas de T_s mostram que o aquecimento no entorno do ponto de ônibus é fortemente controlado pela composição do solo e pelo sombreamento. Os maiores valores de T_s concentram-se nas áreas de pavimentação exposta, e menor albedo, especialmente no asfalto e superfícies impermeáveis contínuas, formando zonas quentes no entorno imediato do abrigo.

Em contrapartida, os resultados evidenciaram que a aplicação de estratégias simples de mitigação como pavimentação mais clara e, principalmente a inserção de arborização, são capazes de reduzir os picos e fragmentar essas manchas, diminuindo a T_s próximas à zona de permanência do usuário. Assim, os resultados confirmam que a qualificação dos materiais do entorno e a inserção de sombreamento são determinantes para controlar o superaquecimento superficial nos cenários simulados.

4.4.3 Síntese final das simulações

Os resultados das análises apontados acima, esclarecem que o desempenho térmico dos cenários urbanos é fortemente atrelado à carga radiativa imposta pelo entorno, sendo a TMR e T_s as variáveis mais impactadas pela morfologia do cenário urbano. Enquanto a T_a apresentou variações mais discretas entre os cenários equivalentes, cerca de 1 a 2 °C de diferença em grande parte do período simulado, a TMR atingiu médias de 50,97°C (em G2-C) e reduções significativas, em especial, no grupo G3 (grupo que tinha árvores compondo o espaço urbano).

Fortalecendo essa afirmativa, os mapas de T_s indicam que superfícies pavimentadas expostas e a presença de edificações sem estratégias de mitigação térmica resultam em zonas de aquecimento. No sentido oposto, os resultados mostraram também que a adoção de pequenas estratégias como pavimentação menos absorptiva próximo ao ponto de ônibus (G2) e a distribuição de vegetação no entorno (G3) são capazes de reduzir os picos térmicos na área de permanência do usuário.

Desta forma, os cenários do grupo G3 apresentam-se repetidamente o melhor desempenho térmico geral, com os menores valores de TMR, opostamente ao grupo G1 (cenários sem aplicação de estratégias de mitigação) que tiveram as piores performances quando comparados. Entretanto, apesar de resultados medianos nos quesitos de T_a e TMR, a análise da temperatura superficial do grupo G2 apresentou resultados satisfatórios de mitigação nas áreas próximas ao ponto de ônibus, fato que se deve a escolha correta dos materiais.

Entende-se assim, que a melhoria do conforto térmico nos pontos de ônibus depende, em grande parte, do controle da carga radiativa incidente e emitida no entorno imediato do usuário, refletida principalmente na TMR. Intervenções que reduzam o aquecimento das superfícies e aumentem o sombreamento tendem, também, a contribuir para a diminuição da T_a , entretanto essa redução se mostra mais discreta quando comparada à TMR. Essas melhorias, em conjunto com as análises bibliométricas e pesquisas de campo, orientam o desenvolvimento do projeto apresentado no tópico a seguir.

4.5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PONTO DE ÔNIBUS

4.5.1 Premissas e diretrizes de projeto

Os pontos de ônibus urbanos cumprem papel fundamental no exercício das práticas sustentáveis, sobretudo no fomento e incentivo da utilização do transporte público coletivo e concomitantemente na melhoria da mobilidade urbana. Partindo desse princípio, este trabalho buscou compreender o cenário atual e propor melhorias nesses equipamentos, através da análise conjunta de dados como o empirismo social (percepção dos usuários), revisões bibliográficas, coleta de dados em campo e em ferramentas computacionais.

Nesse contexto, o desenvolvimento deste projeto teve como premissa corresponder às condições e conjecturas tomados como ponto de partida, como o clima local, as limitações e condições de uso, visibilidade, segurança e a acessibilidade. Atendendo a essas condições as diretrizes estabelecem orientações claras para as tomadas de decisões. Deste modo, as escolhas projetuais definidas buscam maximizar o conforto térmico no uso cotidiano, enfatizando a redução da carga térmica por radiação e a melhoria das condições microclimáticas internas do abrigo, sem comprometer a visibilidade, ventilação, segurança e viabilidade construtiva.

4.5.2 Estratégias bioclimáticas empregadas

A partir das descobertas feitas em pesquisa de campo, simulações computacionais e na revisão sistemática, foram elencadas as estratégias bioclimáticas mais adequadas ao projeto do ponto de ônibus a ser desenvolvido. O quadro 3 apresenta quais estratégias foram definidas e a origem das evidências que fundamentaram cada decisão.

Quadro 5: Estratégias bioclimáticas passivas a serem utilizadas nos projetos

Estratégia	Objetivo	Evidências	Referências
Arborização no entorno para sombreamento	Auxílio do sombreamento do abrigo diminuindo a temperatura radiante e aumento da sensação de conforto.	A, B, C e D	Lamberts (2014); Lee; First, (2023); Mari <i>et al</i> (2019); Pan; Li; Tang, (2024); Koscikova; Krivtsov, (2023).
Cobertura verde	Diminuição de temperatura da cobertura e aumento da sensação de conforto.	D	Czyza; Kowalczyk (2024); Evangelisti <i>et.al</i> (2020); Koscikova; Krivtsov (2023); Lamberts; Dutra; Pereira, (2014).
Ventilação cruzada	Melhora da qualidade do ar e da sensação térmica em ambientes externos.	A, B e D	Dabaieh; Zakaria; Kazem (2021); Lamberts; Dutra; Pereira, (2014); Souza; Rodrigues (2012); Sun <i>et.al</i> (2021).
Elementos de controle solar	Redução de incidência solar direta e permanência da permeabilidade visual.	A, B, C e D	Lamberts; Dutra; Pereira, (2014); Vettorazzi <i>et.al</i> (2024); Rubel; Joader (2024).
Utilização de materiais de alta inércia térmica	Estabilização da temperatura radiante.	A, B e D	Souza (2024); Božiček <i>et al.</i> (2023).
Proteção intempéries	Coberturas, paredes laterais.	B e D	Ely (1997).

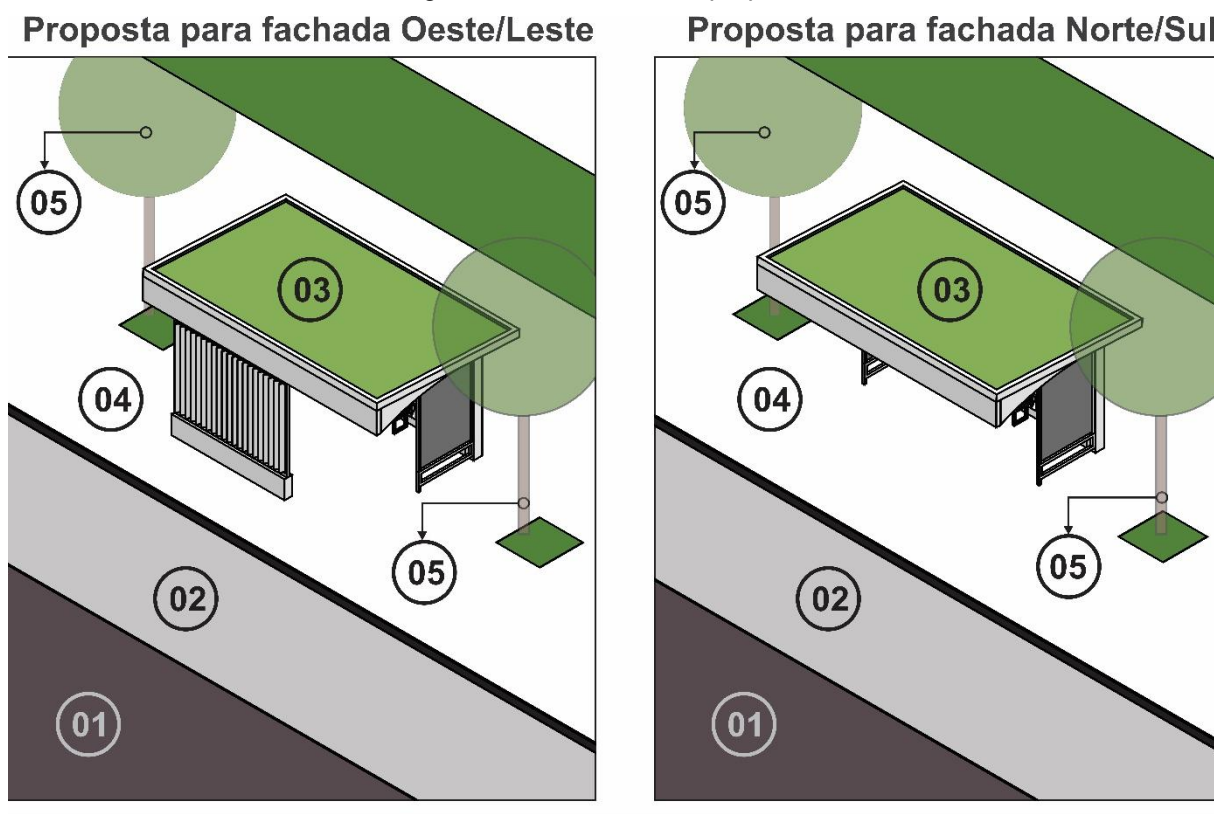
A. Monitoramento térmico *in loco*; B. Questionário; C. Simulações computacionais; D. Revisão bibliográfica

Fonte: Autor, 2026.

4.5.3 Proposta final: descrição e componentes

Seguindo as diretrizes propostas anteriormente e aplicando as estratégias bioclimáticas supracitadas, foi desenvolvido o modelo de ponto de ônibus que tem o potencial de mitigar a temperatura no espaço interno e proporcionar maior conforto ao usuário. Devido à heterogeneidade da orientação solar na distribuição dos abrigos pelo município, foram desenvolvidos dois modelos (conforme Figura 49), um com fechamento parcial frontal (fachada leste e oeste) e outro para as fachadas norte e sul, totalmente aberto na fachada frontal.

Figura 49: Isometrias das propostas



01- Pavimentação asfáltica

02- Pavimentação em concreto denso, destinado a parada de ônibus

03- Ponto de ônibus

04- Piso em concreto pré-moldado intertravado (paver)

05- Árvore

Fonte: Autor, 2026.

Para reduzir a carga térmica proveniente da cobertura, a solução projetual é composta por telhado verde do tipo extensivo, que apresenta melhor compatibilidade com mobiliário urbano em termos de carga estrutural, facilidade de implantação e baixa demanda de manutenção. Do ponto de vista construtivo, a cobertura foi elaborada como um sistema multicamadas, composto por base estrutural metálica e camadas usuais do telhado verde como: regularização, impermeabilização, barreira anti-raiz, drenagem, manta filtrante, substrato e vegetação, conforme esquema apresentado a seguir (Figura 50).

Figura 50: Detalhe da cobertura verde



Fonte: Adaptado de Polleto, 2025.

A presença de arborização no entorno imediato é tratada como estratégia essencial de auxílio na mitigação da carga radiativa, aumentando a área de sombreamento ao longo do dia. Para isso foi definida para plantio nas laterais do ponto de ônibus a espécie nativa Quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), conforme Figura 51. Trata-se de uma árvore caducifólia de médio porte, tem raízes não agressivas e compatibilidade com a infraestrutura urbana, além de ser amplamente utilizada no cenário urbano nacional.

Figura 51: Quaresmeira, árvore indicada para o projeto proposto

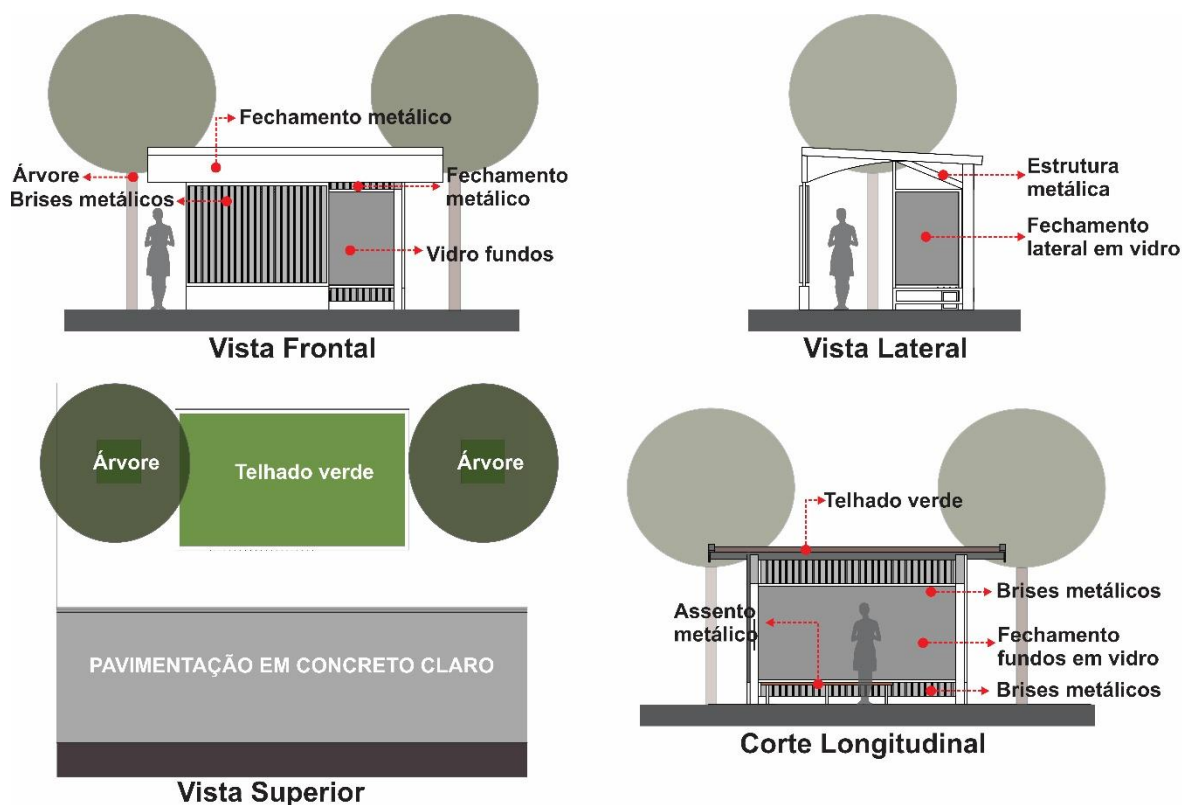


Fonte: EMBRAPA, 2018.

Quanto à pavimentação, definiu-se pela utilização em concreto denso e claro na faixa anexa ao ponto, visando minimizar a T_s e as respectivas cargas térmicas por reflexão. O fechamento frontal do abrigo (fachadas leste e oeste) foi desenvolvido em brises metálicos de cor cinza claro, definida por auxiliar na reflexão radiativa e a escolha do material atende a demanda por ventilação natural no interior do ponto e a necessidade em robustez, diminuindo os impactos por falta de manutenção e vandalismo, a cor clara foi. Quanto as fachadas laterais, para proporcionar segurança ao usuário e permeabilidade visual, proteção de chuva, e bloqueio parcial de radiação solar por onda longa, dispôs-se de fechamento parcial em vidro (orienta-se utilizar película de bloqueamento).

Seguindo os mesmos princípios e combinado as técnicas utilizadas nas laterais e na facha frontal, para o fechamento dos fundos foi utilizado vidro fixo em 3 terços da altura, posicionado ao centro, sendo a parte restante superior e inferior composta por brises metálicos verticais, auxiliando na ventilação cruzada e no efeito chaminé do mesmo. As informações mencionadas podem ser observadas no detalhamento a seguir (Figura 52).

Figura 52: Descrição dos materiais: Ponto de ônibus leste/oeste



Fonte: Autor, 2026.

A proposta (Figura 53) apresenta um ponto de ônibus com linhas simples e formais, compondo um projeto de linguagem contemporânea, composto por cobertura levemente inclinada de maior projeção horizontal. O modelo também incorpora arborização adjacente e cobertura vegetal superior, buscando ampliar as áreas sombreadas, reduzir a incidência da radiação solar direta e contribuir para a melhoria do desempenho térmico no entorno imediato.

Figura 53: Imagens do ponto de ônibus proposto no contexto urbano



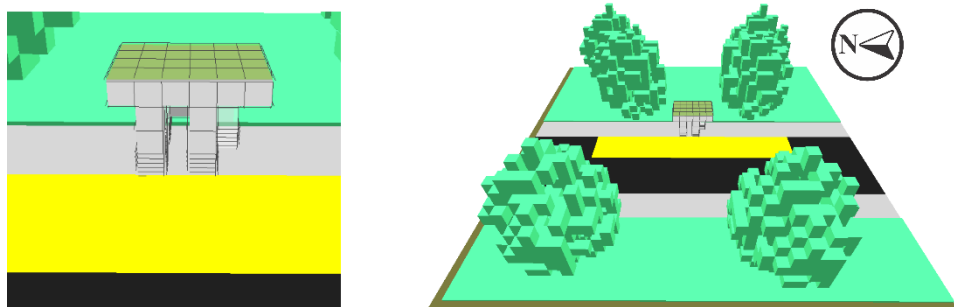
Fonte: Autor, 2026.

4.5.4 Avaliação preliminar do desempenho térmico

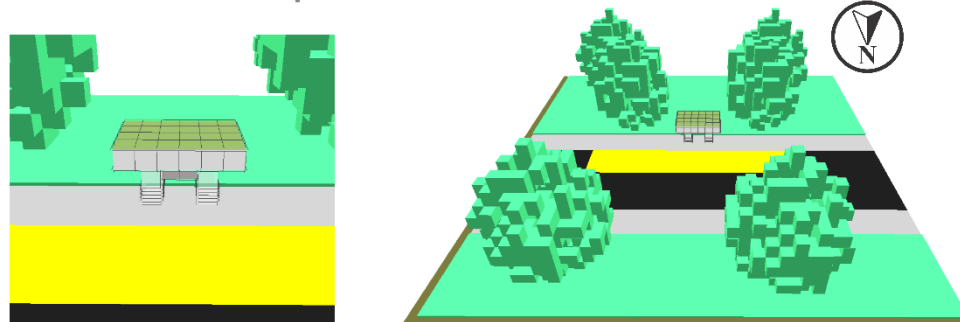
Seguindo a metodologia proposta, descrita no tópico 3.5.1, foram realizadas as modelagens e simulações das propostas (Figura 54). Apesar das limitações do *software* quanto às dimensões geométricas, descritas no item 3.3.1, a configuração de materiais e a distribuição aproximada dos vãos de cada proposta foram mantidas conforme o projeto, preservando as características essenciais para a avaliação do desempenho térmico.

Figura 54: Cenários das propostas modeladas no *Envi_MET*

Ponto para fachada frontal Oeste/ Leste



Ponto para fachada frontal Norte/ Sul

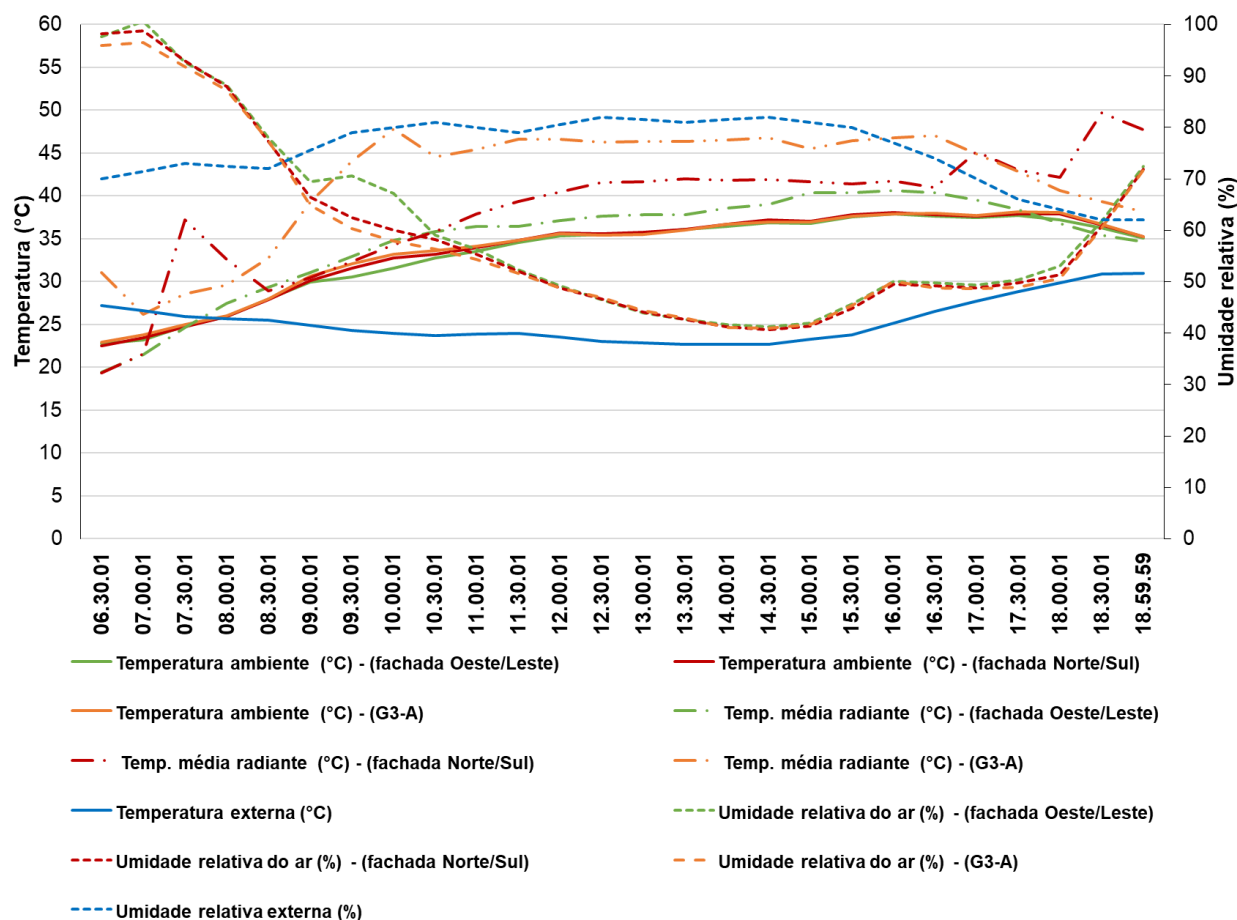


- Asfalto
- Grama
- Cobertura verde
- Piso de concreto pré-moldado intertravado (Paver)
- Pavimentação de concreto

Fonte: Autor, 2026

Conforme apresentado na Figura 55, os resultados das simulações nas duas propostas testadas indicaram valores próximos nas três variáveis analisadas T_a , U_r e TMR, ao longo do período de simulação. Na proposta destinada as fachadas Oeste e Leste a T_a variou de 22,74 °C a 37,87 °C, com média de 33,36 °C, enquanto a TMR variou de 19,41 °C a 40,63 °C, com média de 34,78 °C, já a U_r apresentou média de 60,46%. No modelo de fachada Norte e Sul, a T_a variou de 22,52 °C a 38,07 °C, com média de 33,62 °C, a TMR variou de 19,32°C a 49,66°C, com média de 38,18 °C, enquanto a U_r apresentou média de 59,27%. Em síntese, o modelo pra fachada Oeste/Leste apresentou melhor desempenho médio com registros menores de T_a e médias de TMR. Quando comparados aos dados do cenário que apresentou melhor resultado no tópico 4.4.2 (cenário G3-A) os modelos propostos foram mais eficientes em todas as variáveis.

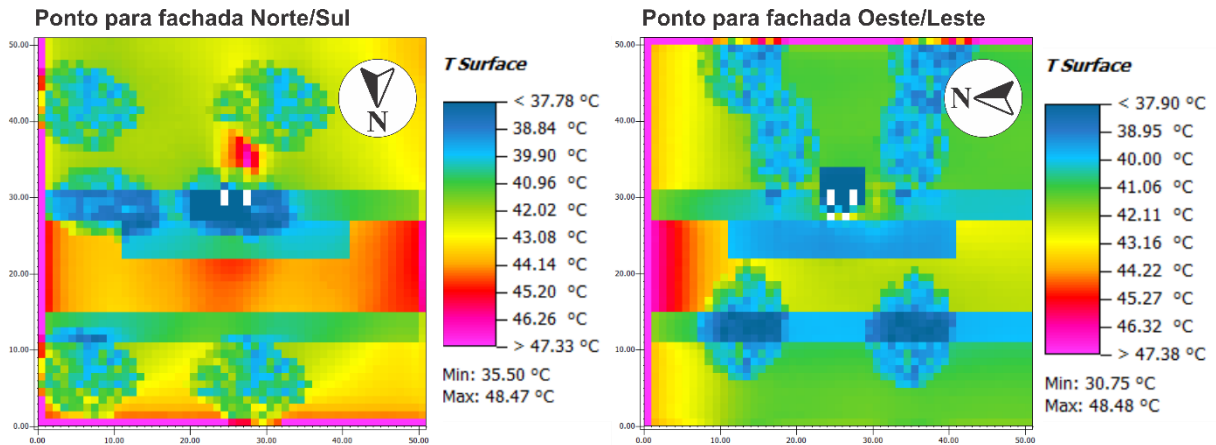
Figura 55: Comparação dos resultados obtidos com as novas propostas



Fonte: Autor, 2026.

Além da redução da radiação térmica evidenciada pela TMR, registraram-se otimizações na T_s (Figura 56). A proposta Oeste/Leste apresentou T_s no centro do ponto de ônibus de 30,75 °C, enquanto o melhor cenário entre os 12 modelos anteriores (G3-A) apresentou T_s de 37,09 °C, evidenciando uma redução de aproximadamente 6,0 °C na temperatura superficial local. Na versão aberta (fachada Norte/Sul), a temperatura de superfície no mesmo ponto foi de 36,57 °C, permanecendo próxima ao patamar do melhor cenário anterior. Evidencia-se assim que o ganho térmico do novo projeto não se restringe somente à reorganização espacial do ponto de ônibus, mas está fortemente atrelado ao controle do balanço radiativo e do aquecimento superficial na zona do usuário.

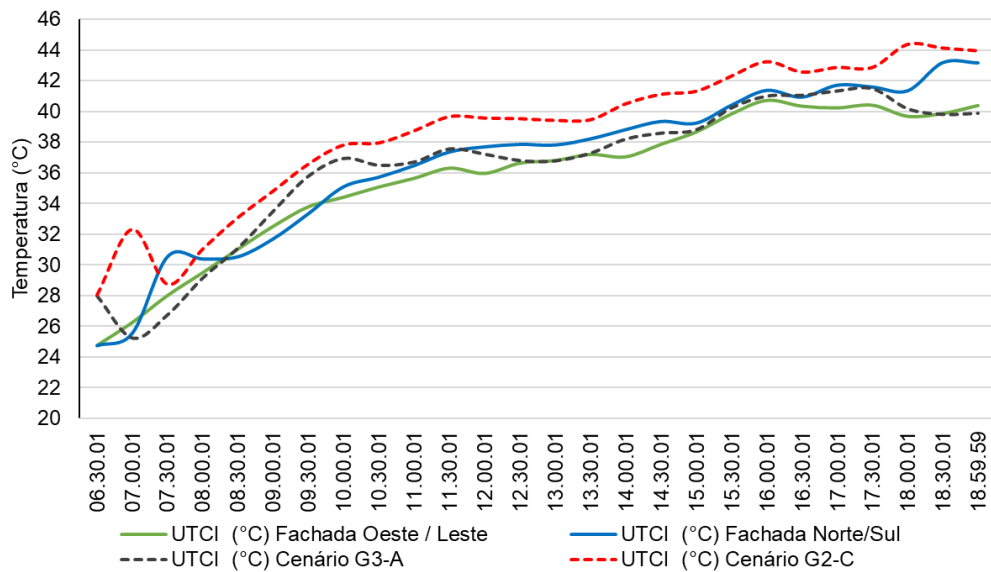
Figura 56: Temperaturas de superfície das novas propostas



Fonte: Autor, 2026.

Conforme observa-se na Figura 57, o cálculo de UTCI realizado ao longo do dia de simulação mostra que as duas novas propostas têm comportamento muito semelhante ao longo do dia e permanecem, em geral, abaixo do pior cenário anterior (G2-C), com redução de mais de 6,0 °C nas duas propostas as 07:00 h. Com relação ao melhor cenário (G3-A), os valores são próximos, porém com diferenças de aproximadamente 2 °C a menos nos novos pontos às 09:30 h, indicando que as novas soluções tendem a otimizar o conforto percebido pelos usuários, mesmo comparados aos melhores casos testados anteriormente.

Figura 57: Cálculo de UTCI das novas propostas comparados aos cenários extremos simulados



Fonte: Autor, 2026.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de pontos de ônibus em clima subtropical úmido, a partir do estudo de caso de Foz do Iguaçu/PR, a fim de identificar inadequações e subsidiar o desenvolvimento de um modelo adaptado que promova maior conforto térmico aos usuários, por meio de estratégias bioclimáticas. Para isso, foi adotada uma metodologia que integrou diagnóstico empírico, avaliação preditiva e aplicação projetual.

As primeiras descobertas de campo esclareceram a heterogeneidade dos modelos de pontos de ônibus existentes em Foz do Iguaçu, sendo identificados 16 modelos distintos, distinguidos tanto pela geometria quanto pelos materiais aplicados.

Seguindo essa lógica o questionário apresentou resultados importantes quanto ao *status quo* desses equipamentos urbanos. Foi identificado grande percentual de desconforto térmico tanto no inverno quanto no verão, com mais de 50% dos participantes alegando sentir muito calor no verão e muito frio no inverno, porém outras descobertas também foram de extrema relevância para a pesquisa. Muitos usuários declararam vulnerabilidade climática por falta de uma geometria que cumprisse um papel de proteção. Outro ponto fortemente apontando foi a percepção de calor aumentada por emprego incorreto de materiais nos pontos de ônibus do município, além de falta de manutenção e sujeidade.

Os resultados acima foram corroborados pelas medições de campo, nos quais, todos os modelos monitorados tiveram a média de T_a ao longo do dia acima de 31 °C. Entretanto, as medições de T_s obtiveram os resultados mais acentuados, como 60 °C na calçada de concreto, 70 °C na pavimentação asfáltica e próximo a 60 °C na cobertura, reforçando o papel dessa variável no conforto percebido pelos usuários.

A análise comparativa dos 12 cenários simulados evidenciou que a aplicação das estratégias passivas, como aumento de sombreamento e a inserção de materiais de melhor desempenho térmico, tendeu a otimizar os registros, com redução de 9,18 °C das médias de TMR entre os cenários G3-A (com presença de árvores no entorno) e G2-C (totalmente pavimentado e sem vegetação próxima). Identificou-se ainda que, as variáveis mais sensíveis às estratégias foram a TMR e a T_s , sendo assim um indicador central para discriminar o desempenho térmico dos cenários simulados.

Com base nesse diagnóstico, o novo modelo de ponto de ônibus foi

desenvolvido e testado em duas configurações, uma proposta para as fachadas Oeste e Leste (parcialmente fechada) e outra para Norte e Sul (sem fechamento frontal), sendo ambas simuladas ao longo do período diurno de um dia típico de verão.

Os resultados indicaram T_a e UR muito próximas entre as duas alternativas, mas com diferenças discretamente superiores nas médias de TMR sendo de, $34,78^{\circ}\text{C}$ e $38,18^{\circ}\text{C}$ para as fachadas Oeste/ Leste e Norte/Sul, respectivamente. Em síntese, a alternativa parcialmente fechada (Fachada Oeste/Leste) apresentou melhor desempenho global ao longo do dia, tanto em médias como em picos máximos, coerente com a lógica microclimática de que o grau de fechamento altera o balanço entre sombreamento, exposição radiativa e trocas convectivas.

Quando comparadas às 12 simulações anteriores, os novos projetos obtiveram ganhos mais expressivos, sobretudo no controle radiativo, no qual, o melhor cenário (G3-A) tinha TMR média de $41,80^{\circ}\text{C}$ e máxima de $47,81^{\circ}\text{C}$, ao passo que as novas propostas reduziram para $34,78$ e $38,18^{\circ}\text{C}$ (médias). Quanto a T_s no ponto interno do abrigo, a proposta Oeste/Leste reduziu a T_s para $30,75^{\circ}\text{C}$ frente a $37,09^{\circ}\text{C}$ encontrado no melhor cenário anterior (G2-A), contribuindo para menor emissão de onda longa e TMR mais baixa, com maior potencial de conforto durante a espera. Por fim os cálculos de conforto UTCI nas novas propostas indicaram reduções de temperatura tanto comparados aos melhores quanto aos piores cenários testados.

Dessa forma, este trabalho demonstra que estratégias bioclimáticas passivas aplicadas ao ponto de ônibus e ao seu entorno imediato, têm a capacidade de melhorar o desempenho térmico e o conforto dos usuários. As proposições foram validadas por comparação com os cenários simulados e compatibilizada com os registros de campo, oferecendo assim uma contribuição para o redesenho de pontos de ônibus em cidades de clima subtropical úmido, fornecendo embasamento técnico para decisões de projeto que priorizem a experiência do usuário e a resiliência microclimática em condições de calor.

Embora os resultados e discussões deste trabalho se refiram ao clima subtropical úmido, o estudo oferece contribuições relevantes para outras regiões, especialmente de clima quente. Para pesquisas futuras, sugere-se validar o modelo em situação real de uso, ampliar sua aplicação a outras morfologias urbanas e condições climáticas, e aprofundar a análise de viabilidade técnica, econômica e operacional das soluções propostas

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, foram identificadas as seguintes limitações:

- **Medições em campo:** Para desenvolver análises mais precisas e fielmente comparativas entre composições urbanísticas distintas, se faz necessário obter equipamentos de monitorização avançados como termômetro de globo e anemômetros digitais. Todavia durante o desenvolvimento deste trabalho não foi possível solicita-los por falta de recursos próprios e institucionais, limitando-nos a utilização de *dataloggers* e câmera termográfica.
- **Tempo de monitoramento em campo:** Nas medições de Ta e UR foram instalados *dataloggers* nos pontos de ônibus, por um período de tempo menor do que o ideal, pois existia a probabilidade de vandalismo e furto dos mesmos acarretando em perda dos dados coletados. Fato que foi comprovado com a perda de um dos aparelhos que monitorava a temperatura do ponto de ônibus climatizado, excluindo-o dos dados e da análise conjunta.
- **Software de simulação:** Embora o Envi_MET admita espessura mínima de 0,5 m para os componentes geométricos, adotou-se, neste trabalho, 1,0 m, de modo a garantir a representatividade dos fluxos microclimáticos e evitar aumento exponencial do custo computacional. Como limitação, essa definição reduziu o nível de detalhamento geométrico do modelo, restringindo análises mais minuciosas de elementos com detalhes finos do projeto, como pequenas aberturas, brises e afins.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15220-3:2024: desempenho térmico de edificações — Parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16401-2:2024: instalações de condicionamento de ar — sistemas centrais e unitários — Parte 2: parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

AGÊNCIA SP. **Governo de SP celebra 50 anos do primeiro metrô do país com 33 bilhões de pessoas transportadas**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 11 set. 2024. Disponível em: <https://www.agenciasp.sp.gov.br/sp-celebra-50-anos-do-primeiro-metro-do-brasil/>. Acesso em: 13 set. 2025.

ANDRADE, K. R. *et al.* **Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio**. Uberlândia: s.n., 2004.

ANTUNES, E. M.; SIMÕES, F. A. Engenharia urbana aplicada: um estudo sobre a qualidade do transporte público em cidades médias. **URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [s. l.], vol. 5, nº 480, p. 51, 2013.

AQUINO JUNIOR, José. **A dengue em área de fronteira internacional: riscos e vulnerabilidades na tríplice fronteira de Foz do Iguaçu**. 2014. 201 f. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ASHRAE 55. **ANSI/ASHRAE Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 55-2017**. Atlanta: [s. d.], 2020. Disponível em: https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf. Acesso em: 2 mar. 2025.

BARNAT, Ewelina; SEKRET, Robert; BABIARZ, Bożena. Cooling of Air in Outdoor Areas of Human Habitation. **Energies**, [s. l.], v. 17, n. 24, art. 6303, 2024. DOI: 10.3390/en17246303. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/24/6303>. Acesso em: 8 mar. 2026.

BELLARA, A. *et al.* Impact of vegetation on microclimate in hot-humid climate of Annaba city. **Journal of Urban Management**, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 226–237, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.06.002>. Acesso em: 01 mar. 2025.

BELLINI, F. A. T. **Abrigos de ônibus em São Paulo, análise da produção recente**. 2008. - Universidade de São Paulo-USP, [s. l.], 2008. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-04032010-151030/pt-br.php>. Acesso em: 2 mar. 2025.

BOŽIČEK, David; KUNIČ, Roman; KRAINER, Aleš; STRITIH, Uroš; DOVJAK, Mateja. Mutual influence of external wall thermal transmittance, thermal inertia, and room

orientation on office thermal comfort and energy demand. **Energies**, [s. l.], v. 16, n. 8, art. 3524, 2023. DOI: 10.3390/en16083524.

BRASIL. **Lei nº 5.917, de 10 de setembro de 1973**. Aprova o Plano Nacional de Viação e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1973.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRIANT, Sarah; CUSHING, Debra; WASHINGTON, Tracy; SWART, Monique. Small but Significant: A Review of Research on the Potential of Bus Shelters as Resilient Infrastructure. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 15, art. 6724, 2025. DOI: 10.3390/app15126724.

BRITO, A. W. da S. de *et al.* ESTUDO SOBRE AS CONDIÇÕES DAS PARADAS DE ÔNIBUS NA CIDADE DE SÃO PAULO STUDY ON THE CONDITIONS OF THE BUS STOPS IN THE CITY OF SÃO PAULO. **ENIAC Pesquisa**, [s. l.], vol. 7, nº 1, p. 60–81, 2018.

CARDOSO, Iulli Pitone *et al.* Analysis of average annual temperatures and rainfall in southern region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 58-71, 2022. DOI: 10.5327/Z2176-94781204.

CARPENEDO, Camila Bertoletti; GOBI, Guilherme Henrique; YAMANOUCHI, Fabiana Tiemy; MACHADO, Marco Aurélio de Mello. Temperatura do ar em cenários futuros de mudanças climáticas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 34, 2024.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Avaliação de políticas de redução tarifária dos sistemas de transporte público coletivo no Brasil: evidências empíricas**. Brasília: Ipea, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/848f4b27-b749-4d93-af92-5c001bdf4466/content>. Acesso em: 08 nov. 2025.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHAUSSON, A. *et al.* Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. **Global Change Biology**, [s. l.], vol. 26, nº 11, p. 6134–6155, 2020.

CHIRAS, D. D. **The Solar House: Passive Heating and Cooling**. [S. l.], 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=-eOjU7j3VHEC&oi=fnd&pg=PR1&dq=solar+passive+house&ots=Kb4GkJkxhM&sig=WaqwOhrOtFEm6KoeG3->

3arAmeRc#v=onepage&q=solar%20passive%20house&f=false. Acesso em: 28 abr. 2024.

CHOI, Y.-W.; KHALIFA, M.; ELTAHIR, E. A. B. North–South Disparity in Impact of Climate Change on “Outdoor Days”. **Journal of Climate**, v. 37, n. 12, p. 3269-3282, 2024.

CIDADE BRASIL. **Município de Foz do Iguaçu, Paraná**. [S. l.]: Cidade Brasil, [s. d.]. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-foz-do-iguacu.html>. Acesso em: 22 nov. 2026.

COLANINNO, Nicola; BASU, Rounaq; HOSSEINI, Maryam; ALHASSAN, Abdulaziz; LIU, Liu; SEVTSUK, Andres. A sidewalk-level urban heat risk assessment framework using pedestrian mobility and urban microclimate modeling. **EPB: Urban Analytics and City Science**, [s. l.], v. 52, n. 5, p. 1071-1090, 2025. DOI: 10.1177/23998083241280746.

CONCURSOS DE PROJETO. **Premiados – Concurso de Ideias para estudantes – Parada de Ônibus**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/2017/08/28/premiados-concurso-de-ideias-para-estudantes-parada-de-onibus/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Mobilidade urbana no Brasil: marco institucional e propostas de modernização**. Brasília: [s. d.], 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **O TRANSPORTE MOVE O BRASIL**. [S. l.]: [s. d.], 2022.

COPERNICUS. **Climate Indicators**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators>. Acesso em: 2 mar. 2025.

CORDEIRO, P. M. **CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE CLIMAS TROPICAIS SECOS ENSINO NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL**. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/8014>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CORDOVIL, F. C. D. S.; BARBOSA, L. C. Dispersão e mobilidade urbana no Brasil: estudo de um aglomerado urbano. **Bitacora Urbano Territorial**, [s. l.], vol. 29, nº 3, p. 21–30, 2019.

CORNU, TOM; MARCHAL, BRUNO; RENMANS, DIMITRI. How do urban green spaces influence heat-related mortality in elderly? A realist synthesis. **BMC Public Health**, [s. l.], v. 24, art. 457, 2024. DOI: 10.1186/s12889-024-17973-5. Disponível em: <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-17973-5>. Acesso em: 12 nov. 2025.

COSTA, M. D. S. **UM ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL**. 2008. - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

COUTINHO, M. D. L. *et al.* **O MICROCLIMA E O (DES)CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ABERTOS NA CIDADE DE NATAL.** [S. l.]: [s. d.], 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280684412>.

CZYŻA, Szymon; KOWALCZYK, Anna Maria. Applying GIS in blue-green infrastructure design in urban areas for better life quality and climate resilience. **Sustainability**, [s. l.], v. 16, n. 12, art. 5187, 2024. DOI: 10.3390/su16125187.

DABAEIH, Marwa; ZAKARIA, Monica Michel; KAZEM, Medhat. Stay cool without fossil fuel: a passive eco-cooler for low-income population in informal settlements. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 2042, n. 1, art. 012155, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/2042/1/012155.

DELGADO, J. S. C.; SACTH, H. M.; VETTORAZZI, E. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA PROJETOS URBANOS EM FOZ DO IGUAÇU: ESTUDO DE CASO DO MARCO DAS TRÊS FRONTEIRAS. 2016. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. d.], 2016. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%201%20-%20Ambiente%20e%20Energia/Paper751.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2025.

DHARMASASTHA, K *et al.* Thermal performance investigation of membrane-assisted radiant cooling system for localised outdoor cooling hub. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], vol. 101, 2024. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85182605501&doi=10.1016%2fj.scs.2024.105173&partnerID=40&md5=b830b4c3e17a82e13f4fa51521b997d8>.

DHARMASASTHA, K. *et al.* Thermal performance investigation of membrane-assisted radiant cooling system for localised outdoor cooling hub. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], vol. 101, 2024.

DONATO, H.; DONATO, M. Stages for undertaking a systematic review. **Acta Medica Portuguesa**, [s. l.], vol. 32, nº 3, p. 227–235, 2019.

DZYUBAN, Yuliya; HONDULA, David M.; COSEO, Paul J.; REDMAN, Charles L. Public transit infrastructure and heat perceptions in hot and dry climates. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], v. 66, p. 345-356, 2022. DOI: 10.1007/s00484-021-02074-4.

ELY, V. H. M. B. **AVALIAÇÃO DE FATORES DETERMINANTES NO POSICIONAMENTO DE USUÁRIOS EM ABRIGOS DE ÔNIBUS A PARTIR DO MÉTODO DA GRADE DE ATRIBUTOS.** 1997. - Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_b3c9f248ed68ccc29fd87269b402a7fe. Acesso em: 2 mar. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Quaresmeira.** Portal Embrapa, 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/4461001/quaresmeira>. Acesso em: 5 mar. 2026.

ENVI_MET. **ENVI-met Software Suite: Enabling Sustainable Urban Simulation and Analysis**. [S. l.], 2024. Disponível em: https://envi-met.com/microclimate-simulation-software/?_gl=1*1n4feu1*_up*MQ..*_ga*NzMwMjgzNDkwLjE3NDEwMjgzNjQ.*_ga_SBFPNZ9FDE*MTc0MTAyODM2MS4xLjEuMTc0MTAyODY4NC4wLjAuMA.. Acesso em: 2 mar. 2025.

EVANGELISTI, Luca; GUATTARI, Claudia; GRAZIESCHI, Giorgia; RONCONE, Matteo; ASDRUBALI, Francesco. On the energy performance of an innovative green roof in the Mediterranean climate. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 19, art. 5163, 2020. DOI: 10.3390/en13195163.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P. H. N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores?. **Estudos Avancados**, [s. l.], vol. 30, nº 86, p. 7–27, 2016.

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

FERNANDES, M. E. *et al.* **A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MORFOLOGIAS NO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS**. [S. l.]: [s. d.], 2019.

Ferraz, A. C. P.; Torres, I. G. E. **Transporte público urbano**. São Carlos: Rima, 2004.

FIDELIS, Fernando; WANDERMUREM, Romildo Ferreira; SCHUTZ, Fabiana Costa de Araujo; SANDMANN, André. Análise estatística da precipitação pluviométrica nas cidades de Foz do Iguaçu e Terra Roxa no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2., 2021, evento online. **Anais do II CoBICET**. [S. l.]: CoBICET, 2021.

FILHO, R. B. **ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DAS CONDIÇÕES DA INFRAESTRUTURA DOS PONTOS DE ÔNIBUS OFERECIDA AOS USUÁRIOS: UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA, SP**. 2016. - UFSCar, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8020/DissRBF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jun. 2024.

FOZTRANS. **Prestação de contas do transporte coletivo: fechamento 20 - 04/10 a 02/11 de 2024**. Foz do Iguaçu: Foztrans, 2024. PDF.

G1. **Vídeo: vazão das Cataratas do Iguaçu está três vezes menor que o normal durante estiagem no Paraná**. [S. l.]: G1, 27 maio 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2025/05/27/video-vazao-das-cataratas-do-iguacu-esta-tres-vezes-menor-que-o-normal-durante-estiagem-no-parana.ghtml>. Acesso em: 8 mar. 2026.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: CONCEITUAÇÃO, PRODUÇÃO E PUBLICAÇÃO. **Logeion: Filosofia da**

Informação, [s. l.], vol. 6, nº 1, p. 57–73, 2019.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. 1. ed. London: [s. d.], 2012.

GOMIDE, Alexandre de Ávila; GALINDO, Ernesto Pereira. A mobilidade urbana: uma agenda inconclusa ou o retorno daquilo que não foi. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 79, p. 27-39, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/y5cDfp8VrLsfCjWkjJHST3S/>. Acesso em: 8 mar. 2026.

GONÇALVES, Eduarda Lorrany Sousa *et al.* Multiscale modeling to optimize thermal performance design for urban social housing: a case study. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 236, art. 121379, 2024. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121379.

HARTMANN, Ricardo Morel; FLORES, Diego Moraes. Estudo do impacto da arborização no conforto térmico de veículos, consumo de combustível gasolina e emissões de CO2 em Foz do Iguaçu. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2022.

Hartmann, R. M., Flores, D. M., Vettorazzi, E., de Marchi, V. A. A., Salazar-Jarufe, M. S., Peruzzo, M. L. B., Santacruz-Alvarez, L. E., **Relatório Técnico sobre Coleta de Dados para Pesquisa Origem Destino Ampliada no Formato Híbrido como Subsídio para Estudo Diagnóstico sobre o Transporte Coletivo em Foz do Iguaçu – PR**. Relatório Técnico Projeto de Pesquisa. Universidade Federal da Integração Latino-americana. Foz do Iguaçu/PR, 2024.

HO, JANICE Y. *et al.* Urban heat island effect-related mortality under extreme heat and non-extreme heat scenarios: a 2010–2019 case study in Hong Kong. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 858, pt. 1, art. 159791, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159791. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722068917>. Acesso em: 8 mar. 2026.

HOU, Guoying; KUALI, Yiming; YIN, Lige; LI, Yuan; SHU, Ping. A comprehensive review of thermal comfort related design strategy of semi-outdoor transitional spaces. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 345, art. 116116, 2025. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116116.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Foz do Iguaçu**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu>. Acesso em: 8 mar. 2026.

INMET. **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 2 mar. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Publicado o zoneamento climático detalhado do Brasil**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/ipefexpress/nr071.htm>. Acesso em: 2 mar. 2025.

IPCC, P. intergovernamental sobre mudanças climáticas. **Aquecimento Global de**

1,5°C. [S. l.]: [s. d.], 2018.

IPHAN. **História das ferrovias no Brasil**. Brasília: IPHAN, [s. d.]. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/609>. Acesso em: 20 nov. 2025.

JAYASENA, A. *et al.* Socio-economic and environmental cost-benefit analysis of passive houses: A life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 373, p. 133718, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133718>. Acesso em: 28 abr. 2024.

JUNIOR, Edimar Pereira dos Santos; SCHEER, Marcia Aparecida Procopio da Silva; QUEIROS NETO, Exzolvildres; PALHARES, José Mauro. Tipificação climática de Foz do Iguaçu-PR e de padrões de variação na disponibilidade de água para a cultura da soja. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 25, n. 3, p. 821-836, 2021.

KANIA, Nada Elfira Dwi; HAPSORO, Agustinus Nur Arief; SUDARISMAN, Irwan; BELASUNDA, Riksa. Bus stop design strategy based on visual comfort level in Bandung City. **ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 177-190, 2024. DOI: 10.30822/arteks.v9i2.3187.

KOSCIKOVA, Z.; KRIVTSOV, V. Environmental and Social Benefits of Extensive Green Roofs Applied on Bus Shelters in Edinburgh. **Land**, [s. l.], v. 12, n. 10, 2023.

KYOGOKU, S.; TAKEBAYASHI, H. Experimental Verification of Mist Cooling Effect in Front of Air-Conditioning Condenser Unit, Open Space, and Bus Stop. **Atmosphere**, [s. l.], v. 14, n. 1, 2023.

KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], vol. 15, nº 3, p. 259–263, 2006.

LANZA, Kevin; ERNST, Sara; WATKINS, Katie; CHEN, Baojiang. Heat stress mitigation by trees and shelters at bus stops. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 140, art. 104653, 2025. DOI: 10.1016/j.trd.2025.104653.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiencia energética na arquitetura**. [S. l.]: [s. d.], 2014.

LEAL, L. R. **Análise do adensamento urbano no comportamento microclimático de Vitória (ES): aplicações no Modelo ENVI-met**. 2018. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, [s. l.], 2018. Disponível em: https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/dissertacao_laiz_reis_leal_2018.pdf. Acesso em: 2 mar. 2025.

LEE, S.; FIRST, J. M. Investigation of the Microenvironment, Land Cover Characteristics, and Social Vulnerability of Heat-Vulnerable Bus Stops in Knoxville, Tennessee. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 15, n. 14, 2023.

LOURENCI, A. L. A.; TORRES, D. H. S.; BARBOSA, M. C. C. O protagonismo do carro traduzido na formação da cidade, sua mobilidade e espaços edificados. In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO – ENSUS, 7., 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2019. p. 308–319.

LYCARIÃO, D.; ROQUE, R.; COSTA, D. Revisão Sistemática de Literatura e Análise de Conteúdo na Área da Comunicação e Informação: o problema da confiabilidade e como resolvê-lo. **Transinformação**, [s. l.], vol. 35, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tinf/a/hX8CfMV7xgKV4JbghWL4yXJ/>. Acesso em: 2 mar. 2025.

MANZANO-AGUGLIARO, F. *et al.* Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 736–755, set. 2015.

MARANDO, F. *et al.* Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], vol. 77, 2022.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MARI, T. S.; *et al.* Natural Brise Soleil: The effects of vegetation shading on thermal environment of residential buildings in hot and humid tropics. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 268, n. 1, art. 012013, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/268/1/012013.

MELO, B. P. **Indicadores de ocupação urbana sob o ponto de vista da infraestrutura viária**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) — Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

MENDES, A. T. LEVANTAMENTO VISUAL DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS EM ARAGUAÍNA-TO. 2019, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: [s. d.], 2019. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2019/Civil/LEVANTAMENTO%20VISUAL%20DE%20PATOLOGIAS%20EM%20PAVIMENTOS%20FLEX%20C%8DVEIS%20DE%20VIAS%20URBANAS%20EM%20ARAGUAINA%20-%20TO.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2025.

MOKHTARI, Reza; ULPANI, Giulia; GHASEMPOUR, Roghayeh. The Cooling Station: Combining hydronic radiant cooling and daytime radiative cooling for urban shelters. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 211, art. 118493, 2022. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118493.

MONTERO-GUTIÉRREZ, P. *et al.* Natural cooling solution for thermally conditioning bus stops as urban climate shelters in hot areas: Experimental proof of concept. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 296, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85171656118&doi=10.1016%2fj.enconman.2023.117627&partnerID=40&md5=74f6fb717ee814e258f63b10debc8dae>.

MONTERO-GUTIÉRREZ, P. *et al.* Heat wave resilience in open Spaces: A case study of a Self-Sufficient cooling shelter. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 320, 2024.

MONTEIRO, L. M.; ALUCI, M. P. Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços abertos urbanos. **Ambiente construído**, [s. l.], p. 79–101, 2010.

MORSCH, M. R. S. *et al.* SIMULAÇÃO DO CLIMA URBANO COMO FERRAMENTA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2018. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. d.], 2018. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1800>. Acesso em: 2 mar. 2025.

MUNIZ, E. C. L. *et al.* A análise do grau de satisfação dos serviços de transporte público utilizados por discentes de uma universidade pública federal. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, vol. 15, nº 1, p. 1, 2020.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. José; LUIS, G. C. Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal/Brasil | **Élisée - Revista de Geografia da UEG**. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/5769>. Acesso em: 21 abr. 2024.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENT INFORMATION. **Relatório Climático Global**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202404>. Acesso em: 2 mar. 2025.

NEVES, L. de O. **ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E A OBRA DE SEVERIANO PORTO: ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO NATURAL**. 2006. [s. l.], 2006.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático**. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER, 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico#>. Acesso em: 03 out. 2025.

NOVAES, G. B. de A.; MONTEIRO, L. M. Calibração do ENVI-met para simulações termodinâmicas de espaços urbanos abertos em dias quentes. **Ambiente Construído**, [s. l.], vol. 22, nº 4, p. 275–297, 2022.

NTU (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DO TRANSPORTE URBANO). **PROPOSTAS PARA UM NOVO PROGRAMA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA**. Brasília: [s. d.], 2023.

NTU (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DO TRANSPORTE URBANO). [S. l.], 2024. Disponível em: <https://ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>. Acesso em: 28 jun. 2024.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [s. l.], vol. 108, nº 455, p. 1–24, 1982. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229724544_The_energetic_basis_of_urban

_heat_island. Acesso em: 28 jun. 2024.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OLIVEIRA, P. P. A. **A pecuária em sistemas integrados e as mudanças climáticas**. [S. l.]: [s. d.], 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282646782_A_pecuaria_em_sistemas_integrados_e_as_mudancas_climaticas. Acesso em: 2 mar. 2025.

OLIVEIRA, A.; SALOMÃO, S; BARBOSA, M. T. **Análise da Qualidade da Mobilidade e Acessibilidade Urbana do Transporte Coletivo na Cidade de Juiz de Fora-MG** **Analysis of the Quality of Mobility and Urban Accessibility of Public Transport in the City of Juiz de For a-MG**. [S. l.]: [s. d.], 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>.

OLIVEIRA, L. D. **Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

PALOMO AMORES, Teresa Rocío et al. Effect of green infrastructures supported by adaptative solar shading systems on livability in open spaces. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 82, art. 127886, abr. 2023. DOI: 10.1016/j.ufug.2023.127886. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866723000572>. Acesso em: 10 dez. 2025.

PAN, Yan; LI, Shan; TANG, Xiaoxiang. Investigation of bus shelters and their thermal environment in hot-humid areas—A case study in Guangzhou. **Buildings**, [s. l.], v. 14, art. 2377, 2024. DOI: 10.3390/buildings14082377.

PAULA, G. A. O. de *et al.* Análise de Manifestações Patológicas em Recuos das Paradas de Ônibus – Estudo de Caso em Brasília-DF / Analysis of Pathological Manifestations in Bus Stop Recesses - Case Study in Brasília-DF. **Brazilian Applied Science Review**, [s. l.], vol. 5, nº 2, p. 738–753, 2021.

PIRES, V. K. da S. *et al.* Conforto térmico em contêiner metálico utilizado como ponto de ônibus: estudo de caso em Cuiabá-MT. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], vol. 11, nº 7, p. 513–528, 2020.

POLETTTO, Alexandre. **Telhado verde: conheça 60 projetos e veja como funciona esta cobertura**. Tua Casa, 26 fev. 2025. Disponível em: <https://tuacasa.uol.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 02 mar. 2026.

POLINARSKI, Celso Aparecido et al. Alterações da temperatura e umidade relativa do ar em cidades do Paraná: possíveis efeitos das mudanças climáticas. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, [s. l.], v. 5, n. 3, 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU; PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU – BRASIL. **Plano Mobi Foz: volume I: Plano de Mobilidade Urbana de Foz do Iguaçu**. Foz do Iguaçu: Prefeitura Municipal, 2018.

ROCHA JÚNIOR, Rodrigo Lins da et al. Análise de extremos de temperatura no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 30, p. 445-460, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.14857. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/70dc/a020c8b5a0d00533d04d110f8200c956274b.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2026.

RODRIGUES, J. M. Mobilidade urbana no Brasil: crise e desafios para as políticas públicas. **TCEMG**, Belo Horizonte, v. 34, p. 80–93, 2016. Disponível em: https://www.observatoriodasmetrolopoles.net.br/wp-content/uploads/2020/05/Mobilidade-urbana_Juciano-Rodrigues.pdf. Acesso em: 2 mar. 2025.

RODRIGUES, B. B. *et al.* Simulação de sombreador urbano para mitigar ilhas de calor em áreas de adensamento irregular. 2024. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. d.], 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/384909722_Simulacao_de_sombreador_urbano_para_mitigar_ilhas_de_calor_em_areas_de_adensamento_irregular. Acesso em: 2 mar. 2025.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico**: Contribuição a aplicação prática das normas internacionais. Dissertação de mestrado. Universidade estadual de Campinas- UNICAMP. Campinas, 1999.

SANTAMOURIS, M. *et al.* On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings - A review. **Energy and Buildings**, [s. l.], vol. 98, p. 119–124, 2015.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 19, n. 2, p. 135–141, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>. Acesso em: 02 mar. 2025.

RUBEL, A; JOARDER, M. A. R. Performance of shading against west glass facades to optimise daylight, thermal comfort and energy efficiency of office buildings. **Journal of Daylighting**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 131-148, 2024. DOI: 10.15627/jd.2024.8. Disponível em: <https://solarlits.com/jd/11-131>. Acesso em: 8 mar. 2026.

SANTOS, J. B. dos. **SIMULAÇÃO DO MICROCLIMA URBANO DE SANTA MARIA-RS ATRAVÉS DO SOFTWARE ENVI-MET**. 2023. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/29182>. Acesso em: 2 mar. 2025.

SEDDON, N. *et al.* Getting the message right on nature-based solutions to climate change. **Global Change Biology**, [s. l.], vol. 27, nº 8, p. 1518–1546, 2021.

SERAFIM, G.; REMOR, R.; FENATO, C. S. da P. M. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA PROJETO ARQUITETÔNICO NA CIDADE DE UMUARAMA – PR. **Akrópolis** -

Revista de Ciências Humanas da UNIPAR, [s. l.], vol. 25, nº 2, 2018.

SILVA, C. F. *et al.* **Simulação Microclimática com o ENVI-met 5.0: Guia Metodológico**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: www.lasus.unb.br.

SIMEPAR. **23 cidades tiveram o fevereiro mais quente da média histórica no Paraná, diz Simepar**. Curitiba: Simepar, [2025?]. Disponível em: <https://www.simepar.br/simepar/post/64621>. Acesso em: 10 jan. 2026.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA MOBILIDADE URBANA DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICO. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - SIMOB/ANTP - Relatório geral 2018**. [S. l.]: [s. d.], 2018. Disponível em: <https://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2025.

SOARES, S. V.; PICOLLI, I. R. A.; CASAGRANDE, J. L. Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Bibliométrica, Artigo de Revisão e Ensaio Teórico em Administração e Contabilidade. **Administração: Ensino e Pesquisa**, [s. l.], vol. 19, nº 2, p. 308–339, 2018.

SOUZA, E. **Conheça os vencedores do concurso de estudantes Projetar.org para projeto de uma parada de ônibus**. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/878591/conheca-os-vencedores-do-concurso-de-estudantes-projetarg-para-projeto-de-uma-parada-de-onibus?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all. Acesso em: 2 mar. 2025.

SOUZA, Eduardo. **Timeless vernacular wisdom for tomorrow's cold-climate buildings**. ArchDaily, [s. l.], 17 set. 2024. Disponível em: <https://www.archdaily.com/1021127/timeless-vernacular-wisdom-for-tomorrows-cold-climate-buildings>

SOUZA, M. M. de *et al.* SENSACÃO TÉRMICA NO SERVIÇO DE TRANSPORTE CIRCULAR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. **Mix sustentável**, [s. l.], vol. 5, nº 3, p. 103–114, 2019.

SOUZA, H. A; RODRIGUES, L S. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 189-194, 2012. DOI: 10.1590/S0370-44672012000200007.

STEINHARTER, Logan; IBSEN, Peter C.; LAM, Tzeng Yih; NESBITT, Lorien; PARK, Keunhyun; MCHALE, Melissa R. Hot stops, cool looks: Aesthetic solutions for thermal comfort at transit stops. **Urban Climate**, [s. l.], v. 64, art. 102606, 2025. DOI: 10.1016/j.uclim.2025.102606. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095525003220>. Acesso em: 8 mar. 2026.

STIEL, Waldemar Corrêa. **História do transporte urbano no Brasil**: história dos bondes e dos trólebus e das cidades onde eles trafegaram. Brasília: EBTU; São Paulo: PINI, 1984.

SUN, H.; *et al.* Numerical Investigation of the Influence of Vegetation on the Aero-Thermal Performance of Buildings with Courtyards in Hot Climates. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 17, art. 5388, 2021. DOI: 10.3390/en14175388.

TAKEBAYASHI, Hideki. A Simplified Evaluation Framework for Adaptation Measures to Urban Heat Islands. **Buildings**, [s. l.], v. 14, n. 8, art. 2417, 2024. DOI: 10.3390/buildings14082417. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/8/2417>. Acesso em: 8 mar. 2026.

TRUONG, H.; GARVIE, A. M. Chifley Passive House: A Case Study in Energy Efficiency and Comfort. **Energy Procedia**, [s. l.], vol. 121, p. 0–000, 2017. Disponível em: www.sciencedirect.com/locate/procedia1876-6102www.elsevier.com/locate/procedia1876-6102www.sciencedirect.com/locate/procedia1876-6102. Acesso em: 28 abr. 2024.

UN-HABITAT. **World cities report**: Envisaging the future of cities. United Nations Human Settlements Programme. (UN-Habitat), 2022.

VASCONCELLOS, E. A. de; CARVALHO, C. H. R. de; PEREIRA, R. H. M. **Transporte e mobilidade urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2011. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 34). Disponível em: <https://hdl.handle.net/10419/91298>. Acesso em: 28 jun. 2025.

VELASCO, E.; SEGOVIA, E. Effectiveness of equipping bus stop shelters with cooling and filtering systems in a city with tropical climate. **Smart and Sustainable Built Environment**, [s. l.], 2023.

VETTORAZZI, E. **Contribuições das estratégias do conceito Passive House para edificações energeticamente mais eficientes na Região Sul-Brasileira**. Porto Alegre: [s. d.], 2019.

VETTORAZZI, E; *et al.* Expressions of Arab influence on the Brazilian architecture: the case of solar control elements. **Buildings**, [s. l.], v. 14, n. 1, art. 194, 2024. DOI: 10.3390/buildings14010194. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/1/194>. Acesso em: 8 mar. 2026.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], vol. 86, nº 3, p. 370–384, 2003.

VROTSOU, K.; GLAD, W. Visualizing thermal comfort in residential passive house designs. In: THE TWELFTH ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE ENERGY SYSTEMS (e-Energy '21), 2021, Virtual Event, Italy. **Proceedings [...]**. New York: Association for Computing Machinery, 2021. p. 412-416. DOI:

10.1145/3447555.3466605. Disponível em:

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-177475>. Acesso em: 3 abr. 2026.

WALSH, A.; LABAKI, L. C.; CÓSTOLA, D. Panorama do zoneamento bioclimático nas Américas. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 15., 2014, Maceió, AL. **Anais [...]**. Maceió, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301433638_Panorama_do_zoneamento_bioclimatico_nas_americas. Acesso em: 3 abr. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Global temperature record streak continues, as climate change makes heatwaves more extreme**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://wmo.int/media/news/global-temperature-record-streak-continues-climate-change-makes-heatwaves-more-extreme>. Acesso em: 2 mar. 2025.

WRIGHT, Caradee Y.; KAPWATA, Thandi; MAHLANGENI, Nomfundo; NAIDOO, Natasha; WEBSTER, Candice. Assessing heat-related health perceptions in the minibus taxi industry in Tshwane, South Africa. **South African Journal of Science**, [s. l.], v. 120, n. 11/12, art. 18030, 2024. DOI: 10.17159/sajs.2024/18030.

YI, Shengao; LI, Xiaojiang; LI, Donghang; DONG, Xinyu; WANG, Ruoyu; XU, Qian. Hyperlocal heat stress around bus stops in Philadelphia: Insights from spatio-temporal microclimate modeling and explainable AI. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 122, art. 102341, 2025. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2025.102341.

YU, Yichen; DE DEAR, Richard. Thermal respite for pedestrians in overheated urban environments – introduction of a dynamic analysis of outdoor thermal comfort. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 86, art. 104149, nov. 2022. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104149. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670722004620>. Acesso em: 8 mar. 2026.

XAVIER, T. C. A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ENVI-MET NOS ESTUDOS DO PLANEJAMENTO E DO MICROCLIMA URBANO. 2021. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. d.], 2021.

ZHANG, J. *et al.* Inequality of global thermal comfort conditions changes in a warmer world. **Earth's Future**, v. 11, n. 2, p. e2022EF003109, 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

Questionário aplicado aos usuários

Título do instrumento: Avaliação de Conforto Térmico e Infraestrutura em Pontos de Ônibus – Foz do Iguaçu

Apresentação ao respondente: Este questionário tem como objetivo avaliar a percepção dos usuários sobre a infraestrutura e o conforto térmico em pontos de ônibus de Foz do Iguaçu, considerando condições de verão e inverno. As respostas são anônimas e utilizadas apenas para fins de pesquisa acadêmica.

Observação: * Indica uma pergunta obrigatória.

A) PERFIL DO USUÁRIO

1a) Faixa etária * (resposta única)

- 0–18 anos
- 19–40 anos
- 41–60 anos
- Mais de 60 anos

2a) Gênero * (resposta única)

- Masculino
- Feminino
- Outro

B) USO DOS PONTOS DE ÔNIBUS

1b) Com que frequência você utiliza os pontos de ônibus? * (resposta única)

- Todos os dias
- Um dia por semana
- Vários dias na semana
- Alguns dias por mês
- Esporadicamente
- Nunca utilizo

2b) Qual o tempo médio de espera no ponto de ônibus? * (resposta única)

- 01–15 minutos
- 15–30 minutos
- 31–60 minutos
- Mais de 60 minutos

3b) Em que período do dia você mais utiliza os pontos? (múltipla escolha)

- Manhã
- Tarde
- Noite

C) INFRAESTRUTURA DOS PONTOS DE ÔNIBUS

Instrução: De acordo com a figura a seguir responda a próxima pergunta:



Agrupamentos geométricos

- (C) Cobertura;
- (CP) Cobertura e Fechamento Posterior;
- (CPL) Cobertura, Fechamento Posterior e Lateral;
- (CPLF) Cobertura, Fechamento Posterior, Lateral e Frontal;
- (CLM) Ponto de ônibus climatizado;
- (SC) Sem cobertura

1c) Qual das tipologias apresentadas de ponto de ônibus vocês geralmente utiliza em Foz do Iguaçu? * (múltipla escolha)

- C
- CP
- CPL
- CPLF
- CLM
- SC
- Outro: _____

2c) Quais desses itens você já percebeu que estavam ausentes em algum ponto de ônibus que utilizou? * (múltipla escolha)

- Nenhum
- Bancos
- Cobertura (telhado)
- Fechamentos laterais (paredes)
- Iluminação
- Informações visuais

3c) Se você assinalou algum item que falta na alternativa anterior, descreva mais sobre sua resposta: (resposta aberta)

4c) Seguindo os critérios mencionados anteriormente, como você avalia a infraestrutura nos pontos de ônibus: * (resposta única)

- Excelente
- Bom
- Ruim
- Péssimo

D) CONFORTO E QUALIDADE DO AMBIENTE

1d) De acordo com a sua experiência, avalie os seguintes critérios em uma escala de 1 a 5 (1 é péssimo e 5 é excelente). * (matriz (resposta única por linha))

Escala: 1 (péssimo) – 2 – 3 (médio) – 4 – 5 (excelente)

Critério	1	2	3	4	5
Conforto térmico	()	()	()	()	()
Conforto acústico	()	()	()	()	()
Conforto visual	()	()	()	()	()
Manutenção	()	()	()	()	()
Acessibilidade	()	()	()	()	()
Materiais utilizados	()	()	()	()	()
Segurança	()	()	()	()	()
Identidade visual	()	()	()	()	()

E) CONFORTO TÉRMICO

A seguir, serão apresentadas perguntas relacionadas ao conforto térmico nos pontos de ônibus, sendo as questões de 1e e 2e referentes às condições de verão, e as questões de 3e a 4e às condições de inverno.

1e) Verão – Quando uso um ponto de ônibus eu geralmente sinto: * (múltipla escolha)

- Muito frio
- Frio
- Frescor

- Um pouco de frescor
- Neutro
- Ligeiramente quente
- Quente
- Calor
- Muito calor

2e) Verão – Quanto à temperatura, eu acho os pontos de ônibus: * (resposta única)

- Muito desconfortáveis
- Desconfortáveis
- Ligeiramente desconfortáveis
- Neutro
- Ligeiramente confortáveis
- Confortáveis
- Muito confortáveis

3e) Inverno – Quando uso um ponto de ônibus eu geralmente sinto: * (múltipla escolha)

- Muito frio
- Frio
- Frescor
- Um pouco de frescor
- Neutro
- Ligeiramente quente
- Quente
- Calor
- Muito calor

4e) Inverno – Quanto à temperatura, eu acho os pontos de ônibus: * (resposta única)

- Muito desconfortáveis
- Desconfortáveis
- Ligeiramente desconfortáveis
- Neutro
- Ligeiramente confortáveis
- Confortáveis
- Muito confortáveis

F) SENSAÇÃO DE PROTEÇÃO CONTRA O CLIMA

1f) Em relação à proteção contra condições climáticas (como sol forte, vento ou chuva), como você avalia os pontos de ônibus que costuma utilizar? * (múltipla escolha)

- Excelente proteção
- Boa proteção, mas poderia ser melhor
- Protege parcialmente (ex.: somente chuva, mas não do sol)
- Pouca proteção
- Nenhuma proteção

G) Gostaria de falar mais alguma coisa sobre os pontos de ônibus em Foz do Iguaçu?
(resposta aberta)

APÊNDICE B – RESUMO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS E DOS COMPONENTES DAS SIMULAÇÕES

Elemento modelado	λ (W/m·K)	Cap. térmica volumétrica (MJ/m ³ ·K)	Albedo	Emissividade	z0 (m)	G1				G2				G3				Ponto de ônibus novo (Fachada Oeste /Leste)	Ponto de ônibus novo (Fachada Norte/ Sul)
						A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
Árvore	--	--	--	--	--									X	X	X	X	x	x
Asfalto convencional	0,75	2,116	0,10	0,90	0,01	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	X
Asfalto em concreto (parada de ônibus)	1,60	2,30	0,50	0,90	0,01					X	X	X	X					x	X
Edificação	0,90	1,512	0,15	0,92	0,02									X	X	X	X		
Gramma	--	--	0,23	0,95	--	X	X			X	X			X	X			x	x
Passeio público em concreto (paver)	1,2	1,6	0,35	0,92	0,015	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	x
Pavimentação em concreto	1,60	2,0	0,45	0,90	0,01		x	x	x		x	x	x		x	x	x		
Ponto de ônibus (telhado)	0,40	1,68	0,35	0,90	0,01	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Ponto de ônibus (telhado verde)	--	--	0,2	0,97	--													x	x
Ponto de ônibus	1,00	1,875	0,05	0,90	--													x	x

Elemento modelado	λ (W/m·K)	Cap. térmica volumétrica (MJ/m ³ ·K)	Albedo	Emissividade	z0 (m)	G1				G2				G3				Ponto de ônibus novo (Fachada Oeste /Leste)	Ponto de ônibus novo (Fachada Norte/ Sul)
						A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
(fechamento lateral em vidro)																			
Ponto de ônibus (fechamento frontal metálico)	72,00	3,63	0,60	0,25	0,02													x	
<p>Nota: λ = Condutividade térmica do material; Cap. térmica volumétrica: Capacidade térmica volumétrica do material; Albedo: Fração da radiação solar refletida pela superfície; Emissividade: Capacidade da superfície de emitir radiação térmica de onda longa; z0= Comprimento de rugosidade aerodinâmica da superfície no modelo; X = presença do elemento no respectivo cenário; (- -): Dado não aplicável ou não disponível diretamente nessa categoria do banco de dados do ENVI-met. Para os materiais de parede e cobertura, o valor apresentado na coluna “Albedo” corresponde ao parâmetro <i>Reflection</i> do banco de dados do ENVI-met.</p>																			

Fonte: Autor, 2026.