



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GEANDERSON BARBOZA LIMA

INFLUÊNCIA NO MICROCLIMA URBANO:
PAVIMENTO ASFÁLTICO E PAVIMENTO INTERTRAVADO

CRATEÚS

2025

GEANDERSON BARBOZA LIMA

INFLUÊNCIA NO MICROCLIMA URBANO: PAVIMENTO ASFÁLTICO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus de Crateús, como exigência parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira.

CRATEÚS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- L698i Lima, Geanderson Barboza.
Influência no microclima urbano: pavimento asfáltico e pavimento
intertravado / Geanderson Barboza Lima. – 2025.
152 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de
Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2025.
Orientação: Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira.
1. ilha de calor urbana; microclima urbano; pavimento urbano; conforto térmico; ENVI-MET.
CDD 620
-

AGRADECIMENTOS

Começo os agradecimentos sendo grato ao meu bondoso Deus, que, durante toda a minha graduação, se fez presente em minha vida. Mesmo nunca tendo merecido, Ele foi minha companhia nos momentos de solidão e renovou minha alegria nos períodos de tristeza. Quando desanimado, com saudade do meu lar e daqueles que amo, foi Ele quem me ajudou a manter o foco e continuar tomando a firme decisão de não desistir. Sempre que pedi, Ele me ajudou a cumprir minhas responsabilidades acadêmicas, mesmo quando eu achava que não conseguiria. Em resumo, se estou conseguindo esta formação, é por conta do grande amor de Deus por mim. Devo essa graduação — e a minha vida — a Ele. Obrigado, meu Deus.

Agradeço também à minha querida mãe, Zilda Lima, por tanto amor e zelo por mim durante toda a minha graduação e por toda a vida. Obrigado por sempre me animar nos momentos de tristeza, mesmo quando, por dentro, seu coração também estava triste. Sou grato por sempre acreditar em mim e me incentivar a buscar ser alguém melhor. Sou eternamente grato por sua vida, minha amada mãe.

Ao meu estimado pai, Gean Barboza, sou grato pelo grande exemplo de homem que sempre foi para mim, por, juntamente com minha mãe, sempre me aconselhar sobre o que era certo a se fazer. Agradeço por todo o seu esforço, por cada gota de suor derramada por mim, para que hoje eu pudesse conquistar o título de engenheiro civil. Mesmo com um jeito, às vezes ríspido, vejo claramente seu amor por mim e o desejo de me ver crescer. Sou grato por sua vida, meu amado pai.

À minha preciosa namorada, Naraiane Mesquita, agradeço por todas as vezes que me fez sorrir — gestos que renovavam meu ânimo, mesmo à distância. Obrigado por ser um exemplo de pessoa, alguém que me inspira a ser melhor e que tanto me ensinou, mesmo de longe. Obrigado por sua paciência ao longo desses anos e, sobretudo, por seu amor. Sou grato por sua vida, minha amada namorada.

Agradeço à minha tia-avó, Marina Barboza, que, mesmo tendo me conhecido em um breve momento, me acolheu em seu lar e, durante muito tempo, cuidou de mim como se me conhecesse desde criança. Obrigado por todas as refeições que preparou, por lavar minhas roupas, pelas conversas repletas de histórias e pelos momentos de risadas. Obrigado por ter se tornado minha amiga e tornado minha jornada na universidade mais leve e tranquila. Como eu sempre lhe dizia, você sempre ficará guardada em minha memória. Sou grato por sua vida, minha querida tia.

Ao meu tio-avô Teobaldo, o tio “Baldinho”, agradeço por todas as conversas que tivemos, pelas vezes em que me levou em suas pescarias e me fez rir com suas histórias, pelas visitas ao seu roçado e pela alegria em compartilhar comigo sua lavoura. Obrigado por todo o carinho, meu estimado tio. Você também tornou minha jornada universitária mais leve e agradável. Obrigado, meu querido tio.

A todos da minha família — meu irmão, avós, tios e tias — e aos meus amigos, que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir firme nessa caminhada, deixo aqui o meu sincero e profundo agradecimento. O apoio de vocês foi essencial nessa jornada.

Aos meus amigos e colegas universitários, que tanto me ajudaram ao longo dessa caminhada, minha eterna gratidão. Desejo sucesso a todos e espero poder retribuir toda a ajuda que recebi.

Agradeço ao meu professor e orientador, Jorge Luis, por todas as orientações e pela paciência durante a realização deste trabalho.

Agradeço também ao meu amigo Bhreno Pontes, por ceder seu espaço de trabalho, oferecendo todo conforto necessário. Você foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e pelas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

“Não olhe para o vento forte, nem para o mar revoltoso. Olhe para Cristo. No momento de dificuldade, não foque sua atenção no problema ou em como a situação pode piorar. Concentre-se, confie em Jesus e em como Ele pode mudar tudo. Entregue sua situação problemática e a sua vida para Jesus.”

RESUMO

Diante dos impactos negativos das altas temperaturas nos centros urbanos e da necessidade de estratégias sustentáveis para mitigar o fenômeno da ilha de calor urbana, este estudo analisou a influência de diferentes tipos de pavimentação sobre o microclima urbano, com ênfase na temperatura potencial do ar e no conforto térmico de pedestres. Para isso, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software ENVI-MET (versão 5.5.1) em uma área hipotética localizada no município de Crateús, Ceará. Foram comparadas duas estratégias de pavimentação: o pavimento asfáltico e o pavimento de blocos intertravados, ambos com características distintas de albedo e emissividade. Os resultados mostraram que o pavimento intertravado apresentou tendência a temperaturas mais amenas durante o período diurno, enquanto o pavimento asfáltico demonstrou maior absorção e retenção de calor ao longo do dia. Em relação ao conforto térmico, as diferenças entre os dois tipos de pavimento foram pouco significativas, permanecendo ambas as estratégias em condições de desconforto acentuado. Entre as limitações do estudo, destaca-se a simplificação de algumas variáveis no modelo computacional, que podem ter influenciado os resultados obtidos. Ainda assim, a pesquisa evidencia a importância da escolha adequada de materiais de pavimentação como medida de mitigação das ilhas de calor urbanas e reforça a necessidade de investigações futuras que explorem diferentes cenários urbanos e considerem parâmetros complementares para uma análise mais aprofundada.

Palavras-chave: ilha de calor urbana; microclima urbano; pavimento urbano; conforto térmico; ENVI-MET.

ABSTRACT

Given the negative impacts of high temperatures in urban centers and the need for sustainable strategies to mitigate the urban heat island phenomenon, this study analyzed the influence of different pavement types on the urban microclimate, focusing on air potential temperature and pedestrian thermal comfort. Computational simulations were performed using the ENVI-MET software (version 5.5.1) in a hypothetical area located in the municipality of Crateús, Ceará, Brazil. Two paving strategies were compared: asphalt pavement and interlocking concrete pavers, both with distinct albedo and emissivity characteristics. The results indicated that interlocking pavers tended to provide lower daytime temperatures, whereas asphalt pavement showed greater heat absorption and retention throughout the day. Regarding thermal comfort, the differences between the two pavement types were minor, with both strategies remaining under conditions of pronounced thermal discomfort. Among the study's limitations, the simplification of certain variables in the computational model may have influenced the results. Nevertheless, the research highlights the importance of appropriate pavement material selection as an effective measure to mitigate urban heat island effects and reinforces the need for further studies that explore different urban scenarios and include additional parameters for a more comprehensive analysis.

Keywords: urban heat island; urban microclimate; urban pavement; thermal comfort; ENVI-MET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil da ilha de calor urbano.	22
Figura 2 – Escala de sensação térmica segundo o índice PMV, conforme proposta de Fanger (1970).....	27
Figura 3 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos usados nas simulações.	29
Figura 4 – Mapa de localização do município de Crateús – CE.....	31
Figura 5 – Interface do modulo Spaces do software ENVI-MET Versão 5.5.1.....	32
Figura 6 – Vista 3D da modelagem referente ao cenário com pavimento asfáltico.	33
Figura 7 – Vista em planta da modelagem referente ao cenário com pavimento asfáltico.	34
Figura 8 – Interface do módulo Leonardo.	40
Figura 9 - Mapa de temperatura do ar do pavimento asfáltico às 15:00 horas.	41
Figura 10 - Mapa de temperatura do ar do pavimento de blocos intertravados às 15:00 horas.	42
Figura 11 - Variação das temperaturas máximas e mínimas ao longo do dia	43
Figura 12 - Mapa do índice PMV do pavimento asfáltico às 15:00 horas.	46
Figura 13 - Mapa do índice PMV do pavimento de blocos intertravados às 15:00 horas.	46
Figura 14 - Gráfico dos índices de conforto térmico (PMV) máximos e mínimos, simulados para os tipos de pavimento asfáltico e de blocos intertravados.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Módulos em que o ENVI-MET é baseado. Tabela.....	25
Tabela 2 – Parâmetros pessoais e ambientais utilizados no cálculo do PMV.	27
Tabela 3 – Umidade Relativa na estação de Crateús-Ce.	30
Tabela 4 – Tabela de estudos e albedos usados como fontes para escolha do valor de albedo.	35
Tabela 5 – Temperatura do ar e umidade utilizados na simulação, com base nos dados horários da estação meteorológica de Crateús – CE.....	36
Tabela 6 – Parâmetros dos individuais usados no BIOMET.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	Morfologia Urbana, materiais e o fenômeno das ilhas de calor	21
3.2	Índice PMV e avaliação do conforto térmico	26
4	METODOLOGIA	29
4.1	Caracterização da área de estudo	30
4.2	Modelagem.....	31
4.3	Etapa de simulação	35
4.4	Extração e análise dos resultados	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	Impacto na temperatura do ar.....	41
5.2	Índice de conforto PMV (<i>Predicted Mean Vote</i>).....	45
6	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE A — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 00:00 HORAS.	61
	APÊNDICE B — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 01:00 HORAS.	62
	APÊNDICE C — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 02:00 HORAS.	63
	APÊNDICE D — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 03:00 HORAS.	64
	APÊNDICE E — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 04:00 HORAS.	65
	APÊNDICE F — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO	
	ASFÁLTICO ÀS 05:00 HORAS.	66

APÊNDICE G — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 06:00 HORAS.	67
APÊNDICE H — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 07:00 HORAS.	68
APÊNDICE I — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 08:00 HORAS.	69
APÊNDICE J — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 09:00 HORAS.	70
APÊNDICE K — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 10:00 HORAS.	71
APÊNDICE L — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 11:00 HORAS.	72
APÊNDICE M — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 12:00 HORAS.	73
APÊNDICE N — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 13:00 HORAS.	74
APÊNDICE O — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 14:00 HORAS.	75
APÊNDICE P — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 16:00 HORAS.	76
APÊNDICE Q — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 17:00 HORAS.	77
APÊNDICE R — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 18:00 HORAS.	78
APÊNDICE S — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 19:00 HORAS.	79
APÊNDICE T — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 20:00 HORAS.	80
APÊNDICE U — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 21:00 HORAS.	81

APÊNDICE V — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 22:00 HORAS.	82
APÊNDICE X — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:00 HORAS.	83
APÊNDICE Y — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:59 HORAS.	84
APÊNDICE Z — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADDOS ÀS 00:00 HORAS.	85
APÊNDICE AA — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 01:00 HORAS.	86
APÊNDICE AB — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 02:00 HORAS.	87
APÊNDICE AC — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 03:00 HORAS.	88
APÊNDICE AD — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 04:00 HORAS.	89
APÊNDICE AE — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 05:00 HORAS.	90
APÊNDICE AF — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 06:00 HORAS.	91
APÊNDICE AG — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 07:00 HORAS.	92
APÊNDICE AH — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 08:00 HORAS.	93
APÊNDICE AI — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 09:00 HORAS.	94
APÊNDICE AJ — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 10:00 HORAS.	95
APÊNDICE AK — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 11:00 HORAS.	96

APÊNDICE AL — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 12:00 HORAS.....	97
APÊNDICE AM — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 13:00 HORAS.....	98
APÊNDICE AN — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 14:00 HORAS.....	99
APÊNDICE AO — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 16:00 HORAS.....	100
APÊNDICE AP — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 17:00 HORAS.....	101
APÊNDICE AQ — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 18:00 HORAS.....	102
APÊNDICE AR — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 19:00 HORAS.....	103
APÊNDICE AS — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 20:00 HORAS.....	104
APÊNDICE AT — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 21:00 HORAS.....	105
APÊNDICE AU — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 22:00 HORAS.....	106
APÊNDICE AV — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:00 HORAS.....	107
APÊNDICE AW — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:59 HORAS.....	108
APÊNDICE AX — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 01:00 HORAS.....	109
APÊNDICE AY — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 02:00 HORAS.....	110
APÊNDICE AZ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 03:00 HORAS.....	111

APÊNDICE BA — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 04:00 HORAS.....	112
APÊNDICE BB — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 05:00 HORAS.....	113
APÊNDICE BC — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 06:00 HORAS.....	114
APÊNDICE BD — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 07:00 HORAS.....	115
APÊNDICE BE — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 08:00 HORAS.....	116
APÊNDICE BF — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 09:00 HORAS.....	117
APÊNDICE BG — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 10:00 HORAS.....	118
APÊNDICE BH — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 11:00 HORAS.....	119
APÊNDICE BI — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 13:00 HORAS.....	120
APÊNDICE BJ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 14:00 HORAS.....	121
APÊNDICE BK — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 16:00 HORAS.....	122
APÊNDICE BL — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 17:00 HORAS.....	123
APÊNDICE BM — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 18:00 HORAS.....	124
APÊNDICE BN — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 19:00 HORAS.....	125
APÊNDICE BO — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 20:00 HORAS.....	126

APÊNDICE BP — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 21:00 HORAS.....	127
APÊNDICE BQ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 22:00 HORAS.....	128
APÊNDICE BR — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:00 HORAS.....	129
APÊNDICE BR — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 01:00 HORAS.	130
APÊNDICE BS — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 02:00 HORAS.	131
APÊNDICE BT — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 03:00 HORAS.	132
APÊNDICE BU — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 04:00 HORAS.	133
APÊNDICE BV — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 05:00 HORAS.	134
APÊNDICE BW — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 06:00 HORAS.	135
APÊNDICE BX — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 07:00 HORAS.	136
APÊNDICE BY — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 08:00 HORAS.	137
APÊNDICE BZ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 09:00 HORAS.	138
APÊNDICE CA — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 10:00 HORAS.	139
APÊNDICE CB — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 11:00 HORAS.	140
APÊNDICE CC — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 12:00 HORAS.	141

APÊNDICE CD — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 13:00 HORAS.	142
APÊNDICE CE — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 14:00 HORAS.	143
APÊNDICE CF — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 16:00 HORAS.	144
APÊNDICE CG — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 17:00 HORAS.	145
APÊNDICE CH — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 18:00 HORAS.	146
APÊNDICE CI — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 19:00 HORAS.	147
APÊNDICE CJ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 20:00 HORAS.	148
APÊNDICE CK — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 21:00 HORAS.	149
APÊNDICE CL — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 22:00 HORAS.	150
APÊNDICE CM — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:00 HORAS.	151
APÊNDICE CN — TABELA DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO (PMV) MÁXIMOS E MÍNIMOS, SIMULADOS PARA OS TIPOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E DE BLOCOS INTERTRAVADOS.....	152
APÊNDICE CO — TABELA DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO (PMV) MÁXIMOS E MÍNIMOS, SIMULADOS PARA OS TIPOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E DE BLOCOS INTERTRAVADOS.....	153

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado é um dos fatores que causam impactos ambientais que afligem a maioria dos centros urbanos. Entre esses impactos, destacam-se as ilhas de calor urbano (ICU), conforme citado por Lima (2018). Xu *et al.* (2021) afirmam que os centros urbanos possuem grandes áreas com revestimentos artificiais que absorvem e retêm calor e, quando combinadas com a falta de vegetação, favorecem o surgimento do fenômeno da ICU.

Além disso, Lombardo (1985), Gartland (2010) e Stewart e Oke (2012) descrevem as ICU como áreas urbanizadas que são mais aquecidas do que áreas vizinhas não urbanizadas, como, por exemplo, as zonas rurais. De acordo com Akbari *et al.* (2008) e Xu *et al.* (2021), as ICU provocam aumento da temperatura ambiente e, conseqüentemente, do desconforto térmico, além de reduzirem a qualidade do ar e aumentarem o consumo de energia elétrica para sistemas de refrigeração.

Oliveira (2021) relata que as ondas de calor acarretam diversas conseqüências negativas para a população, sobretudo no âmbito da saúde, como a ocorrência de hipertermia, doenças cardiovasculares e diferentes enfermidades respiratórias. Além disso, Agathangelidis, Cartalis, Santamouris (2019) demonstram que as ICU também podem acarretar complicações severas à saúde humana, podendo inclusive causar mortes devido às altas temperaturas.

Conforme Ferreira, Oliveira e Soares (2013), que demonstraram que um dos principais fatores que aceleram as alterações do clima são as atividades antrópicas. Gartland (2010) exemplifica tais atividades como: falta de vegetação, excesso de superfícies impermeáveis, características dos materiais de superfície, geometria urbana e aumento da poluição— todos fatores que contribuem para a formação e intensificação das ICU. Ademais, Rossi e Krüger (2005) afirmam que uma das razões que favorecem a formação das ilhas de calor urbano é o uso de materiais construtivos com alta absorvância, frequentemente aplicados em centros urbanos.

De acordo com Tsoka, Tsikaloudaki e Theodosiou (2018), indicaram no estudo dos mesmos que as áreas pavimentadas recobrem cerca de 60% das regiões centrais das cidades, o que evidencia a importância da escolha adequada dos materiais de revestimento do solo urbano. Ainda, conforme Celis *et al.* (2022), o crescimento urbano tem promovido a substituição de superfícies naturais por materiais que geram desconforto térmico. Os autores afirmam que, nas áreas urbanas, o solo é mais aquecido devido às atividades humanas, como o uso do pavimento asfáltico para revestimento do solo.

Segundo *et al.* (2021) complementam que o pavimento asfáltico, tradicionalmente utilizado como estratégia de pavimentação, possui cor escura e baixo albedo, o que o torna altamente absorvente da radiação solar. Isso faz com que ele armazene grande parte dessa radiação durante o dia, promovendo o aumento da sua temperatura interna e contribuindo para o aquecimento dos centros urbanos. Além disso, de acordo com Kowalski *et al.* (2020), os revestimentos asfálticos podem atingir temperaturas de até 65 °C durante o dia, sendo parte dessa energia térmica devolvida ao ambiente.

Segundo Mirzaei (2015), as estratégias de mitigação das ICU envolvem uma combinação de fenômenos complexos que interagem em várias escalas, desde a escala humana até a escala urbana e regional. Nesse sentido, Werneck e Romero (2018) destacam que a escala mais próxima da vivência humana revela a importância dos estudos sobre os microclimas urbanos. De acordo com Romero (2011), o microclima urbano pode ser definido como a alteração climática de uma determinada área provocada pela interação entre o ambiente construído e os elementos naturais existentes.

Assim, é evidente a importância dos estudos microclimáticos para que seja possível mitigar os efeitos das ICU. Ainda, Mirzaei (2015) destaca que, dentre as estratégias de mitigação mais estudadas, encontram-se a ventilação urbana, a substituição dos materiais de revestimento do solo por materiais frios e a inserção de espaços verdes. Reforçando essa afirmação, Akbari *et al.* (2008) apontam que tem se tornado cada vez mais comum a adoção de materiais com diferentes propriedades térmicas como estratégia para mitigação do calor urbano.

Desse modo, o pavimento de blocos intertravados tem sido utilizado como uma estratégia para mitigar as ICU. Esse fato é evidenciado de forma clara na literatura, como exemplificado no estudo de Peixoto *et al.* (2023), em que os autores ressaltaram que o pavimento de blocos intertravados foi adotado como uma possível alternativa para reduzir as altas temperaturas geradas pelo fenômeno da ICU na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, sendo considerado uma solução viável em substituição ao pavimento asfáltico, comumente empregado.

Com isso, torna-se evidente a necessidade de realizar estudos comparativos entre o pavimento asfáltico e o de blocos intertravados, a fim de identificar qual dessas estratégias apresenta maior eficácia na atenuação das altas temperaturas urbanas. Tais investigações são fundamentais para embasar a adoção de soluções mais eficientes na mitigação das ICU, contribuindo para a melhoria do conforto térmico e da qualidade de vida nos centros urbanos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência do pavimento asfáltico e de blocos intertravados no microclima urbano.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a área de estudo no município de Crateús-CE quanto às condições climáticas e urbanas.
- Simular, por meio do software ENVI-MET, os cenários de pavimento asfáltico e de blocos intertravados.
- Estimar a variação térmica nas proximidades da superfície dos diferentes tipos de revestimento.
- Quantificar o impacto dos revestimentos no conforto térmico dos pedestres.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Morfologia Urbana, materiais e o fenômeno das ilhas de calor

Segundo Fialho (2012), a expressão “Ilhas de Calor” foi criada em 1960 por Gordon Manley, que a utilizou ao comparar um mapa topográfico contendo cotas altimétricas de áreas com diferentes altitudes, onde os picos de calor se assemelhavam a ilhas, como pode ser observado na Figura 1.

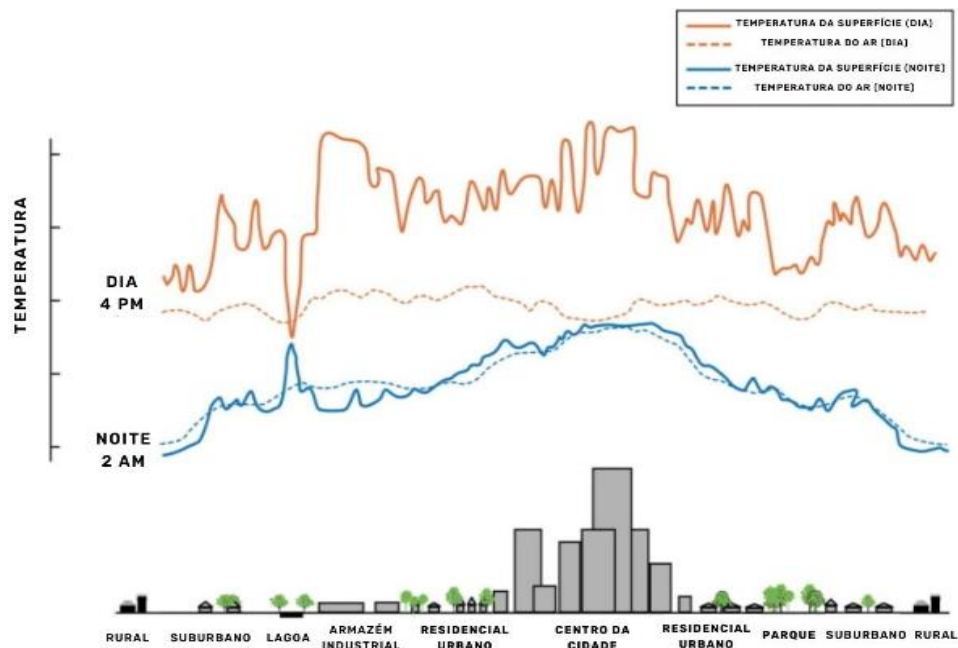
Conforme Vieira e Machado (2018), os estudos sobre Ilhas de Calor Urbanas (ICU) no Brasil tiveram início em 1985, com os trabalhos de Lombardo (1985), que utilizava imagens do satélite *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para monitorar a temperatura, e do satélite Landsat para mapear a cidade de São Paulo.

Oke (1987) define as ICU como irregularidades térmicas que apresentam variações nas dimensões horizontal, vertical e temporal. Ademais, Halder, Bandyopadhyay e Banik (2021) afirmam que as atividades antrópicas são as principais responsáveis pelas variações de temperatura em áreas urbanas, uma vez que alteram o uso e o revestimento natural do solo, além de concentrarem diversas atividades em um mesmo espaço.

Além disso, Khan e Simpson (2001) destacam que as mudanças climáticas impactam a dispersão de poluentes, a intensidade e o desenvolvimento de tempestades, bem como outros processos físicos e químicos nos centros urbanos, processos estes que ainda carecem de quantificação adequada.

Dessa forma, conforme Porto (2022), que se baseou em Stewart e Oke (2012), as causas das ICU estão relacionadas a diversos fatores. Um deles é a maior absorção da radiação solar, decorrente da presença de superfícies verticais construídas. Além disso, a retenção de radiação infravermelha nos cânions urbanos é intensificada pela redução do fator de visão do céu. Outro aspecto relevante é o aumento da absorção e o consequente atraso na liberação de calor pelas superfícies pavimentadas. Por fim, a queima de combustíveis, o uso de sistemas de ar-condicionado e a poluição industrial também contribuem para esse fenômeno, ao intensificarem a liberação de calor sensível e latente na atmosfera.

Figura 1 – Perfil da ilha de calor urbano.



Fonte: Adaptado de *Keeping Your Cool: How Communities Can Reduce the Heat Island Effect* (U.S. EPA, 2014).

Quanto ao clima urbano, Vianna (2018) destacou a importância de se analisar a morfologia urbana e seus atributos, afirmando que o campo térmico de uma cidade é formado a partir desses fatores. Pacifici (2019), ao citar Lowry (1967), apontou três fatores que alteram as variáveis climáticas: materiais altamente condutores, redução da evapotranspiração e a estrutura urbana em relação à energia solar.

Essas afirmações são reforçadas por Osaki, Sousa e Rodrigues (2016), que afirmam que a geometria urbana é um dos principais fatores para a formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU). Souza, Silva e Silva (2016) acrescentam que a urbanização transforma significativamente o fluxo de calor superficial, sendo a substituição da cobertura vegetal por revestimentos artificiais — especialmente pavimento asfáltico e concreto — o principal fator contribuinte para esse fenômeno.

Em sua pesquisa, Gartland (2010) aponta estratégias para mitigar as ICU, como: otimização do uso dos terrenos, melhor aproveitamento das propriedades térmicas dos materiais de revestimento e pavimentação, além do uso de cobertura vegetal e arborização para o resfriamento das áreas urbanas. Ainda, Vianna (2018), com base em Mirzaei (2015), destaca que os materiais de superfície e a morfologia urbana são as características de maior influência

no campo térmico das cidades, razão pela qual foram priorizadas em seu estudo para a proposição de recomendações voltadas à mitigação das ICU.

Corroborando essa perspectiva, Porto (2022) afirma que a morfologia urbana influencia diretamente o clima local, por meio de fatores como a disposição dos edifícios, o uso das vias e os materiais empregados na construção. Nesse mesmo contexto, o estudo de Peixoto *et al.* (2023), conforme citado anteriormente, analisou o uso de pavimento de blocos intertravados como estratégia de mitigação das ICU. Os autores destacam que a coloração mais clara desse tipo de pavimento contribui para a reflexão da radiação solar, reduzindo o aquecimento das superfícies pavimentadas.

De modo semelhante, Sousa, Osterno e Albuquerque (2017), ao realizarem uma pesquisa na cidade de Sobral (CE), comparando diferentes estratégias de pavimentação quanto à sua influência na temperatura urbana — entre elas, o pavimento asfáltico e o de blocos intertravados — concluíram que o asfalto foi o maior contribuinte para o aumento da temperatura e, portanto, para a formação das ICU. O estudo indicou que a substituição do pavimento asfáltico por blocos intertravados resultou em uma redução de aproximadamente 0,59 °C na temperatura média geral.

Ademais, conforme López (2020), as características dos materiais utilizados nas construções urbanas podem influenciar significativamente a emissão, reflexão e absorção da radiação solar, impactando diretamente o fenômeno das ICU.

Segundo Masiero (2014), o conceito de balanço térmico baseia-se na primeira lei da termodinâmica, segundo a qual, ao incidir sobre a superfície terrestre, parte da radiação solar é absorvida e outra parte é refletida. Lima (2018) complementa afirmando que em áreas cobertas por vegetação, a absorção de radiação é maior, funcionando como uma barreira à incidência direta da radiação na superfície. O autor observa ainda que cerca de 30% da radiação solar que atinge o topo da atmosfera é refletida, enquanto o restante é absorvido, resultando no aumento da temperatura. Esse fenômeno ocorre devido às propriedades térmicas dos materiais, que determinam a proporção da radiação que será refletida, absorvida ou transmitida.

A norma NBR 15220:2005, conforme a ABNT (2005), estabelece que a cor dos materiais é uma das características que influenciam a radiação solar: materiais de coloração clara tendem a absorver menos e refletir mais radiação solar que aqueles de coloração escura. Givoni (1994) reforça essa afirmação ao destacar que, em cidades densamente ocupadas, a maior parte das trocas de calor por radiação ocorre nas superfícies revestidas, o que torna essencial a escolha de materiais de revestimento com cores claras.

Meneses *et al.* (2012) destacam que a emissividade é uma das propriedades dos materiais que influenciam a redução do ganho de temperatura em centros urbanos. Segundo os autores, objetos com cores escuras apresentam menor refletância e, portanto, maior emissividade do que objetos com cores claras — refletância e emissividade são, nesse contexto, propriedades inversamente proporcionais. De acordo com a ABNT (2005), a NBR 15220:2005 define emissividade como o quociente entre a radiação emitida por uma superfície e a emitida por um corpo negro à mesma temperatura.

Além disso, Meneses *et al.* (2012) apontam o albedo como outra propriedade relevante na regulação térmica dos centros urbanos. Ribas, Santos e Branco (2023) definem albedo como a razão entre a radiação solar visível refletida por uma superfície e a radiação incidente. O albedo varia de 0 a 1, sendo que valores próximos de 0 indicam maior absorção e valores próximos de 1 indicam maior reflexão. Porto (2022) afirma que o albedo determina o percentual de radiação solar refletida por uma superfície, enquanto Kowalski (2019) o descreve como o índice de espalhamento da radiação de onda curta — a radiação solar, conforme Voogt e Oke (1997).

Ainda conforme a ABNT (2005), materiais com coloração clara apresentam, em geral, albedo mais elevado, o que aumenta sua refletância. Porto (2022) destaca que o albedo pode ser influenciado por fatores como a composição, cor e textura dos materiais, além da orientação da radiação solar, variando inclusive de acordo com a latitude do local. Romero (2009) também ressalta a importância do albedo no controle térmico urbano: quanto maior o albedo, maior a radiação refletida e menor a conversão dessa energia em calor.

Kolokotroni e Giridharan (2008), ao avaliarem a relação entre ICU e morfologia urbana, analisaram variáveis como área vegetada, densidade vertical, massa térmica, razão entre altura e largura das edificações (W/H) e albedo. Os resultados indicaram que o albedo das superfícies foi o fator com maior influência sobre as temperaturas, tanto no período diurno quanto no noturno. De modo semelhante, Taha (1997) constatou que revestimentos com albedo 0,72 (como os de coloração branca) podem ser até 45 °C mais frios que revestimentos com albedo 0,08 (como os de coloração preta). O autor ainda afirma que a substituição de um material com albedo 0,25 por outro com albedo 0,40 pode resultar em redução de temperatura de até 4 °C.

Gonzalez (2015) conclui que materiais com alto albedo podem ser utilizados como estratégia de mitigação das ICU, uma vez que absorvem menos energia, apresentando temperaturas superficiais mais baixas e, conseqüentemente, contribuindo para o resfriamento do ar e a redução do fenômeno.

Segundo Barbosa (2018), atualmente, os programas computacionais permitem a análise pós-ocupacional de projetos, bem como avaliações ainda na fase de concepção. Martins (2014) acrescenta que tais softwares possibilitam simular condições climáticas, o que facilitou os estudos da área, anteriormente realizados de forma manual. O autor destaca que esses programas permitem até mesmo a simulação do caminho solar, o que viabiliza análises de incidência solar e sombreamento.

Yang, Wang e Kaloush (2015) afirmam que a modelagem numérica por simulação computacional é um método metodologicamente confiável para estudos relacionados ao conforto térmico em ambientes externos. Lima (2018), ao empregar tais programas em sua pesquisa, constatou que as simulações computacionais permitem testar diferentes configurações urbanas e suas influências sobre o conforto térmico urbano. Atualmente, diversos softwares são utilizados para simulações climáticas, como os empregados por Lima (2018): ENVI-MET, SOLWEIG e Rayman.

De acordo com Porto (2022), o software mais utilizado atualmente para simulação climática de centros urbanos é o ENVI-MET, um modelo tridimensional de microclima desenvolvido por Bruse e outros pesquisadores do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum, em que o software possui uma versão gratuita com limitações de simulação e uma versão paga sem limitações. Segundo a autora, trata-se de uma das ferramentas mais completas para o cálculo do conforto térmico.

Torres (2017) informa que, a partir da versão 4.0, o ENVI-MET passou a considerar propriedades físicas como absorção, emissividade, reflexão, transmissão, coeficiente de transferência de calor e capacidade térmica específica. Schmitz (2014) complementa, destacando que o software realiza simulações considerando a superfície terrestre e a atmosfera até uma altitude máxima de 2.500 metros. No entanto, Emmanuel, Rosenlund e Johansson (2007) apontam essa limitação como um possível fator de subestimação das temperaturas simuladas, já que os parâmetros iniciais permanecem fixos nessa altitude durante toda a simulação.

Ainda, segundo Torres (2017), o ENVI-MET é estruturado em cinco módulos principais, os quais estão representados na Tabela 01 a seguir.

Tabela 1 – Módulos em que o ENVI-MET é baseado. Tabela

Módulo	Descrição
--------	-----------

Atmosférico	É simulado a velocidade e a direção do vento. Também é calculado a umidade e a temperatura do ar, os fluxos de radiação de onda curta e de onda longa.
Solo	É calcula a temperatura de superfícies, e os processos de transmissão e absorção de radiação de onda curta em corpos d'água.
Vegetação	O banco de dados do software disponibiliza grama e vegetações 3D, onde a temperatura da folha é calculada através do balanço de energia.
Ambiente construído e sistema construtivo	As construções são simuladas por meio da modelagem 3D.
Módulo interno	O programa baseia-se em uma composição de malha ortogonal para representar o ambiente simulado.

Fonte: Adaptada de Torres (2017).

3.2 Índice PMV e avaliação do conforto térmico

Conforme Santos (2018), o índice de conforto PMV, ou *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Predito), foi desenvolvido por Fanger (1970), na Dinamarca, a partir de experimentos conduzidos em ambientes com condições climáticas controladas.

Ademais, segundo Santos *et al.* (2019), o índice PMV é um dos modelos mais amplamente utilizados em estudos de conforto térmico, estando, inclusive, presente em normas como a ISO 7730 (2005) — *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Esse índice representa o balanço térmico entre o corpo humano e o meio ambiente, sendo calculado com base em variáveis ambientais e nas características individuais da pessoa considerada na análise, conforme descrito na Tabela 02.

Além disso, o PMV também é contemplado na norma ANSI/ASHRAE Standard 55 — *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2017), o que reforça seu reconhecimento e ampla aceitação nos estudos relacionados ao conforto térmico.

De acordo com Xavier (2000), o PMV integra um conjunto de modelos baseados em princípios físicos de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente. Santos (2018) complementa que o índice PMV expressa as respostas fisiológicas e perceptivas do indivíduo frente as condições térmicas do meio. Essas respostas são representadas pela escala desenvolvida por Fanger (1970), a qual pode ser visualizada na Figura 2, onde valores próximos de zero indicam sensação de conforto térmico, enquanto valores positivos representam desconforto por calor e valores negativos, desconforto por frio. Ademais, valores que ultrapassam os limites de +3 e -3 da escala indicam condições extremas de desconforto térmico.

Tabela 2 – Parâmetros pessoais e ambientais utilizados no cálculo do PMV.

Parâmetros pessoais	Parâmetros ambientais
Taxa metabólica, (W)	Temperatura do ar, (°C)
	Temperatura radiante média, T_{rdmed} (°C)
Isolamento térmico das roupas, (clo)	Umidade relativa do ar, UR (%)
	Velocidade do vento, var (m/s)

Fonte: Adaptado de ENVI –MET (2023).

Figura 2 – Escala de sensação térmica segundo o índice PMV, conforme proposta de Fanger (1970).



Fonte: Adaptado de FANGER (1970).

O índice de conforto PMV é calculado por meio da equação desenvolvida por Fanger (1970), apresentada a seguir:

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

Onde:

PMV = Voto médio predito (adimensional)

M = Atividade realizada pelo indivíduo com sua taxa metabólica respectiva (W)

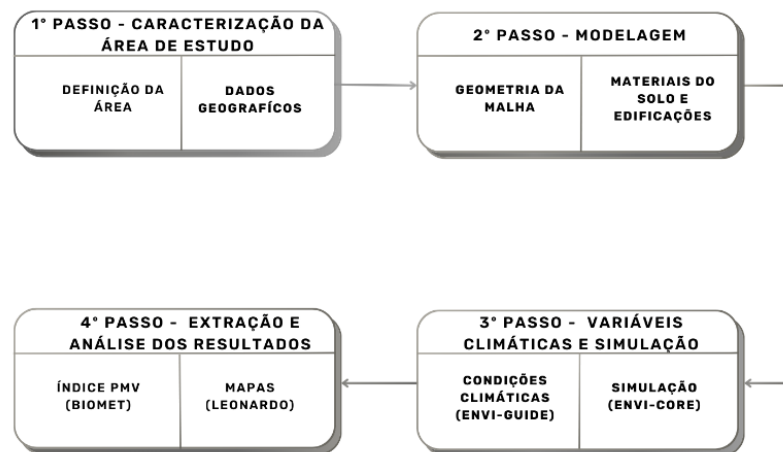
L = Carga térmica atuante sobre o corpo do indivíduo

Segundo Santos (2018), esse modelo é amplamente utilizado no meio científico. Além disso, Fanger e Toftum (2002) destacam que a principal vantagem do modelo PMV é a possibilidade de inclusão de diversas variáveis — tanto humanas quanto ambientais — que influenciam diretamente na percepção de conforto térmico. Dessa forma, o cálculo do PMV torna-se mais compatível com as condições reais, conferindo maior precisão às análises.

4 METODOLOGIA

O método consistiu na simulação computacional por meio do software ENVI-MET, versão 5.5.1 gratuita, tendo como base o guia metodológico de Silva *et al.* (2022) para a realização das simulações. Além disso, com o objetivo de evidenciar de forma mais clara os procedimentos metodológicos adotados, foi elaborado um fluxograma, apresentado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos usados nas simulações.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.1 Caracterização da área de estudo

A área escolhida para a realização das simulações microclimáticas está localizada no município de Crateús, no estado do Ceará, situado na região Nordeste do Brasil, conforme pode ser observado no mapa de localização do município apresentado na Figura 4. Ainda, conforme Lopes e Oliveira (2023), que realizou o levantamento das coordenadas geográficas de diversas localidades no município, a latitude e a longitude de Crateús são, aproximadamente, -5.177171769557156 e -40.66461094216895, respectivamente. Para este estudo, optou-se por realizar as simulações considerando uma área hipotética situada em Crateús.

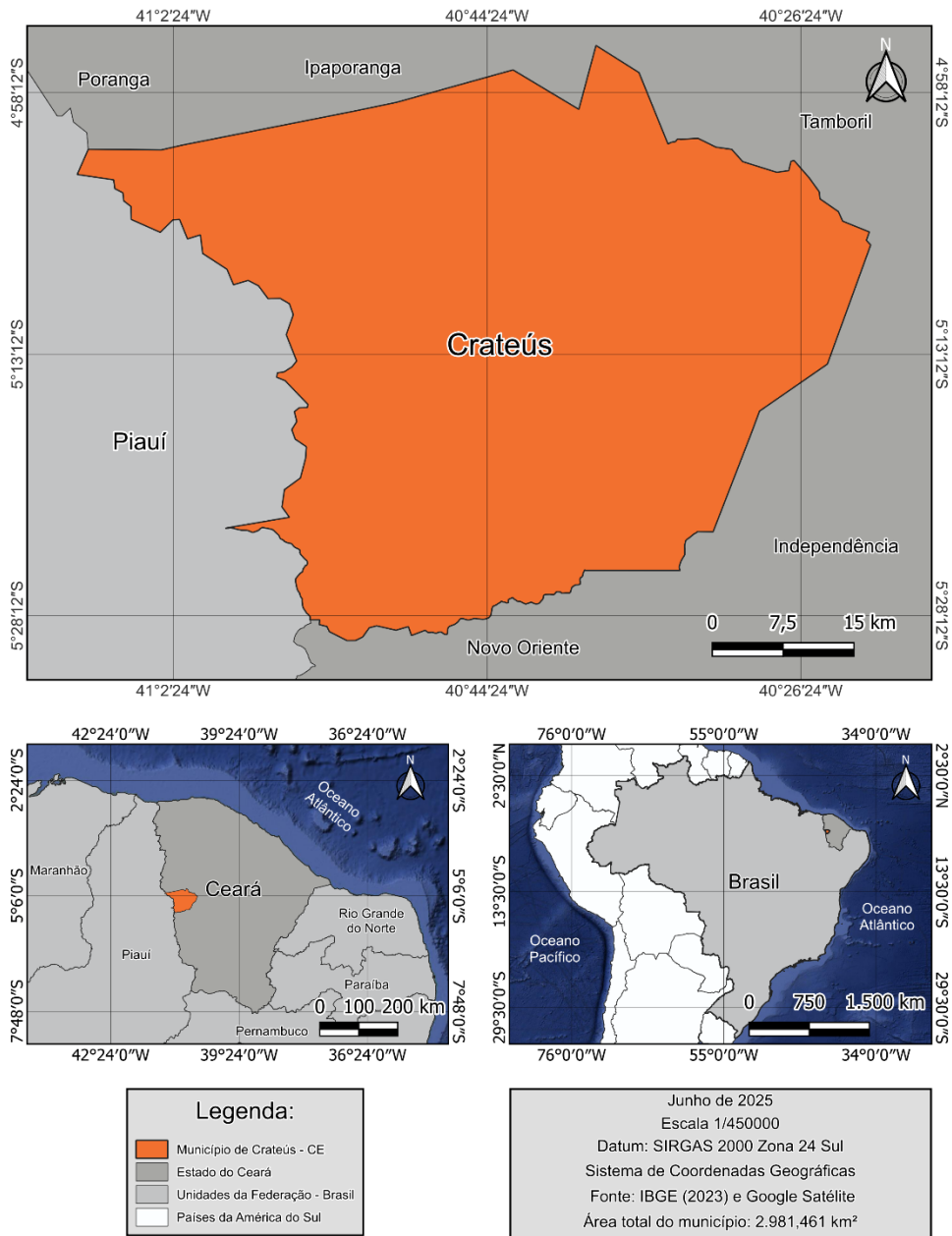
Além disso, Rodrigues (2024), utilizando a classificação climática de Köppen, categorizou o clima da cidade como BSh, caracterizando-o como semiárido, seco e quente. Complementarmente, segundo a Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado do Ceará – ARCE (2022), o município apresenta uma pluviosidade média anual de 731,2 mm, com temperaturas médias variando entre 26 °C e 28 °C. Por fim, de acordo com a Secretaria dos Recursos Hídricos e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH (2021), Crateús possui uma umidade relativa do ar média anual de 59,5%, sendo o período menos úmido registrado no segundo semestre do ano, entre os meses de setembro e novembro, com umidades de 43,1%, 42,4% e 44,4% respectivamente, como é possível observar na Tabela 03 a seguir.

Tabela 3 – Umidade Relativa na estação de Crateús-CE.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
Umidade (%)	62,9	70,8	76,7	81,1	73,8	64,5	54,7	47,8	43,1	42,4	44,4	51,8	59,5

Fonte: Adaptada de INMET, 2018.

Figura 4 – Mapa de localização do município de Crateús – CE.



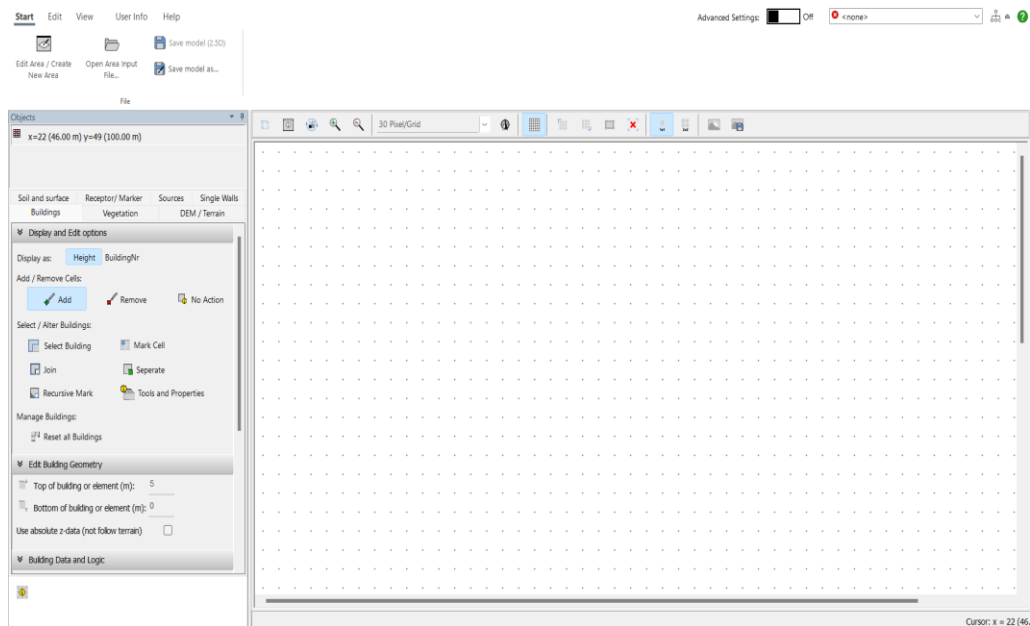
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.2 Modelagem

A modelagem da área de simulação foi realizada por meio de um dos módulos do ENVI-MET, no caso o *Spaces*, cuja interface pode ser observada na Figura 5. É possível notar que o *Spaces* é estruturado sobre uma malha de pixels. Neste estudo, por ter sido utilizada a versão

gratuita do software, houve um limite de 50x50x40 pixels para a modelagem. Todavia, seguiu-se a recomendação de Silva *et al.* (2022), que orienta ser necessário deixar um pixel de borda. Conforme a documentação oficial do ENVI-MET (2017), essa prática é importante para minimizar os efeitos de contorno e a instabilidade nas áreas próximas ao limite da malha de modelagem. Assim, as medidas utilizadas para a área de modelagem neste estudo foram de 49x49x39 pixels. Ao configurar o módulo Spaces, adotou-se uma medida de 2x2 metros para cada pixel da malha. Dessa forma, a área modelada correspondeu a uma medida real de 98x98x78 metros. Também é necessário configurar o Norte geográfico da área modelada conforme o da área real simulada; como neste estudo se adotou uma área hipotética, optou-se por um valor de Norte arbitrário.

Figura 5 – Interface do modulo Spaces do software ENVI-MET Versão 5.5.1.

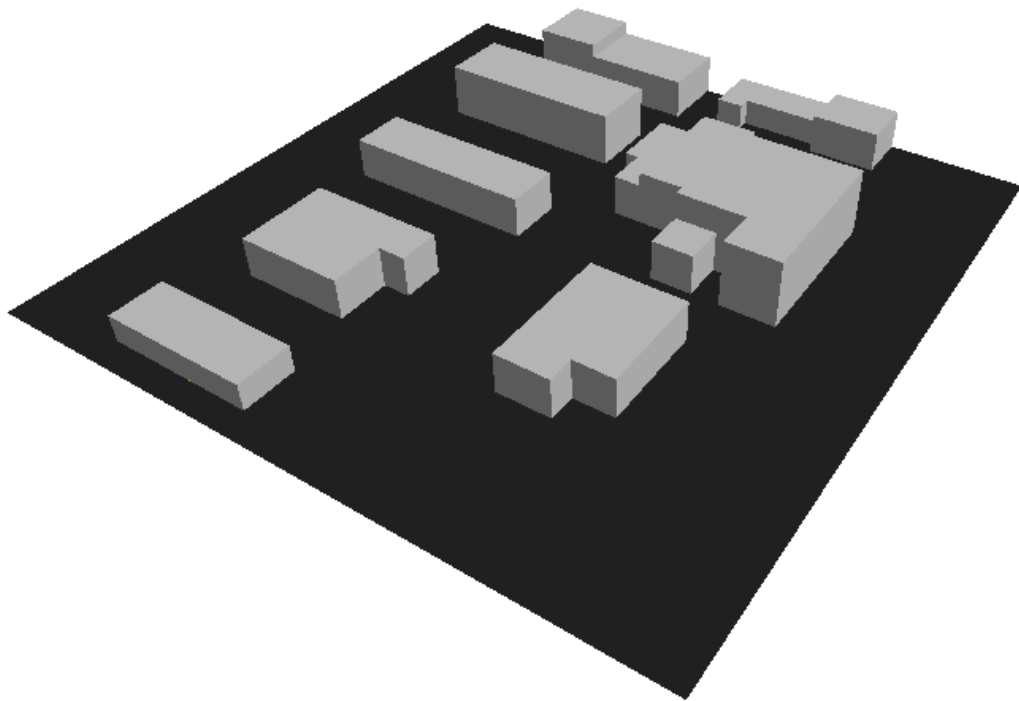


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As estratégias de pavimentação utilizadas nas simulações foram: pavimento asfáltico e pavimento de blocos intertravados. Para a modelagem do cenário, utilizou-se o material padrão do programa para representar as paredes e coberturas das edificações, no caso o *Default Wall – moderate insulation*, sendo essas modeladas com alturas entre 4 e 10 metros. Neste estudo, optou-se por revestir toda a área de cobertura do solo da simulação com a estratégia de pavimentação correspondente a cada cenário, exceto o solo localizado abaixo das edificações, no qual se utilizou o material *Loamy Soil*, que representa o solo argiloso na base

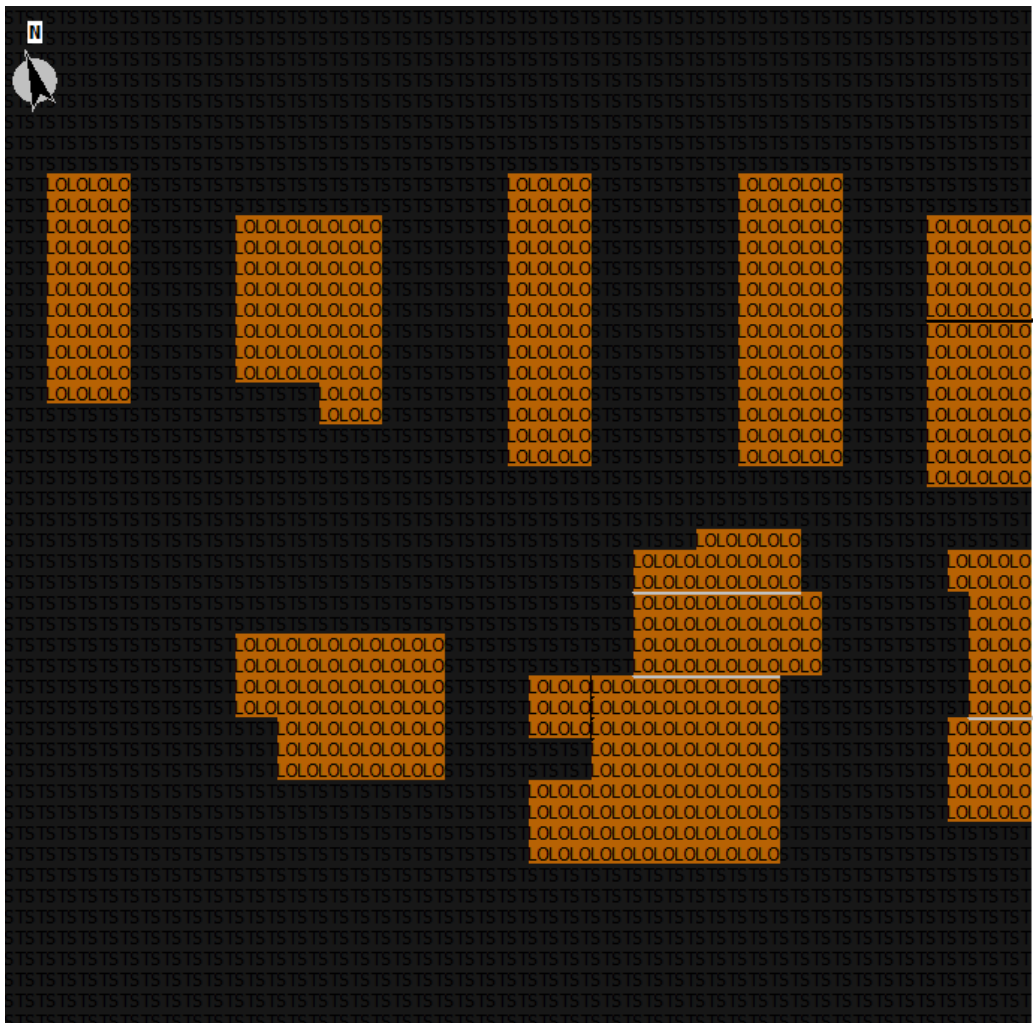
de dados do programa. A decisão de cobrir quase toda a área simulada com a estratégia específica de pavimentação foi tomada com o intuito de possibilitar uma observação mais nítida da influência do tipo de revestimento do solo na temperatura do ar e no conforto térmico da área. Seguiu-se também a orientação de Ribas, Santos e Branco (2023), cujo estudo não obteve diferenças significativas de temperatura entre os tipos de pavimento simulados, recomendando, portanto, que pesquisas posteriores aumentem o percentual de área pavimentada em relação à área total simulada. A seguir, é possível observar, nas Figuras 6 e 7, um exemplo da modelagem realizada neste estudo. As imagens referem-se à simulação no software ENVI-MET desenvolvida para o cenário com pavimento asfáltico.

Figura 6 – Vista 3D da modelagem referente ao cenário com pavimento asfáltico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 7 – Vista em planta da modelagem referente ao cenário com pavimento asfáltico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Assim, para o pavimento asfáltico, foi utilizado o material correspondente do ENVI-MET, denominado *Asphalt Road*. No entanto, decidiu-se editar suas propriedades utilizando o módulo de edição de materiais do ENVI-MET, o *Materials and Objects Library*, no qual foram adotados os seguintes valores: rugosidade de 0,01 (valor padrão do programa), emissividade de 0,94, conforme Xu *et al.* (2021), e albedo de 0,15, com base no estudo de Callejas, Durante e Rosseti (2015), que se basearam em Oke (1987), que listam valores de albedo para pavimentos asfálticos variando entre 0,05 e 0,20.

Para o pavimento de blocos intertravados, foi adaptado o material do ENVI-MET referente ao pavimento de concreto, no caso o *Concrete Pavement Light*. Utilizando novamente o módulo de edição do programa, foram mantidos os valores padrão de rugosidade e

emissividade do ENVI-MET (0,01 e 0,90, respectivamente). Todavia, optou-se por consultar a literatura técnica para embasamento na definição do valor de albedo a ser utilizado para este pavimento. Foram levantadas dez pesquisas, cujos autores e valores de albedo utilizados podem ser observados na Tabela 04 a seguir, a partir dessa análise, definiu-se que o albedo adotado neste estudo para o pavimento de blocos intertravados seria de 0,45.

Por fim, não foi utilizada vegetação de qualquer tipo na área simulada. Essa decisão visou, novamente, possibilitar a observação clara e direta apenas da influência dos tipos de pavimentação nas temperaturas e nos índices de conforto térmico simulados.

Tabela 4 – Tabela de estudos e albedos usados como fontes para escolha do valor de albedo.

Autor(es)	Albedo utilizado
(Jung, 2024)	0,200
(Ghenai <i>et al.</i> , 2023)	0,240
(Qin, 2015)	0,200 – 0,300
(Bai <i>et al.</i> , 2022)	0,282
(Kowalski <i>et al.</i> , 2021)	0,240
(Yahia, Sakr e El-Shorbagy, 2015)	0,250 - 0,400
(Kimijima <i>et al.</i> , 2009)	0,400
(Wardeh <i>et al.</i> , 2022)	0,250 – 0,280
(Santamouris, Synnefa & Karlessi, 2011)	0,450 – 0,490
(Alchapar, Correa & Cantón, 2015)	1º ano: 0,600; 2º ano: 0,460

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.3 Etapa de simulação

A simulação foi realizada para o período seco da cidade de Crateús – CE, que ocorre nos meses de setembro a novembro, conforme a Secretaria dos Recursos Hídricos e a COGERH (2021). Mais precisamente, a simulação foi executada com base na data de 2 de outubro de 2023.

Ademais, para a inserção dos dados meteorológicos no software ENVI-MET, foi necessário utilizar um de seus módulos, o *ENVI-GUIDE*, responsável pela inclusão das

variáveis climáticas da simulação. Como neste estudo foi utilizada a versão gratuita do programa, houve uma limitação no processo de simulação, sendo possível apenas a utilização do método *Simple Forcing*. Na versão completa do software, é possível utilizar o método *Full Forcing*, que, segundo Silva *et al.* (2022), apresenta alta precisão.

Além disso, é possível escolher o período exato do dia a ser simulado. Nesta pesquisa, optou-se por simular as 24 horas do dia, a fim de possibilitar a observação e análise da influência das estratégias de pavimentação ao longo de todo o período.

Foram utilizados dados históricos anuais do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2023), referentes à estação meteorológica de Crateús – CE, para a obtenção das variáveis climáticas do município. A temperatura do ar e a umidade relativa do ar utilizadas para cada hora do dia simulado estão apresentadas na Tabela 05.

Além disso, foram inseridos o valor de velocidade do vento definido em 2,51 m/s e da direção do vento vindo de 80°, em que ao considerar que a direção do vento a 0° é vindo do Norte, a direção escolhida para este estudo é do vento vindo da direção leste-nordeste (ENE), conforme INMET (2023). Também foi necessária a inserção da umidade atmosférica a 2.500 metros de altitude, cujo valor adotado foi de 2,04 g/kg, conforme dados da *University of Wyoming* ([s.d.]).

Tabela 5 – Temperatura do ar e umidade utilizados na simulação, com base nos dados horários da estação meteorológica de Crateús – CE.

Horário	Temperatura do ar (°C)	Umidade (%)
00:00	30,4	32
01:00	29,6	40
02:00	28,2	53
03:00	26,6	59
04:00	25,5	62
05:00	24,8	69
06:00	24,6	69
07:00	25,0	68
08:00	25,3	67
09:00	25,0	68

10:00	26,1	61
11:00	26,6	60
12:00	28,9	51
13:00	31,3	43
14:00	32,1	38
15:00	34,6	34
16:00	35,6	28
17:00	36,6	27
18:00	36,9	25
19:00	36,1	24
20:00	35,7	25
21:00	34,1	27
22:00	32,6	29
23:00	31,4	31

Fonte: Dados adaptados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2023), referentes à estação de Crateús – CE.

Assim, após a preparação dos arquivos-base utilizando os módulos do software mencionados anteriormente, foi possível avançar para a etapa de simulação propriamente dita, na qual foi utilizado o módulo do ENVI-MET denominado *ENVI-CORE*. Esse módulo é o responsável por processar os dados espaciais, temporais e climáticos apresentados nos tópicos anteriores.

Com isso, o período de 24 horas selecionado para ser simulado em cada cenário demandou aproximadamente 12 horas de processamento computacional. O produto gerado pelo *ENVI-CORE* consiste em dados como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura superficial, entre outras variáveis. Esses resultados podem ser visualizados por meio de mapas gerados nos módulos que serão apresentados no tópico seguinte.

Neste estudo, optou-se por utilizar, especificamente, os dados referentes à temperatura do ar e ao índice de conforto PMV.

4.4 Extração e análise dos resultados

Ademais com o termino da simulação, o processo de extração e análise dos dados foi realizado por meio de dois módulos do ENVI-MET no caso o *Leonardo* e o *BIOMET*.

Neste estudo, foi utilizado o índice de conforto PMV para realizar as simulações e análises do conforto térmico dos cenários. Nessas simulações, utilizou-se o *BIOMET*, que permite a obtenção de tal índice. A descrição teórica do índice PMV foi abordada brevemente no referencial teórico. Todavia, conforme Xavier (2000), o índice de conforto PMV foi criado por Fanger (1970), a partir de análises estatísticas das condições térmicas preferidas pela maior parte da população, sendo denominado *Predicted Mean Vote* – Voto Médio Predito (PMV).

Ademais, segundo Gomes (2003), o PMV é um índice de conforto baseado em uma abordagem analítica, fundamentado no balanço térmico entre o corpo de um indivíduo e o ambiente em que ele se encontra. Dessa forma, representa a sensação térmica média de pessoas submetidas a condições ambientais controladas.

Optou-se por utilizar o índice PMV devido à sua aplicabilidade tanto para ambientes internos quanto externos, como é o caso deste estudo. Trata-se de um índice consolidado em normas, como a ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 55 (2017), sendo amplamente utilizado na literatura acadêmica. Exemplos disso são os estudos de Santos (2018), que aplicou o índice em ambientes internos, e Porto (2022), que o utilizou em ambientes externos.

Para o cálculo do PMV, conforme ENVI-MET (2017), como mostrado anteriormente na Tabela 02 o software se baseia em quatro parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Esses parâmetros são calculados com base nos dados climáticos apresentados anteriormente. Além disso, o ENVI-MET requer dois parâmetros pessoais — taxa metabólica e isolamento térmico das roupas — além das dimensões corporais da pessoa padrão utilizada na simulação. Os valores utilizados neste estudo para esses parâmetros podem ser observados na Tabela 06 a seguir.

Tabela 6 – Parâmetros dos individuais usados no BIOMET.

Parâmetros do corpo	Parâmetros de vestuário (clo)	Atividade	Biomet
Gênero: masculino	Isolamento estático externo: 0,50	Em pé e parado	Taxa basal: 84,49 W
Idade: 35 anos			Metabolismo do trabalho: 42,81 W
Altura: 1,75 m	Isolamento interno: 0,36		Taxa metabólica total: 127,30 W
Peso: 75 kg			

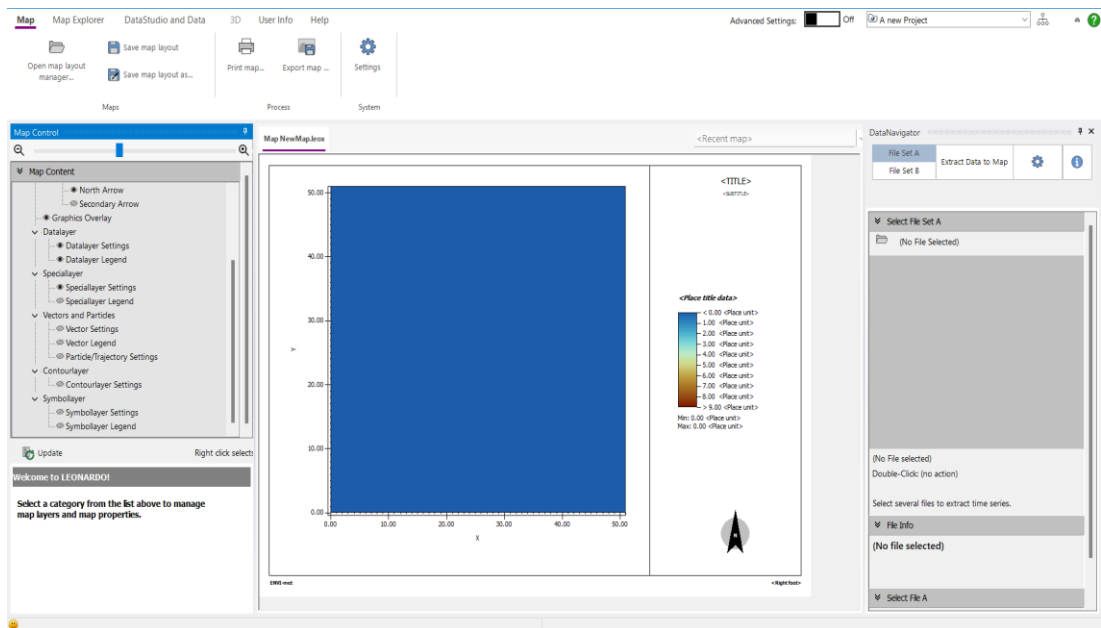
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Já o módulo *Leonardo* foi utilizado para a visualização dos dados analisados neste estudo, gerados por meio dos módulos *ENVI-core* e *BIOMET*, que, neste caso, correspondem à temperatura do ar e ao índice de conforto PMV, respectivamente.

O *Leonardo* permitiu que os dados gerados ao longo das 24 horas simuladas fossem convertidos em mapas, facilitando a análise dos efeitos térmicos de cada estratégia de pavimentação examinada neste trabalho.

Na Figura 8 a seguir, é possível observar a interface do módulo *Leonardo*.

Figura 8 – Interface do módulo Leonardo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

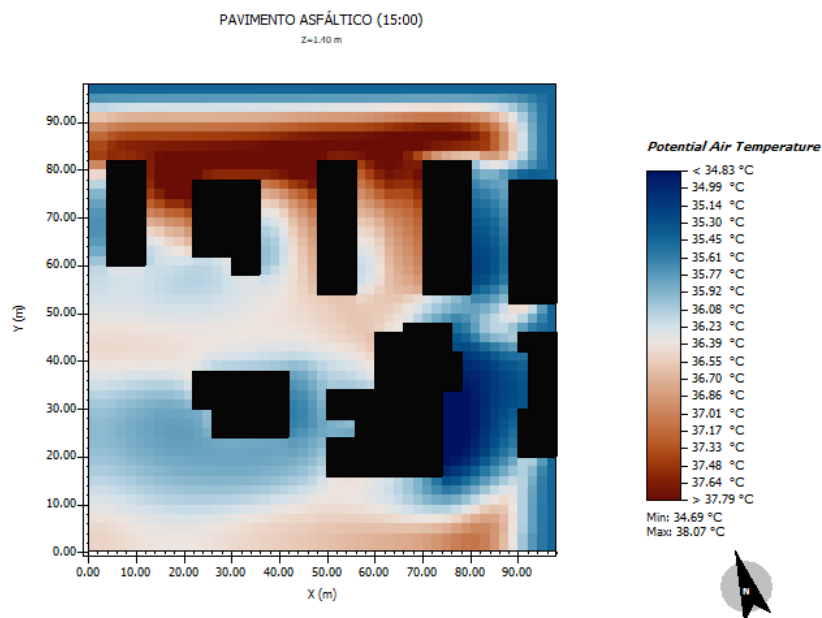
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Impacto na temperatura do ar

O produto da simulação consistiu em uma série de 24 mapas de temperatura potencial do ar, como os exemplificados nas Figura 9 e 10 a seguir, sendo que cada mapa corresponde a um respectivo horário do dia analisado. Neste estudo, das 24 horas simuladas, foram descartadas as duas primeiras e as duas últimas horas do dia, a fim de viabilizar a análise dos resultados, seguindo a orientação de Adário, Marques e Silva (2019). Essa prática de desconsiderar as horas iniciais e finais da simulação é adotada por diversos autores para eliminar possíveis instabilidades do modelo numérico utilizado pelo ENVI-MET, garantindo assim a obtenção de dados mais confiáveis.

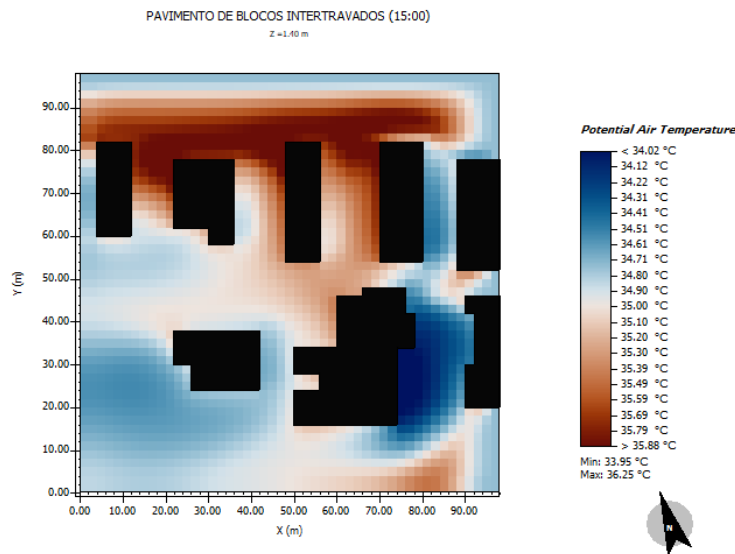
Dessa forma, para a simulação do dia 2 de outubro de 2023 realizada nesta pesquisa, o período efetivamente analisado correspondeu ao intervalo entre 02:00 e 22:00 horas.

Figura 9 - Mapa de temperatura do ar do pavimento asfáltico às 15:00 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 10 - Mapa de temperatura do ar do pavimento de blocos intertravados às 15:00 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

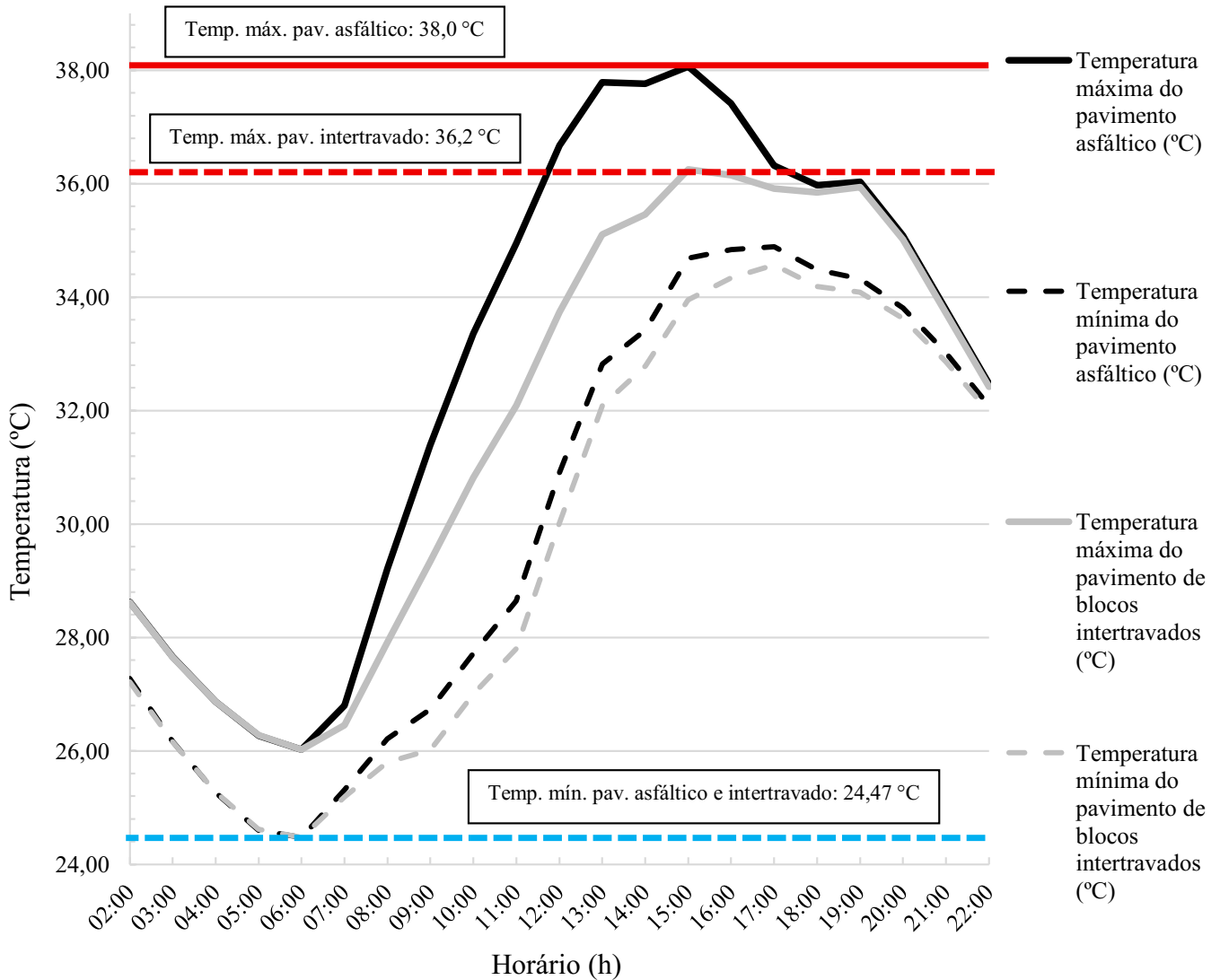
Primeiramente, nas simulações foi possível observar que, no período noturno — compreendido entre 2:00 e 6:00 horas e entre 18:00 e 22:00 horas —, as temperaturas praticamente se igualaram. No entanto, houve uma divergência significativa entre as duas estratégias de pavimentação durante o período diurno, das 7:00 às 17:00 horas, como é possível observar na Figura 11 apresentada a seguir.

Essa discrepância se torna ainda mais evidente nos picos de temperatura potencial do ar dos dois tipos de pavimento, que ocorreram às 15:00 horas. As temperaturas simuladas foram de 38,0 °C para o pavimento asfáltico e de 36,2 °C para o pavimento de blocos intertravados, representando uma diferença de 1,82 °C entre os materiais. Embora aparentemente pequena, essa redução é relevante para a realidade de Crateús, uma cidade com clima semiárido e altas temperaturas, pois mesmo variações de 1 a 2 °C podem impactar o conforto térmico da população, reduzir a intensidade das Ilhas de Calor Urbanas e diminuir a demanda energética associada ao uso de sistemas de resfriamento. Dessa forma, o pavimento de blocos intertravados se mostra uma estratégia prática e eficiente para mitigar o acúmulo de calor no ambiente urbano, podendo orientar escolhas de pavimentação em projetos urbanos e em políticas de planejamento climático.

Nesse contexto, o vale de temperatura potencial do ar — isto é, o menor valor observado nas simulações — apresentou-se de forma idêntica para ambas as estratégias de pavimentação.

Esse mínimo ocorreu às 6:00 horas, com temperatura simulada de 24,47 °C tanto para o pavimento asfáltico quanto para o de blocos intertravados.

Figura 11 - Variação das temperaturas máximas e mínimas ao longo do dia para dois tipos de pavimento urbano.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com uma amplitude térmica de aproximadamente 13,6 °C para o pavimento asfáltico e de 11,8 °C para o pavimento de blocos intertravados, observa-se que o pavimento asfáltico absorve mais calor ao longo do dia do que o intertravado. No entanto, também perde calor mais rapidamente durante a noite, o que explica sua maior variação térmica diária. Por outro lado, o pavimento de blocos intertravados absorve menos calor durante o dia, mas o dissipa de forma

mais lenta à noite, o que resulta em uma menor amplitude térmica. Essa diferença está relacionada, sobretudo, ao menor albedo e à maior emissividade térmica do asfalto, em comparação aos blocos intertravados. Esses resultados corroboram a afirmação de Porto (2022), segundo a qual as propriedades físico-termiais dos materiais influenciam significativamente o microclima urbano.

Além disso, constatou-se que o albedo teve papel decisivo no desempenho térmico dos dois tipos de pavimento: quanto maior o albedo, maior a fração de radiação refletida e, portanto, menor a energia convertida em calor, conforme demonstrado nos dados deste estudo e ilustrado na Figura 11. Esse achado corrobora Romero (2009), que sustenta a relação diretamente proporcional entre o valor de albedo de um material e a radiação solar refletida por sua superfície.

Os resultados obtidos para a temperatura do ar também convergem com Werneck e Romero (2018), cujas simulações indicaram temperaturas mais altas em áreas pavimentadas com asfalto. São igualmente consistentes com Synnefa e Santamouris (2016), que relatam redução de temperatura ao se substituir pavimentos convencionais por pavimentos “frios”, como o intertravado. No estudo de Ribas, Santos e Branco (2023), não foram detectadas diferenças significativas de temperatura durante o período noturno — fato parcialmente confirmado neste trabalho, que também não observou variação expressiva nesse intervalo. Contudo, diferentemente daqueles autores, este estudo evidenciou diferenças diurnas marcantes. Uma possível explicação é que Ribas, Santos e Branco (2023) adotaram albedo de 0,22 para o pavimento intertravado e de 0,12 para o asfáltico, ao passo que, aqui, se empregou albedo de 0,45 para o intertravado, valor consideravelmente mais elevado. Ressalta-se que os autores basearam-se em referências distintas daquelas adotadas no presente estudo para a definição dos valores de albedo utilizados.

Silva Júnior et al. (2013) observam que o crescimento desordenado das cidades provoca alterações nas características de cobertura do solo, enquanto Givoni (1994) salienta que tais mudanças afetam diretamente a absorção de energia e a emissão de radiação de onda longa, influenciando o clima urbano. Esses argumentos reforçam a relevância de selecionar estratégias de pavimentação que mitiguem o aquecimento urbano decorrente da substituição da cobertura vegetal por revestimentos impermeáveis, os quais agravam o desconforto térmico.

Entre as limitações deste trabalho, destaca-se a baixa variação de temperatura entre os pavimentos no período noturno, possivelmente decorrente de simplificações inerentes ao modelo computacional do ENVI-MET, como a consideração de velocidade e direção do vento fixas — condição que não corresponde ao contexto real. Outra limitação diz respeito às

propriedades dos materiais: analisaram-se sobretudo albedo e emissividade, uma vez que o ENVI-MET, em sua configuração, não contempla outros parâmetros como condutividade térmica ou calor específico.

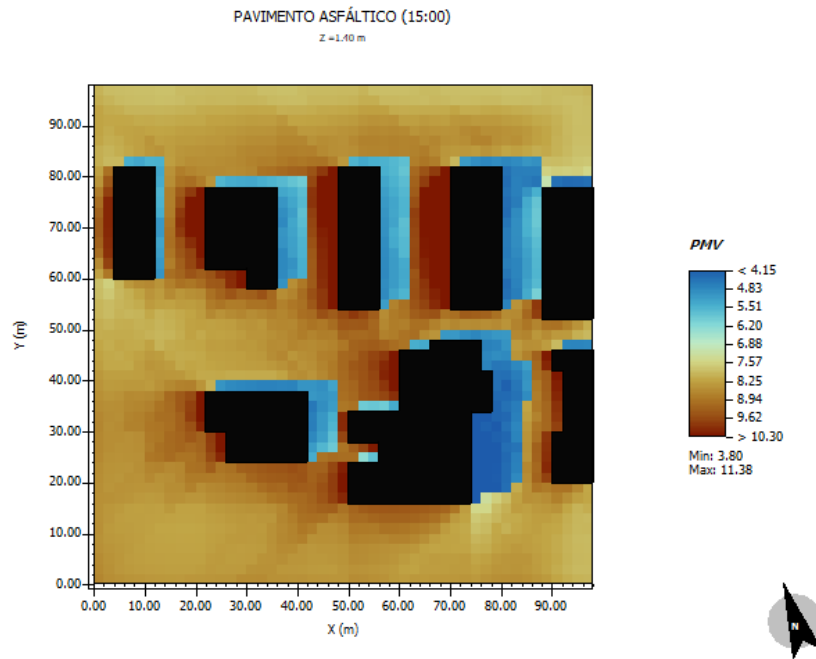
5.2 Índice de conforto PMV (*Predicted Mean Vote*)

Para os resultados do índice PMV gerados nas simulações, das 24 horas, foram descartadas as duas primeiras e duas últimas horas do dia simulado, seguindo a recomendação de Adário, Marques e Silva (2019). como foi feito na análise da temperatura do ar.

Deste modo, resultando em um período de análise das 2:00 horas às 22:00 horas do dia 2 de outubro de 2023. A seguir é possível observar na Figura 12 e 13, exemplares de mapas de índice de conforto PMV, estes sendo referente ao pavimento asfáltico e pavimento de blocos intertravados às 15:00 horas, respectivamente.

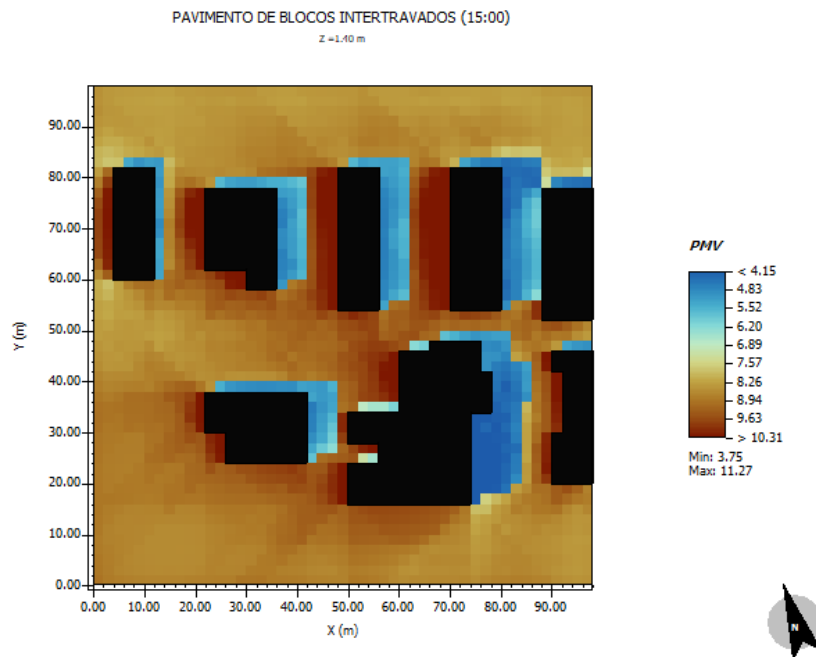
Com isso, o índice de conforto PMV sintetiza as variáveis ambientais que foram simuladas, como umidade do ar, velocidade do vento e temperatura do ar (uma das duas variáveis analisadas neste estudo) para cada cenário, além de considerar os fatores pessoais como metabolismo e vestimenta. Além de que, por ser um indicador considerado em normas técnicas, o mesmo demonstrada respaldo nos resultados, fornecendo assim uma leitura confiável da sensação de conforto térmico esperada para o ambiente simulado.

Figura 12 - Mapa do índice PMV do pavimento asfáltico às 15:00 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 13 - Mapa do índice PMV do pavimento de blocos intertravados às 15:00 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Diferentemente dos resultados obtidos para a temperatura potencial do ar, em que foi possível verificar diferenças significativas entre as duas estratégias de pavimentação a depender do horário simulado, na análise dos índices PMV gerados nas simulações microclimáticas não foram constatadas diferenças relevantes entre os resultados dos dois tipos de pavimento, como pode ser observado na Figura 14 apresentada a seguir.

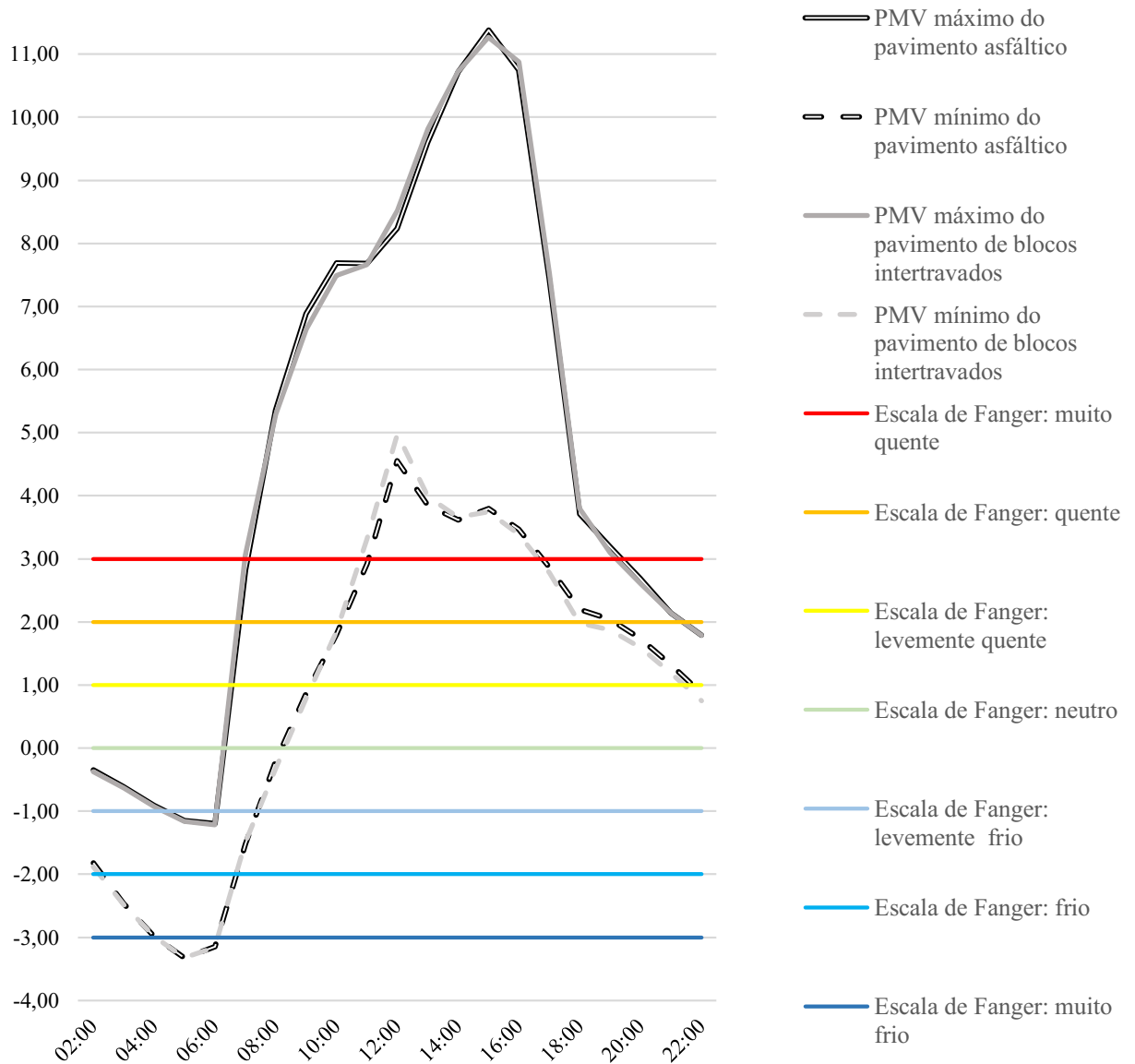
Além disso, notou-se que os índices de conforto PMV simulados apresentaram valores consideravelmente superiores aos normalmente observados na literatura. Por exemplo, no estudo Celis *et al.* (2022) os resultados dos mesmos, estavam entre a escala padrão de Fanger (1970), que varia de $-3,00$ a $+3,00$. No entanto, neste estudo, o maior valor simulado do índice PMV foi de $+11,38$ para o pavimento asfáltico e $+11,27$ para o pavimento de blocos intertravados, ambos registrados às 15:00 horas. De acordo com a escala de Fanger (1970), esses valores indicam sensação de “muito calor”.

De forma semelhante, os menores valores registrados foram de $-3,33$ para o pavimento asfáltico e $-3,32$ para o pavimento de blocos intertravados, ambos ocorrendo às 5h. Esses valores foram classificados como “muito frio”, o que não condiz com o clima caracteristicamente quente da cidade de Crateús – CE. No entanto, é importante destacar que o termo “muito frio” se refere à sensação térmica naquele horário específico, e não necessariamente à ocorrência de baixas temperaturas.

Observa-se, ainda, que o pavimento asfáltico apresentou um valor de PMV ligeiramente mais elevado no horário de pico térmico, indicando maior desconforto por calor. Da mesma forma, no horário mais frio, o asfalto também apresentou um PMV ligeiramente inferior, sugerindo maior desconforto por frio em comparação ao pavimento de blocos intertravados.

Apesar dessas variações, as diferenças entre os índices PMV simulados para as duas estratégias de pavimentação ficaram na ordem de 0,1, o que representa uma diferença extremamente pequena.

Figura 14 - Gráfico dos índices de conforto térmico (PMV) máximos e mínimos, simulados para os tipos de pavimento asfáltico e de blocos intertravados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A comparação dos resultados obtidos neste estudo com os de Oliveira e Calixter (2021), os quais também realizaram simulações microclimáticas por meio do software ENVI-MET (versão 4.4.5), possibilita uma análise mais aprofundada acerca do comportamento térmico de diferentes estratégias de pavimentação. O estudo mencionado analisou o microclima de uma praça localizada na cidade de Teresina – PI. Considerando as classificações climáticas de Köppen-Geiger, conforme Rodrigues (2024), o município de Crateús é classificado como Bsh,

ou seja, apresenta clima semiárido, quente e seco. Já Teresina, segundo Oliveira e Calixter (2021), enquadra-se na categoria Aw, caracterizando-se como um clima tropical megatérmico.

É importante destacar que, no estudo de Oliveira e Calixter (2021), a área simulada apresentava um considerável percentual de cobertura vegetal, porções de solo exposto e mais de um tipo de revestimento no solo. Esses aspectos contrastam com a metodologia adotada neste trabalho, uma vez que a área simulada foi inteiramente revestida com apenas uma estratégia de pavimentação por vez e não continha vegetação.

Adicionalmente, observa-se que ambas as simulações — a deste estudo e a de Oliveira e Calixter (2021) — foram realizadas no mês de outubro, o que favorece a comparação dos resultados. Os autores utilizaram valores de albedo de 0,30 para o pavimento asfáltico e 0,20 para o pavimento de blocos intertravados. Nesse contexto, verifica-se que os índices PMV obtidos neste trabalho estão em consonância com os de Oliveira e Calixter (2021), cujos valores, para áreas sem cobertura arbórea, variaram entre +4,5 e +5,5, sendo classificados como “muito calor”. Tais resultados já ultrapassam os limites da escala padrão de Fanger (1970), que varia de -3,00 a +3,00.

Além disso, no estudo de Oliveira e Calixter (2021), as parcelas simuladas com pavimento asfáltico e blocos intertravados apresentaram pequena variação nos índices PMV, oscilando entre +5,3 e +5,5 — uma diferença de 0,2, ligeiramente superior à variação de apenas 0,1 observada neste trabalho, mas ainda considerada pouco significativa. Ressalta-se, entretanto, que o valor máximo de PMV registrado por Oliveira e Calixter (2021) foi de +5,5, ao passo que, neste estudo, o valor máximo alcançou +11,38, mais que o dobro. Tal discrepância pode ser atribuída à ausência de cobertura vegetal na área simulada deste trabalho, configurando um cenário hipotético extremo e, portanto, menos propício à atenuação das condições térmicas adversas.

No que diz respeito à similaridade dos índices de conforto PMV entre os dois tipos de pavimento, os resultados obtidos também corroboram com Werneck e Romero (2018), que afirmam que materiais frios, como os blocos intertravados, tendem a refletir mais radiação solar, o que pode elevar a temperatura média radiante. Conforme Vanderlei *et al.* (2024), a temperatura média radiante mede a troca de calor por radiação entre uma pessoa e o ambiente ao seu redor, sendo sua quantificação fundamental para uma avaliação precisa do conforto térmico. Assim, conforme a lógica de Werneck e Romero (2018), o aumento da temperatura média radiante nos pavimentos de blocos intertravados pode representar um efeito adverso, comprometendo o conforto térmico. Isso pôde ser verificado neste estudo, uma vez que os

índices PMV do pavimento de blocos intertravados se mostraram muito semelhantes aos do pavimento asfáltico.

Ademais, Wong *et al.* (2018) destacam que a elevação da temperatura urbana reduz o conforto térmico. Giridharan e Emmanuel (2018) apontam que essa redução leva ao aumento do consumo de energia para resfriamento, e Wong *et al.* (2018) observam que o desconforto térmico diminui as atividades ao ar livre, gerando sérios impactos sobre a saúde pública. Tais evidências reforçam a importância de estudos que busquem compreender e preservar o conforto térmico, como é o caso deste trabalho, que realiza uma análise comparativa entre diferentes estratégias de pavimentação.

Em relação às limitações observadas, estas são semelhantes às descritas no tópico de análise da temperatura do ar. Apesar da consonância com estudos como o de Werneck e Romero (2018), esperava-se que as diferenças entre os índices PMV fossem mais acentuadas, o que não foi verificado. Uma hipótese para esse resultado é a existência de simplificações no modelo utilizado pelo ENVI-MET. Destaca-se, também, a ausência de simulações envolvendo a velocidade do vento, umidade relativa e temperatura superficial, recurso que poderia ter sido explorado com o próprio software. Conforme salientado por Oliveira e Calixter (2021), essa variável pode influenciar significativamente a sensação de desconforto térmico, especialmente em combinação com altas temperaturas.

6 CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam que o tipo de pavimentação exerce influência significativa sobre o microclima urbano em Crateús, Ceará. Verificou-se que o pavimento de blocos intertravados, por apresentar maior albedo, demonstrou-se mais eficaz na mitigação do aquecimento urbano durante o período diurno, com temperaturas máximas inferiores em 1,82 °C em relação ao pavimento asfáltico. Além disso, a menor amplitude térmica registrada para o intertravado indica que esse material retém menos calor durante o dia e o libera de forma mais gradual à noite, contribuindo para um microclima mais estável.

A análise crítica dos índices de conforto térmico PMV revelou diferenças pequenas entre os pavimentos, sugerindo que, embora o intertravado favoreça a redução da temperatura superficial, seu efeito sobre o conforto dos pedestres pode ser limitado em condições de calor extremo. No entanto, a severidade dos valores obtidos reforça a relevância do planejamento urbano e da escolha adequada de materiais para minimizar impactos térmicos em áreas pavimentadas.

Do ponto de vista prático, os achados indicam que a adoção de blocos intertravados pode subsidiar decisões de engenharia civil e planejamento urbano, orientando a escolha de pavimentos que promovam maior conforto térmico e contribuam para a mitigação das Ilhas de Calor Urbanas em Crateús e em cidades com características climáticas semelhantes. Recomenda-se que futuras pesquisas integrem variáveis adicionais do ENVI-MET, validem os dados com medições de campo e explorem diferentes proporções de pavimentação, a fim de ampliar a compreensão sobre os efeitos microclimáticos dos materiais.

Em síntese, este estudo evidencia a importância da seleção consciente dos materiais de pavimentação, destacando seu papel na redução do aquecimento urbano e na formulação de estratégias sustentáveis de planejamento urbano e mitigação das Ilhas de Calor.

1. REFERÊNCIAS

- ADÁRIO, J. L.; MARQUES, A. C.; SILVA, C. F. Simulação computacional do microclima urbano da Praça da Estação na cidade de Juiz de Fora – MG. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 15., 2019, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4098>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- AGATHANGELIDIS, I.; CARTALIS, C.; SANTAMOURIS, M. Integrating Urban Form, Function, and Energy Fluxes in a Heat Exposure Indicator in View of Intra-Urban Heat Island Assessment and Climate Change Adaptation. **Climate**, [S.l.], v. 7, n. 6, p. 75, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli7060075>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- AGÊNCIA REGULADORA DO ESTADO DO CEARÁ – ARCE. **Carta de desempenho ao consumidor**: avaliação de desempenho dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário: Crateús – Ref.: 2021. Fortaleza: ARCE, 2022. Disponível em: https://www.arce.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/53/2022/12/Crateus-2021_2022.pdf. Acesso em: 21 jun. 2025.
- AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. H. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v. 94, n. 3, p. 275-286, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9515-9>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Solar Reflectance Index of Pedestrian Pavements and Their Response to Aging. **Journal of Clean Energy Technologies**, [S.l.], v. 1, n. 4, p. 281-287, out. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.64>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- s, R. *et al.* Estudo sobre as características do albedo solar em superfícies de pavimentos e taludes de aterros em regiões de permafrost. **Energia Solar**, [S.l.], v. 237, p. 352-364, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.04.010>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- BARBOSA, A. **Urbanismo bioclimático**: efeitos do desenho urbano na sensação térmica. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.102.2018.tde-16042018-152343>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; ROSSETTI, K. A. C. Pavimentação Asfáltica: Contribuição no Aquecimento de Áreas Urbanas. **E&S Engineering and Science**, v. 3, n. 1, [s. p], dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18607/ES201532555>. Acesso em: 18 jul. 2025.

CEARÁ. Secretaria dos recursos hídricos; Companhia de gestão dos recursos hídricos (Ceará). **Diagnóstico da região hidrográfica dos sertões de Crateús**. Fortaleza: Secretaria dos recursos hídricos; Fortaleza: COGERH, 2021. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/PRODUTOS%20PLANOS%20FINALIZADOS/DIAGN%C3%93STICO/DIAGN%C3%93STICO%20SERT%C3%95ES%20DE%20CRATE%C3%9AS%20VERS%C3%83O%20FINAL.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2025.

CELIS, A. M. C. *et al.* A utilização da Simulação computacional como ferramenta para a análise do microclima urbano do Campus Universitário São Cristóvão – SE. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 19., 2022, Canela. **Anais [do] XIX ENTAC**. Canela, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2227>. Acesso em: 27 jul. 2025.

CELIS, A. M. C. *et al.* Análise do microclima urbano na latitude 0° mediante utilização da simulação computacional: estudo de caso - bloco de arquitetura e engenharia civil no campus Marco Zero da UNIFAP. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 17., 2023, Belém. **Anais [...]**. Belém, Pará, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.3931>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading - A design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, [S.l.], v. 27, n. 14, p. 1995-2004, nov. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1609>. Acesso em: 18 jul. 2025.

ENVI-MET. **Lateral Boundary Conditions**. [S. l.]: ENVI-MET, 2017. Disponível em: <https://envi-met.info/doku.php?id=kb:lbc>. Acesso em: 21 jun. 2025.

ENVI-MET. **PMV/PPD**. [S. l.]: ENVI-MET, 2017. Disponível em: https://envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv. Acesso em: 12 jul. 2025.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Books, 1970.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, Netherlands, v. 34, n. 6, p. 533-536, jul. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00003-8). Acesso em: 20 jul. 2025.

FIALHO, E. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica**, [S.l.], v. 2, 4, jan. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0004>. Acesso em: 12 jul. 2025.

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil. **Urban Climate**, v. 5, p. 36-51, out. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.06.001>. Acesso em: 17 jul. 2025.

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

GHENAI, C. *et al.* Evaluation and thermal performance of cool pavement under desert weather conditions: Surface albedo enhancement and carbon emissions offset. **Case Studies in Construction Materials**, [S. l.], v. 18, p. e01940, jul. 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01940>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209552400169X?via%3Dihub>.

Acesso em: 21 jun. 2025.

GIRIDHARAN, R.; EMMANUEL, R. The impact of urban compactness, comfort strategies and energy consumption on tropical urban heat island intensity: A review. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 40, p. 677–687, 1 jul. 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717313446>. Acesso em: 20 jun. 2025.

GIVONI, B. Urban design for hot humid regions. **Renewable Energy**, v. 5, p. 1047– 1053, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960148194901325>.

Acesso em: 13 jul. 2024.

GOMES, Cesar Henrique de Godoy. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em:

https://www.academia.edu/84546605/An%C3%A1lise_dos_n%C3%ADveis_de_conforto_t%C3%A9rmico_em_um_edif%C3%ADcio_de_escrit%C3%B3rios_na_cidade_de_Maring%C3%A1. Acesso em: 22 jun. 2025.

GONZALEZ, D. E. G. **Análise dos efeitos do albedo no microclima de cânios urbanos**.

(Dissertação) 2015. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2012>. Acesso em: 13 jul. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados Históricos Anuais de 2023**. Brasília: INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>.

Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados Históricos Anuais de 2018**. Brasília: INMET, 2018. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>.

Acesso em: 28 jul. 2025.

HALDER, B.; BANDYOPADHYAY, J.; BANIK, P. Monitoring the effect of urban development on urban heat island based on remote sensing and geo-spatial approach in Kolkata and adjacent areas, India. **Sustainable Cities and Society**, Oxford, v. 74, n. 12, Artigo 103186, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103186>. Acesso em: 13 jul. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices. Genebra: ISO, 2005.

JUNG, S. J. Pedestrian-path pavement materials to improve microclimate and air quality on current pedestrian paths. **Urban Climate**, [S. l.], v. 55, p. 101973, 1 maio 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209552400169X?via%3Dihub>. Acesso em: 21 jun. 2025.

KHAN, S. M.; SIMPSON, R. W. Effect Of A Heat Island On The Meteorology Of A Complex Urban Airshed. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 100, p. 487-506, set. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1019284332306>. Acesso em: 13 jul. 2025.

KIMIJIMA, T. *et al.* Study on heat island mitigation on interlocking block pavement. In: International Conference on Concrete Block Paving – 9ICCBP, 9., 2009, Buenos Aires. **Anais [...]**. Buenos Aires: AABH; ICPA; SEPT, 2009. Disponível em: <http://www.sept.org/techpapers/1444.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.

KOLOKOTRONI, M.; GIRIDHARAN, R. Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. **Solar Energy**, Oxford, v. 82, n. 11, p. 986-998, nov. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.004>. Acesso em: 13 jul. 2024.

KOWALSKI, L. F. *et al.* Influência do tratamento superficial na temperatura de pavimentos asfálticos urbanos. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/entac.v18i.1007>. Acesso em: 23 jun. 2025.

KOWALSKI, L. F. *et al.* Relação entre o albedo e a taxa de evaporação de pavimentos frios com características drenantes. In: Congresso luso-brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável – pluris, 9., 2021, [s. l.]. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: UNESP/FAAC, 2021. Disponível em: <https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1120.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2025.

LIMA, D. C. R. **Forma e arborização em cânions urbanos**: tendências de estresse térmico para o pedestre em cenários futuros de Umarama/PR. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.102.2018.TDE-16042018-151056>. Acesso em: 12 jul. 2025.

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

LÓPEZ, D. P. M. **Ciudad y cambio microclimático**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília – UnB, Brasília - DF, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/38827>. Acesso em: 12 jul. 2025.

LOPES, T. M.; OLIVEIRA, A. M. Projeto alaga aqui: mapeamento dos pontos de alagamento e inundação como estratégia de gestão da cidade de Crateús-CE. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, Fortaleza/CE, n. 4, p. 25-38, dez. 2023. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/CECiT/article/view/12001>. Acesso em: 11 jul. 2025.

LOWRY, W. The climate of cities. **Scientific American**, v. 217, n. 2, 1967.

MARTINS, T. A. L. **De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical.** 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://proarq.fau.ufrj.br/producao/teses-e-dissertacoes/1086/de-condicionantes-solares-a-oportunidades-de-desenho-urbano-otimizacao-de-tipo-morfologias-urbanas-em-contexto-de-clima-tropical>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MASIERO, É. **Análise da influência de corpos d'água em microclimas urbanos: estudo de caso em São José do Rio Preto, SP.** Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/items/ce5b9a14-91ba-4dfa-8e0c-12ec84edec7e6>. Acesso em: 12 jul. 2025.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: Universidade de Brasília, 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/6578010/MENESES_and_ALMEIDA_2012_INTRO_AO_PROCESSAMENTO_DE_IMAGEM. Acesso em: 12 jul. 2025.

MIRZAEI, P. A. Recent challenges in modeling of urban heat island. **Sustainable Cities and Society**, [S.l.], v. 19, p. 200-206, dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>. Acesso em: 22 jun. 2025.

chen, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, Reading, v. 1, n. 3, p. 237-254, jul./set. 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>. Acesso em: 13 jul. 2025.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** 2. ed. New York: Routledge, 1987.

OLIVEIRA, B. B. **Projeto, conforto e saúde: um refúgio urbano para as ondas de calor.** 2021. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/item/003062788>. Acesso em: 14 jul. 2025.

OLIVEIRA L. M.; CALIXTER, Y. A. L. Conforto térmico em áreas verdes urbanas: simulação do microclima na praça da Liberdade, em Teresina-PI. **Paranoá**, [S. l.], v. 14, n. 30, 2021. Disponível em: DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n30.2021.13. Acesso em: 22 jun. 2025.

OSAKI, C. M. N.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-8621201600030009>. Acesso em: 12 jul. 2025.

PACIFICI, M. **Urban morphology and climate: field assessment and numerical modeling of interactions.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.3.2019.tde-13082019-150128>. Acesso em: 12 jul. 2025.

PEIXOTO, N. G. M. *et al.* Avaliação do comportamento térmico de materiais empregados em projeto de requalificação viária na cidade de Fortaleza. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 17., 2023, [S.l.]. **Anais [...]**. [S.l.]: ANTAC, 2023. [s.p.]. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4001>. Acesso em: 23 jun. 2025.

PORTO, A. L. G. **Método para análise de Ilhas de Calor em cidades de clima equatorial úmido**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: <https://ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/2022/Aline%20Lopes%20Gon%C3%A7alves%20Porto%20e%20Silva.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2024.

QIN, Y. Urban canyon albedo and its implication on the use of reflective cool pavements. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 96, p. 86–94, 1 jun. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778815001978?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2025.

RIBAS, L. V. S.; SANTOS, T. R.; BRANCO, V. T. F. C. Análise do impacto de diferentes estratégias de pavimentação sobre o microclima urbano. In: anais do congresso de pesquisa e ensino em transportes, 2023, Santos. **Anais [...]**. Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet/anpet-2023/trabalhos/analise-do-impacto-de-diferentes-estrategias-de-pavimentacao-sobre-o-microclima?lang=pt-br#> Acesso em: 4 abr. 2024.

RODRIGUES, E. J. **Balanco hídrico climatológico e classificação climática do estado do Ceará**. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78398>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do lugar**: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

ROMERO, M. A. B. Correlação entre o microclima e a configuração do espaço residencial de Brasília. In: Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, 6.; Encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído, 3., 2009, Natal. **Anais [do] VI ENCAC e III ELACAC**. Natal, Rio Grande do Norte, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306352461_Correlacao_entre_o_microclima_e_a_configuracao_do_espaco_residencial_de_Brasilia/fulltext/57b9de1e08ae14f440bd8ce7/Correlacao-entre-o-microclima-e-a-configuracao-do-espaco-residencial-de-Brasilia.pdf. Acesso em: 13 jul. 2025.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 10, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/raega.v10i0.3377>. Acesso em: 12 jul. 2025.

SALATA, F. *et al.* Dressed for the season: Clothing and outdoor thermal comfort in the Mediterranean population. **Building and Environment**, [S. l.], v. 146, p. 50–63, 1 dez. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318305997>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. (Org.). **Urban Climate Mitigation Techniques**. 1. ed. London: Routledge, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315765839>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. **Solar Energy**, [S.l.], v. 85, p. 3085-3102, 2011. Disponível em: <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=2137564> Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS, J. B. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/3192>. Acesso em: 19 jun. 2025

SANTOS, T. *et al.* Indicadores de conforto térmico para áreas verdes urbanas. In: APDR CONGRESS, 26., 2019, Aveiro. **Proceedings of the 26th APDR Congress**. Aveiro: APDR - Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Caio-Frederico-E-Silva/publication/335774574_Indicadores_de_conforto_termico_para_areas_verdes_urbanas/inks/5d7a66ef4585157fde0fcfe7/Indicadores-de-conforto-termico-para-areas-verdes-urbanas.pdf. Acesso em: 20 jul. 2025.

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Curso de Pós-graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36121>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SEGUNDO, I. R. *et al.* Review and analysis of advances in functionalized, smart, and multifunctional asphalt mixtures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 151, 111552, nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111552>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SILVA JÚNIOR, J. A. *et al.* Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 28, p. 419–428, dez. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000400008>. Acesso em: 15 jul. 2024.

SILVA, C. F. *et al.* **Simulação microclimática com o ENVI-met 5.0: guia metodológico**. Brasília: LaSUS FAU: Editora Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/326>. Acesso em: 8 abr. 2024.

SOUSA, R. N.; OSTERNO, F. Y. R.; ALBUQUERQUE, G. L. A. P. Influência da pavimentação das ruas na temperatura da cidade de Sobral. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017, 2017, Belém-PA. **Anais [...]**. Belém-PA: CONTECC, 2017. [s.p.]. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2017/civil/81_idpdrntdcds.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

SOUZA, J. F.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21-37, jan./mar. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212016000100058>. Acesso em: 12 jul. 2025.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. Mitigating The Urban Heat With Cool Materials For The Buildings' Fabric. In: Santamouris, M.; Kolokotsa, D. (Org.). **Urban Climate Mitigation Techniques**. 1. ed. Londres: Routledge, 2016. Capítulo 4, 25 p. Disponível em: <https://www.taylorandfrancis.com/books/edit/9781315765839/urban-climate-mitigation-techniques-mat-santamouris-denia-kolokotsa>. Acesso em: 16 jul. 2025.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 99–103, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1). Acesso em: 13 jul. 2024.

TORRES, S. C. **Forma e conforto**: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22459>. Acesso em: 16 jul. 2025.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, A.; THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. **Sustainable Cities and Society**, [S.l.], v. 43, p. 55-76, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>. Acesso em: 22 jun. 2025.

UNITED STATES. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Keeping Your Cool**: How Communities Can Reduce the Heat Island Effect. Washington, D.C.: EPA, 2014. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/heat_island_4-page_brochure_508_120413.pdf. Acesso em: 19 jul. 2025.

VANDERLEI, M. H. G. dos S. *et al.* Análise da temperatura média radiante em Alagoas. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 13, p. e12496, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-355>. Acesso em: 19 jun. 2025.

VIANNA, E. O. **O campo térmico urbano**: ilhas de calor em Brasília - DF. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília – UnB, Brasília - DF, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/33012>. Acesso em: 12 jul. 2025.

VIEIRA, M. G., MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia - MG. **Geographia Opportuno Tempore**, v.4, n. 3, p. 137–159, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/got.2018.v4.36161>. Acesso em: 12 jul. 2025.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Complete Urban Surface Temperatures. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Estados Unidos, v. 36, n. 9, p. 1117-1132, set. 1997.

Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1997\)036<1117:CUSLTU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1117:CUSLTU>2.0.CO;2). Acesso em: 13 jul. 2025.

WARDEH, Y. *et al.* Review of the optimization techniques for cool pavements solutions to mitigate Urban Heat Islands. **Building and Environment**, [S.l.], v. 223, 109482, set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109482>. Acesso em: 22 jun. 2025.

WERNECK, D. R.; ROMERO, M. A. B. Análise de microclimas urbanos orientada à mitigação de ilhas de calor em áreas de comércio local do Plano Piloto de Brasília-Brasil. In: congresso luso-brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável – pluris, 8., 2018, Coimbra. **Anais [...]**. [S. l.]: [s. n.], 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329787934_ANALISE_DE_MICROCLIMAS_URBANOS_ORIENTADA_A_MITIGACAO_DE_ILHAS_DE_CALOR_EM_AREAS_DE_COMERCIO_LOCAL_DO_PLANO_PILOTO_DE_BRASILIA-BRASIL. Acesso em: 19 jun. 2025.

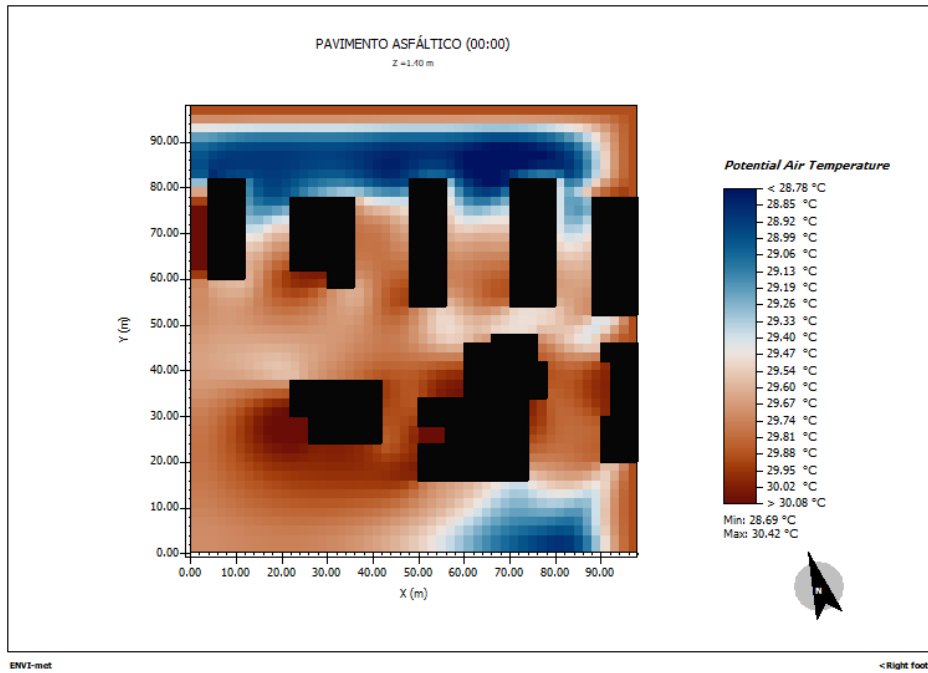
WONG, L. P. *et al.* Physical, Psychological, and Social Health Impact of Temperature Rise Due to Urban Heat Island Phenomenon and Its Associated Factors. **Biomedical and environmental sciences: BES**, [S. l.], v. 31, n. 7, p. 545–550, jul. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30145991/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias: teoria física aliada a estudos de campo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78190>. Acesso em: 22 jun. 2025.

XU, L. *et al.* Potential strategies to mitigate the heat island impacts of highway pavement on megacities with considerations of energy uses. **Applied Energy**, [s. l.], v. 281, 116077, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116077>. Acesso em: 22 jun. 2025.

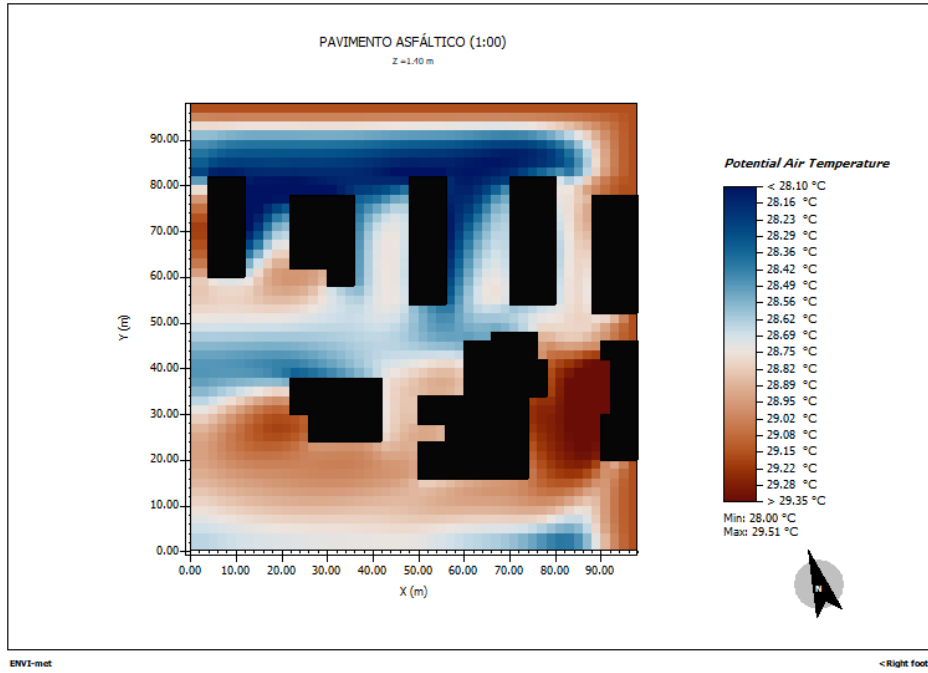
YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a ‘silver bullet’ for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 47, p. 830-843, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.092>. Acesso em: 16 jul. 2025.

APÊNDICE A — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 00:00 HORAS.



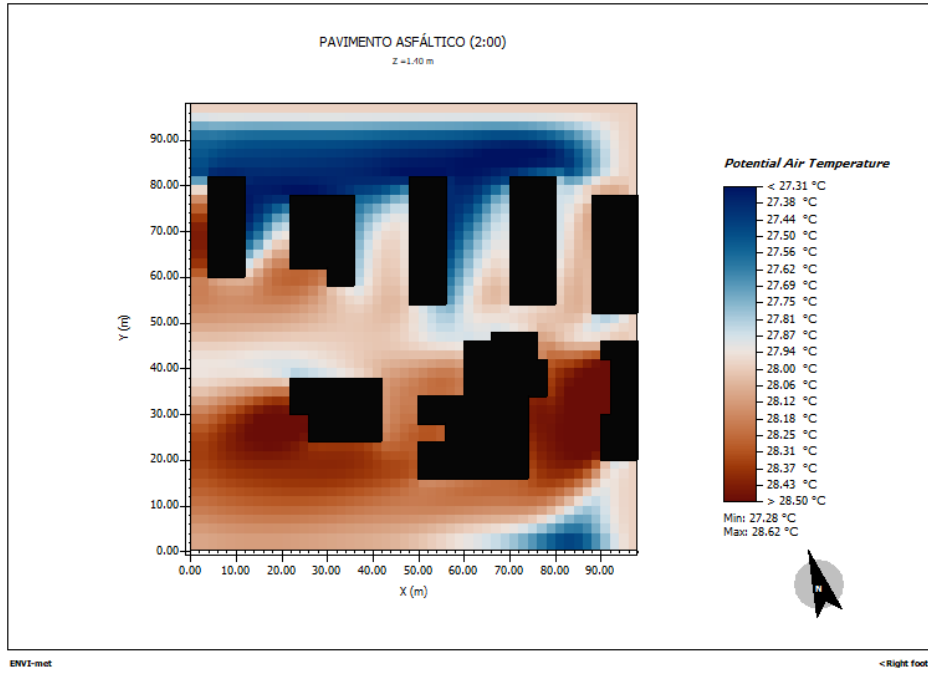
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE B — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 01:00 HORAS.



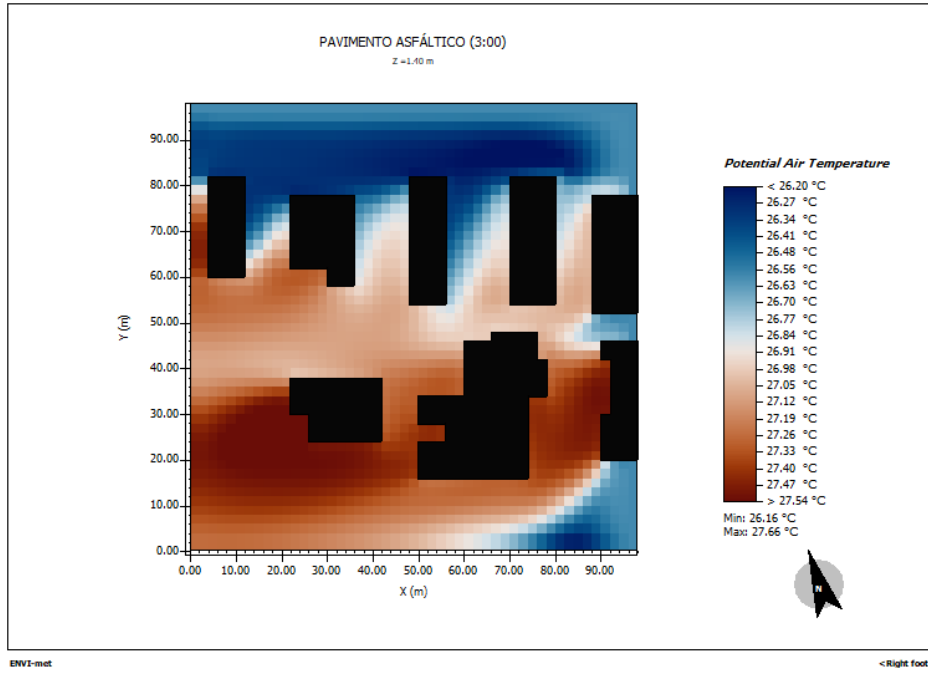
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE C — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 02:00 HORAS.



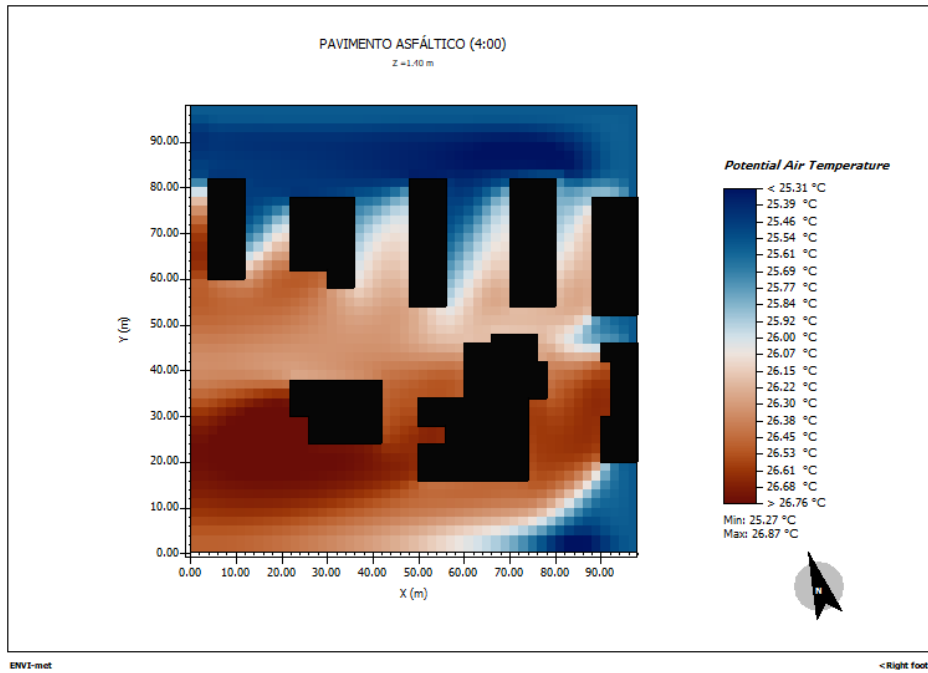
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE D — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 03:00 HORAS.



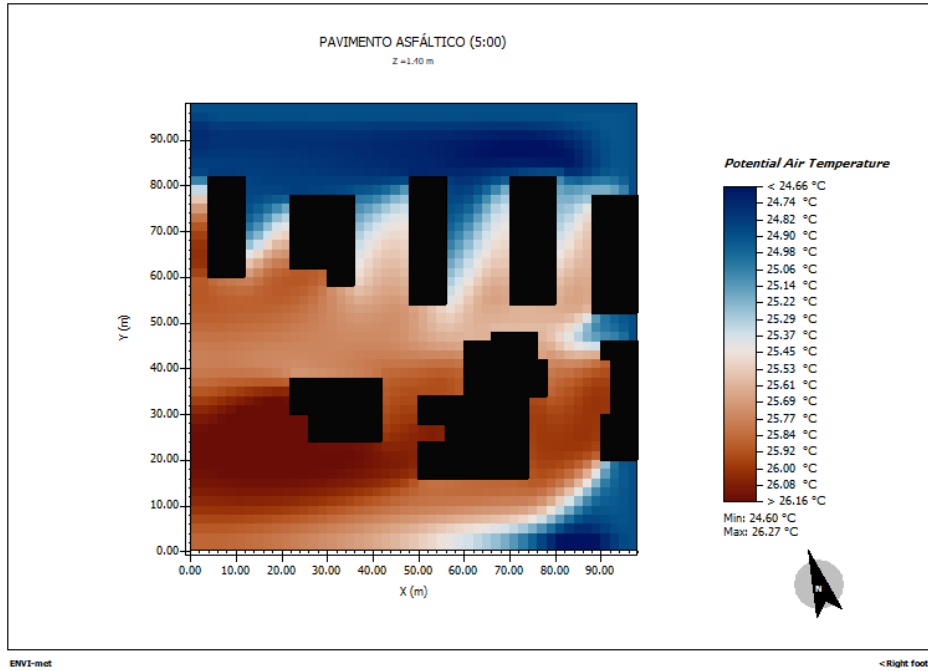
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE E — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 04:00 HORAS.



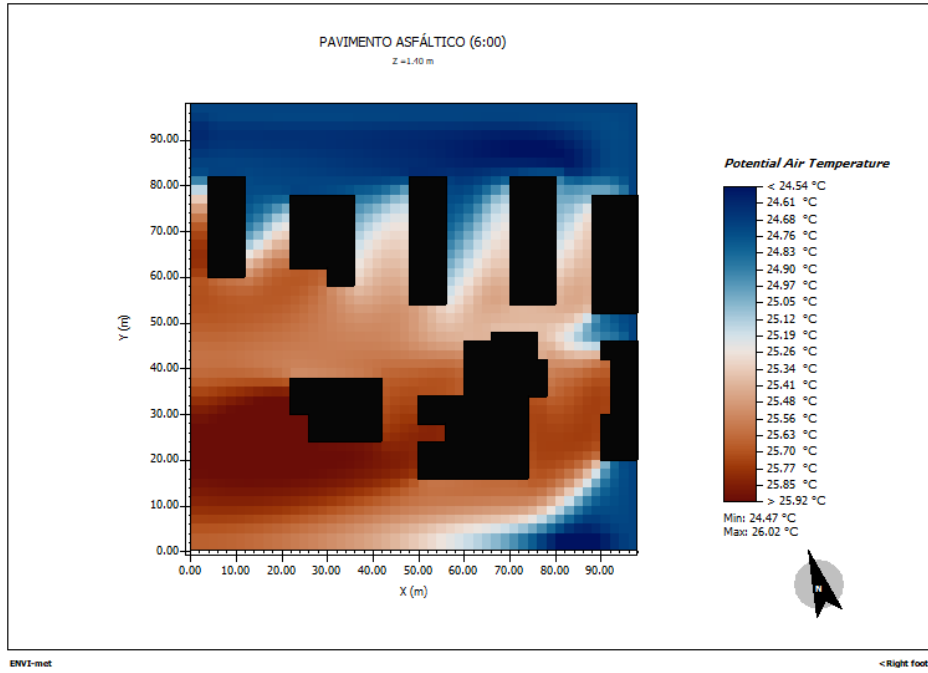
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE F — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 05:00 HORAS.



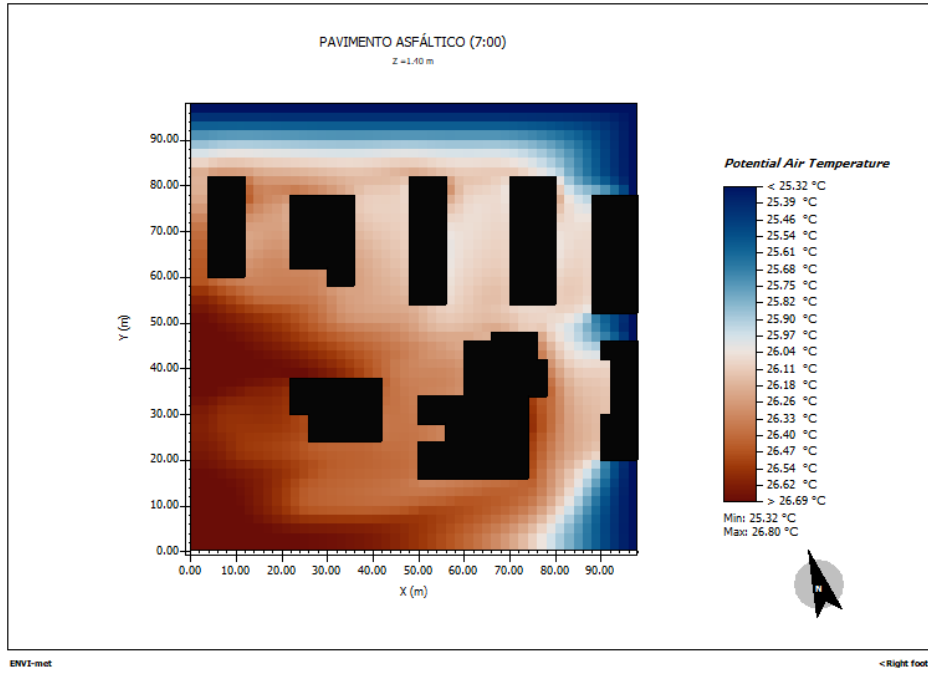
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE G — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 06:00 HORAS.



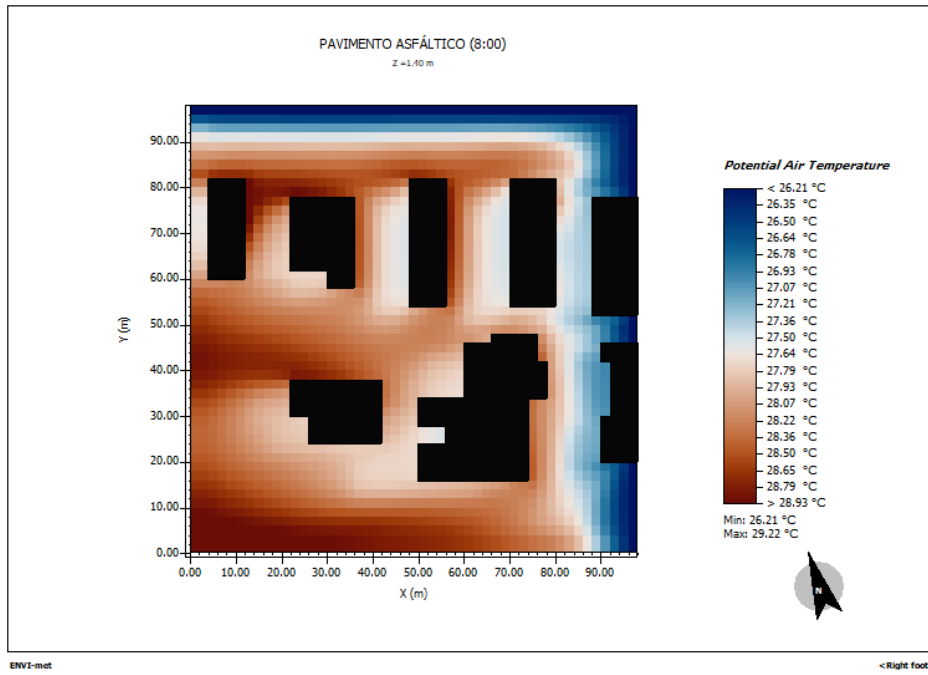
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE H — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 07:00 HORAS.



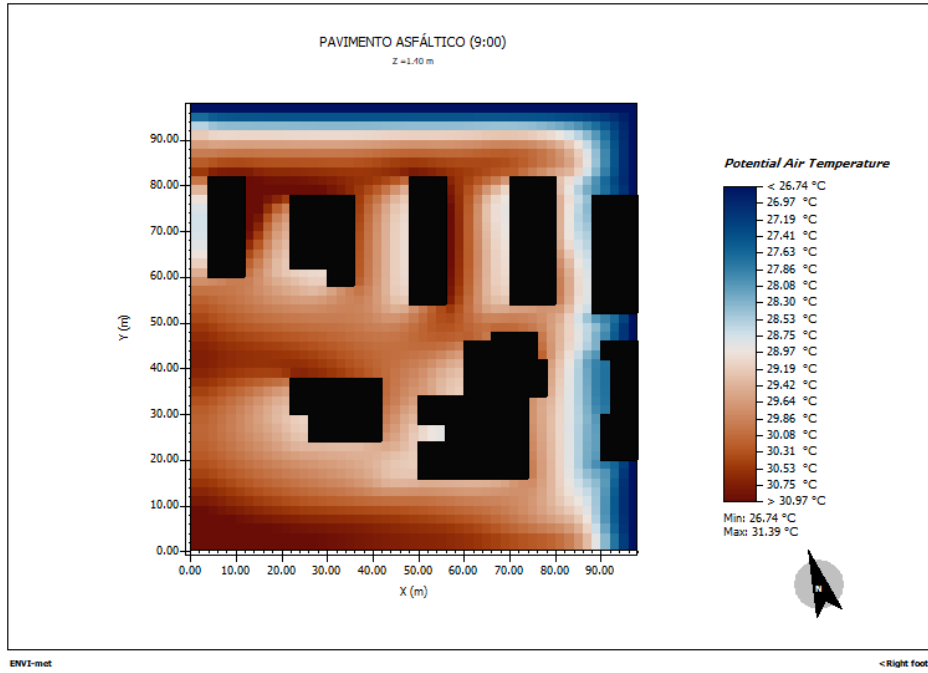
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE I — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 08:00 HORAS.



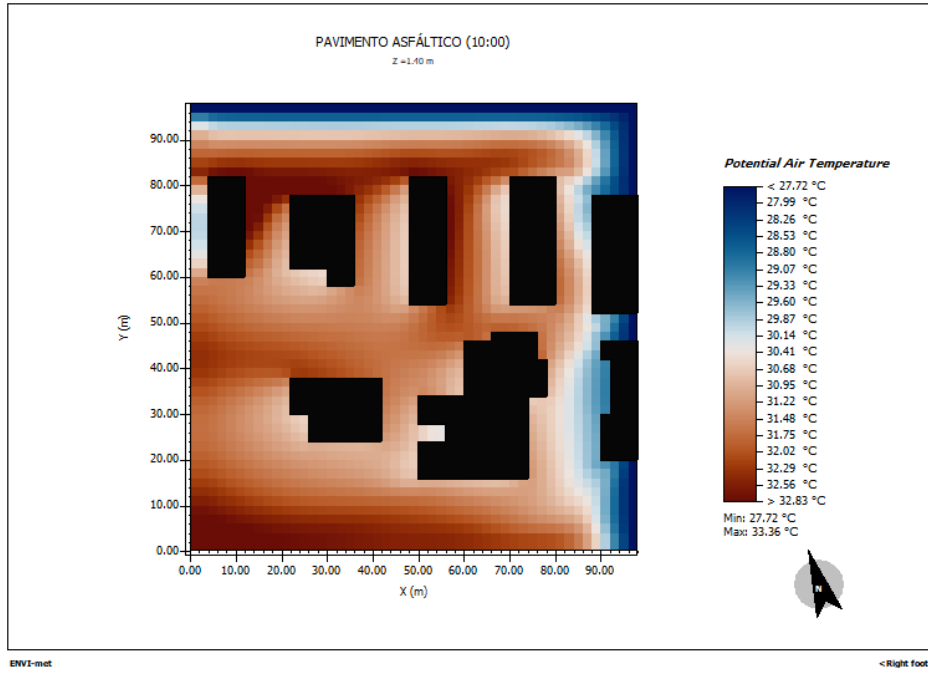
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE J — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 09:00 HORAS.



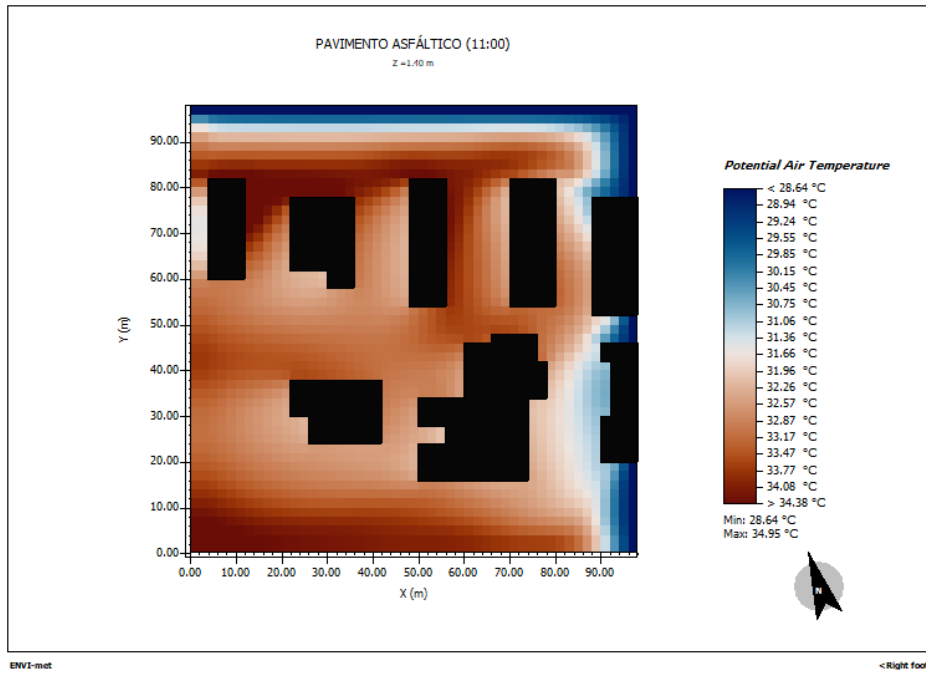
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE K — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 10:00 HORAS.



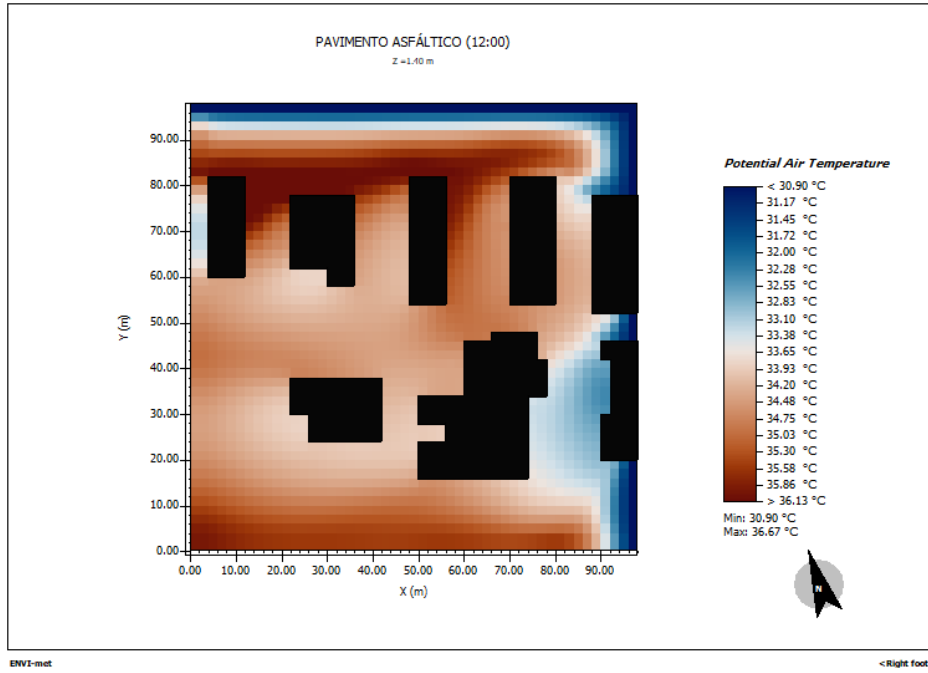
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE L — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 11:00 HORAS.



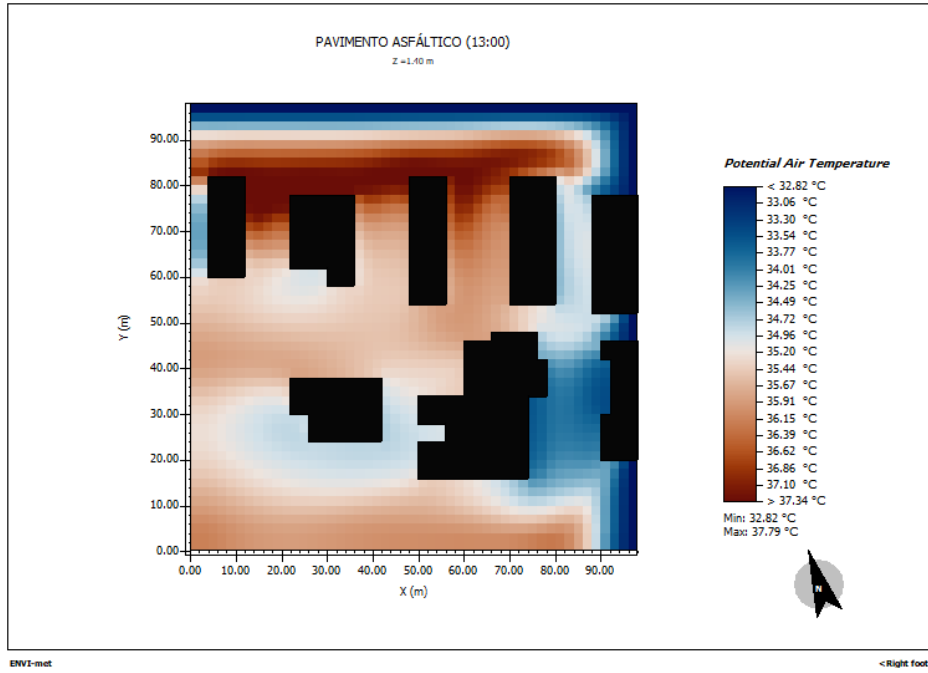
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE M — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 12:00 HORAS.



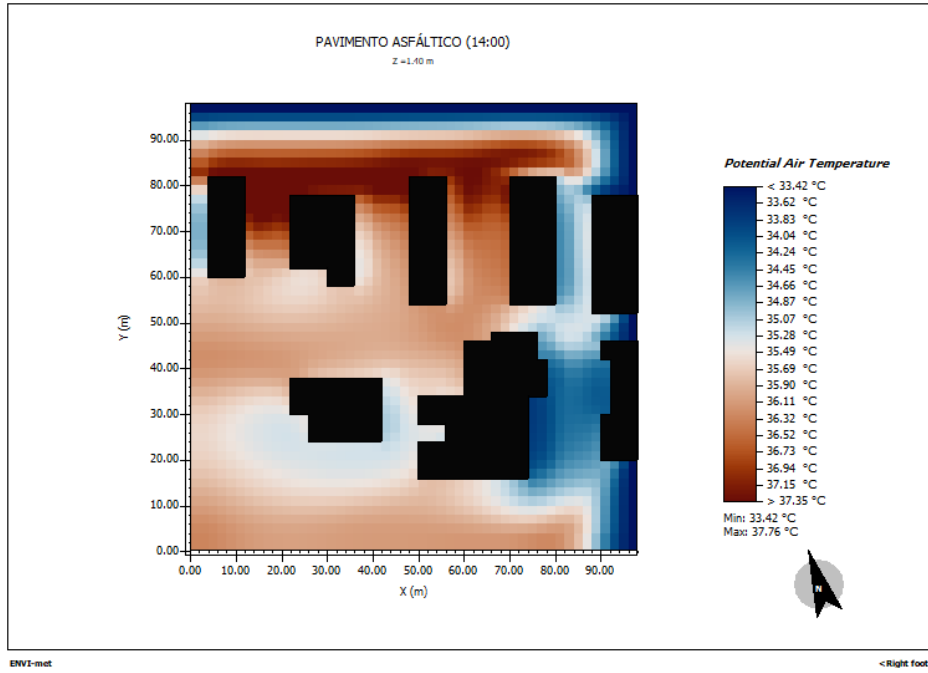
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE N — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 13:00 HORAS.



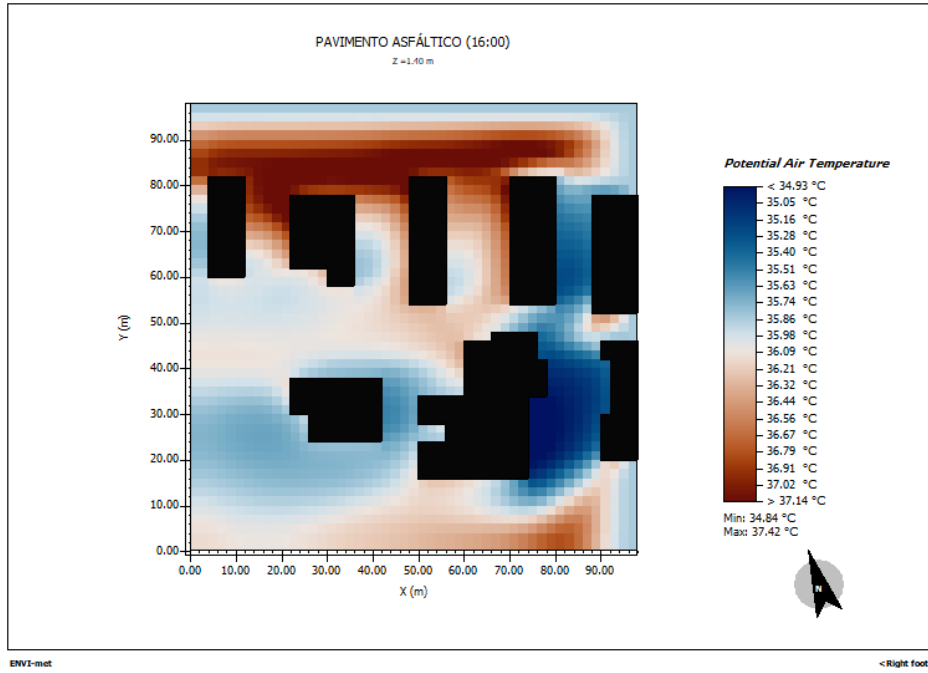
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE O — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 14:00 HORAS.



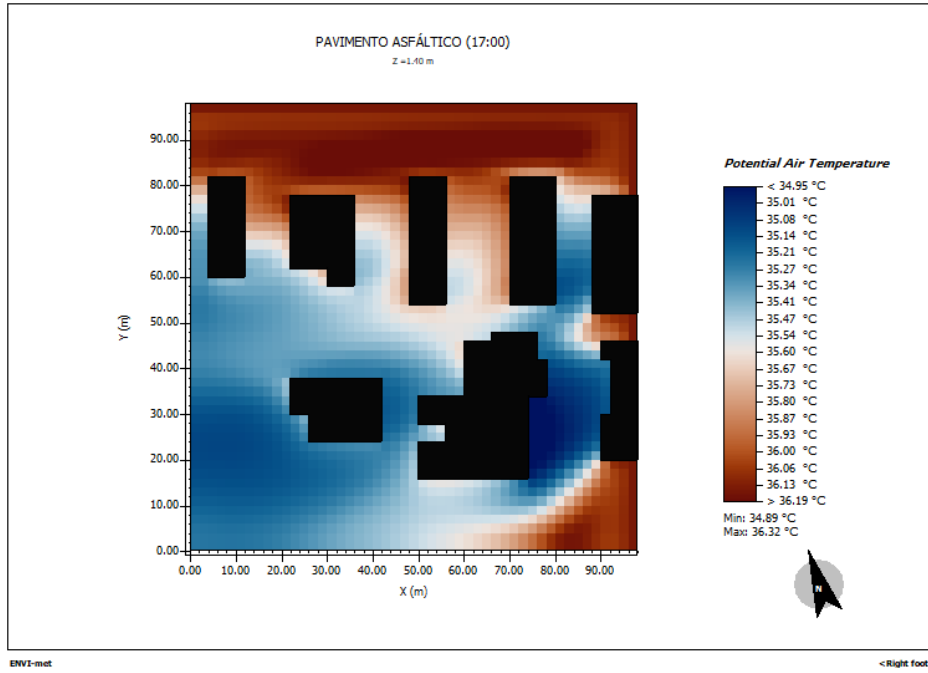
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE P — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 16:00 HORAS.



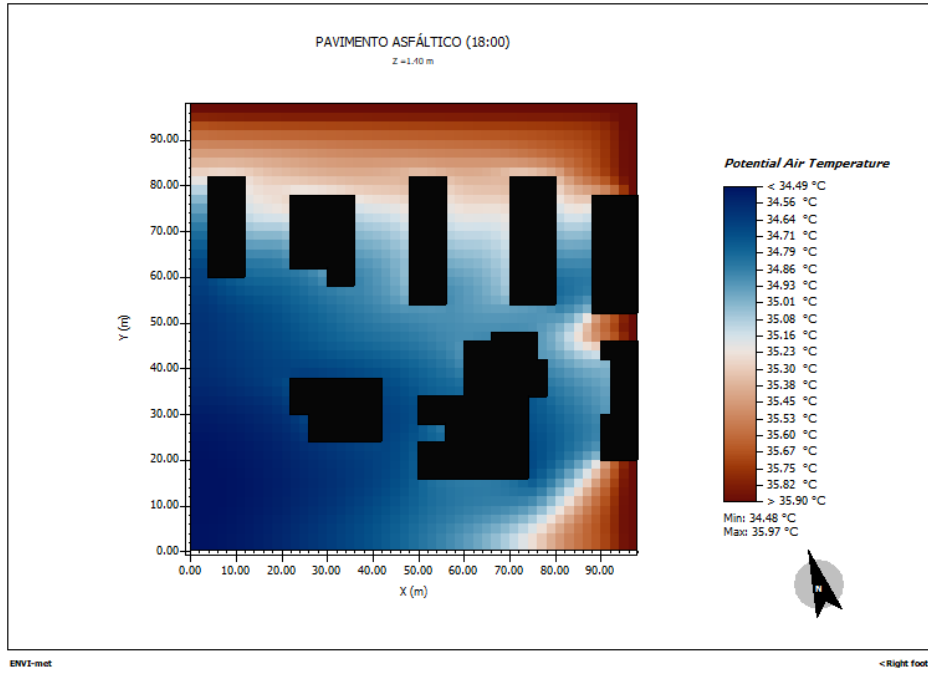
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE Q — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 17:00 HORAS.



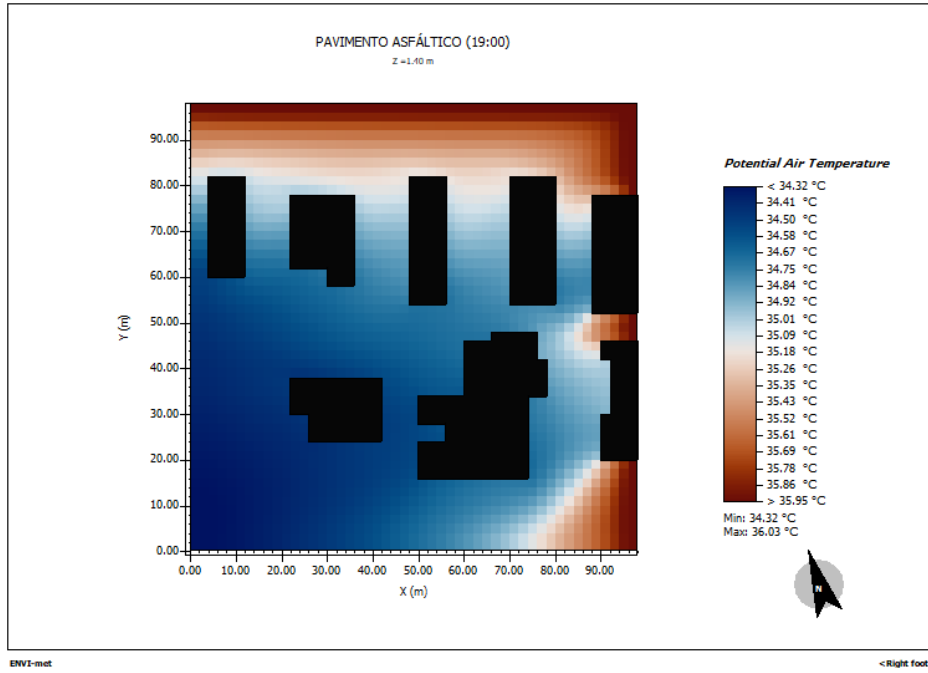
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE R — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 18:00 HORAS.



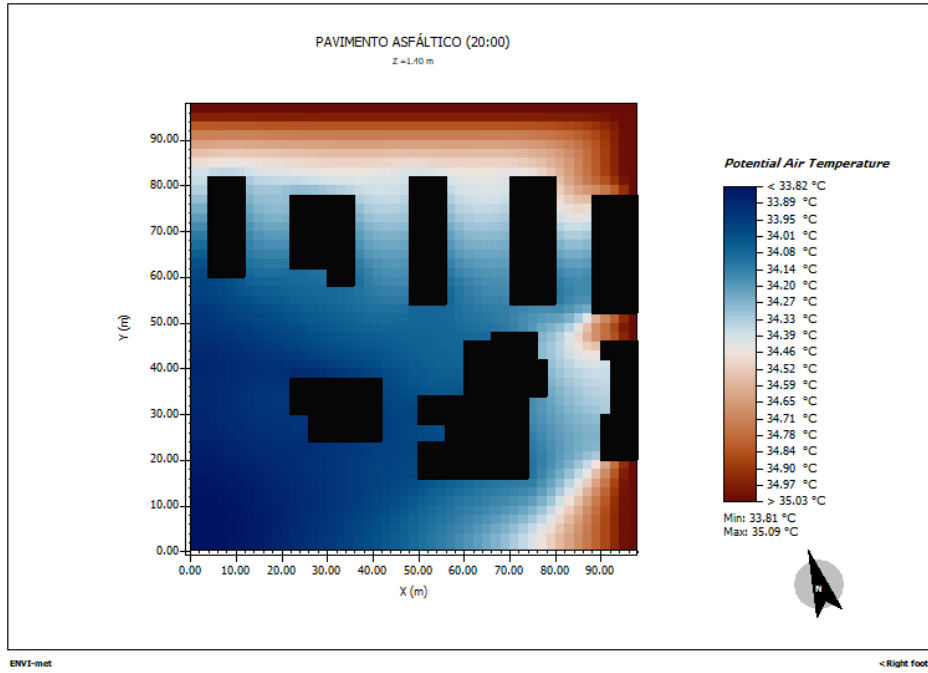
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE S — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 19:00 HORAS.



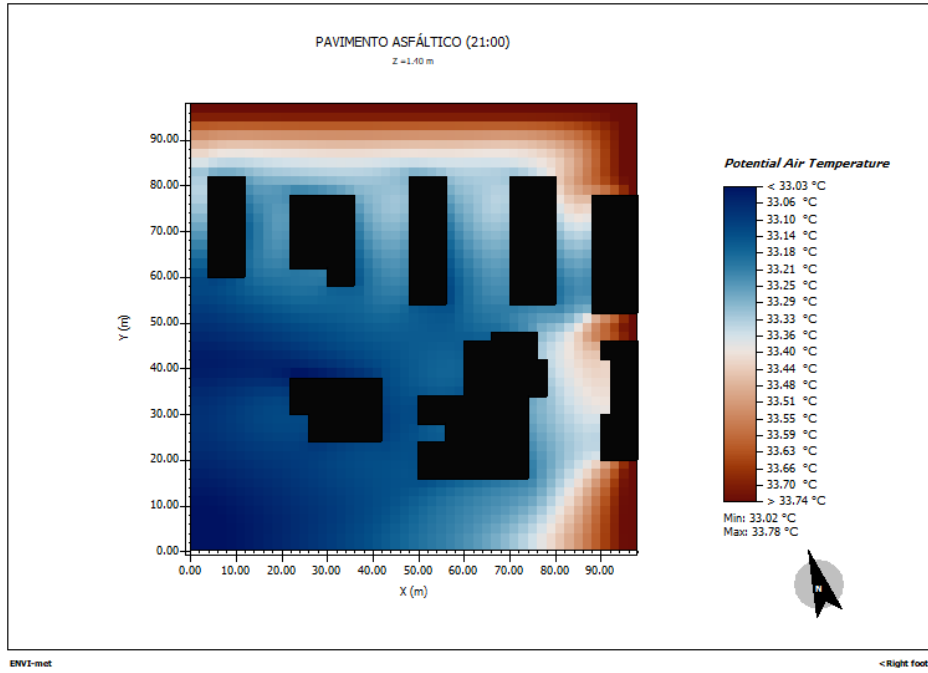
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE T — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 20:00 HORAS.



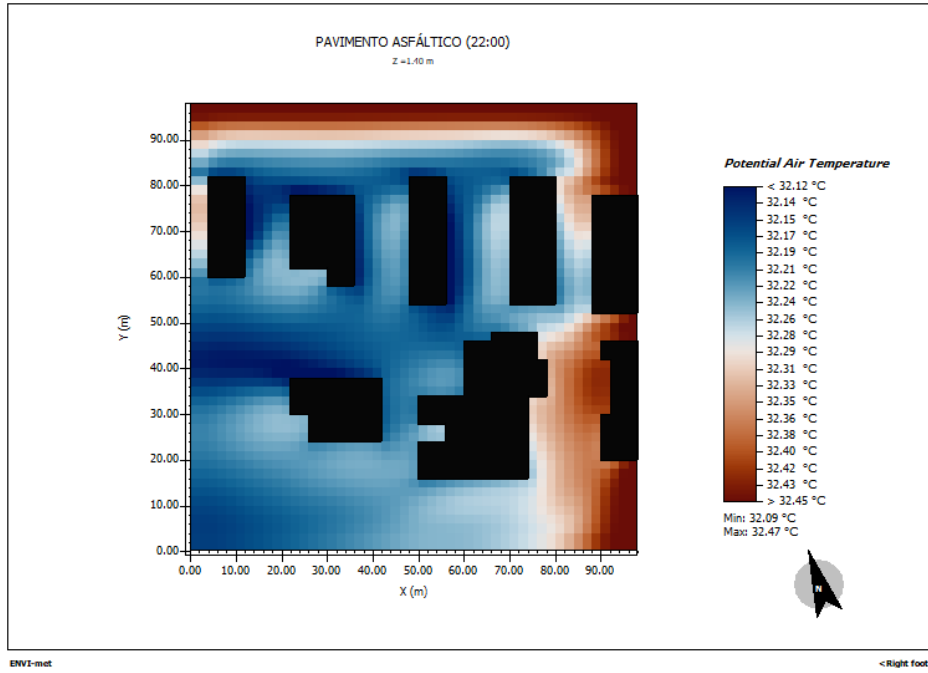
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE U — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 21:00 HORAS.



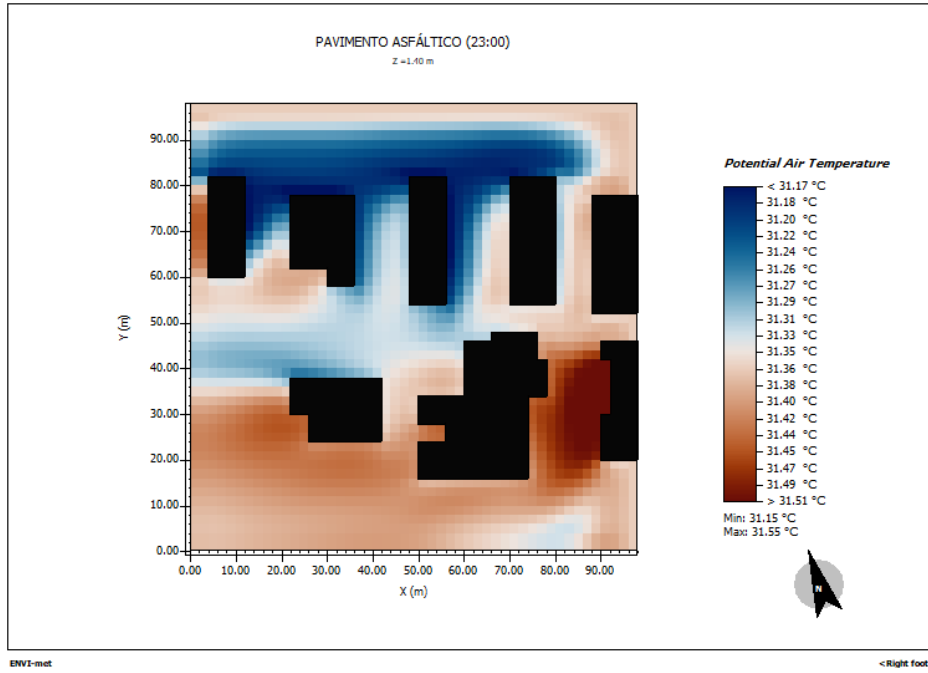
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE V — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 22:00 HORAS.



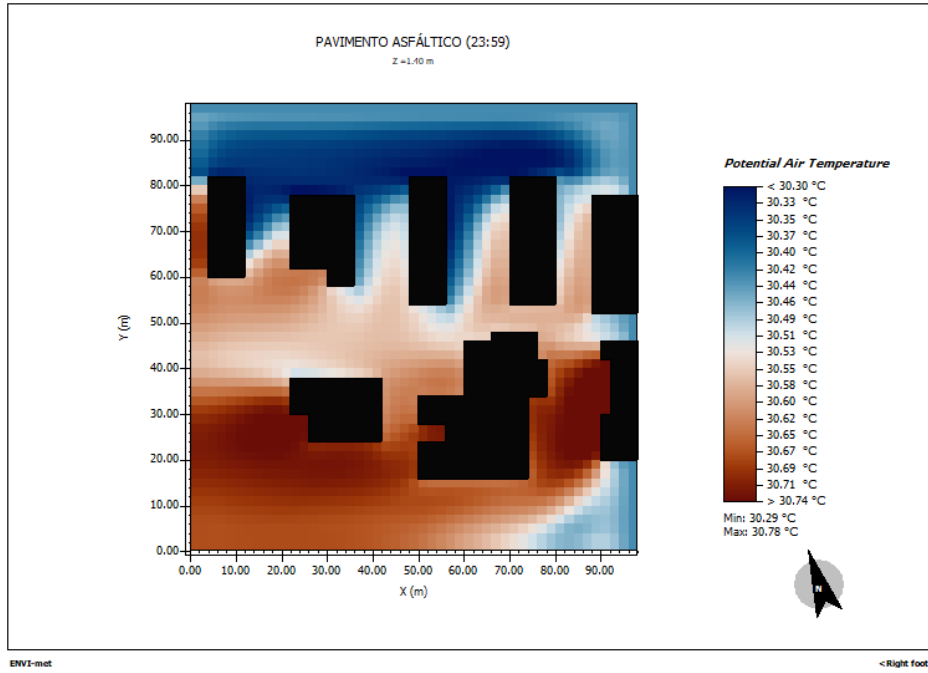
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE X — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:00 HORAS.



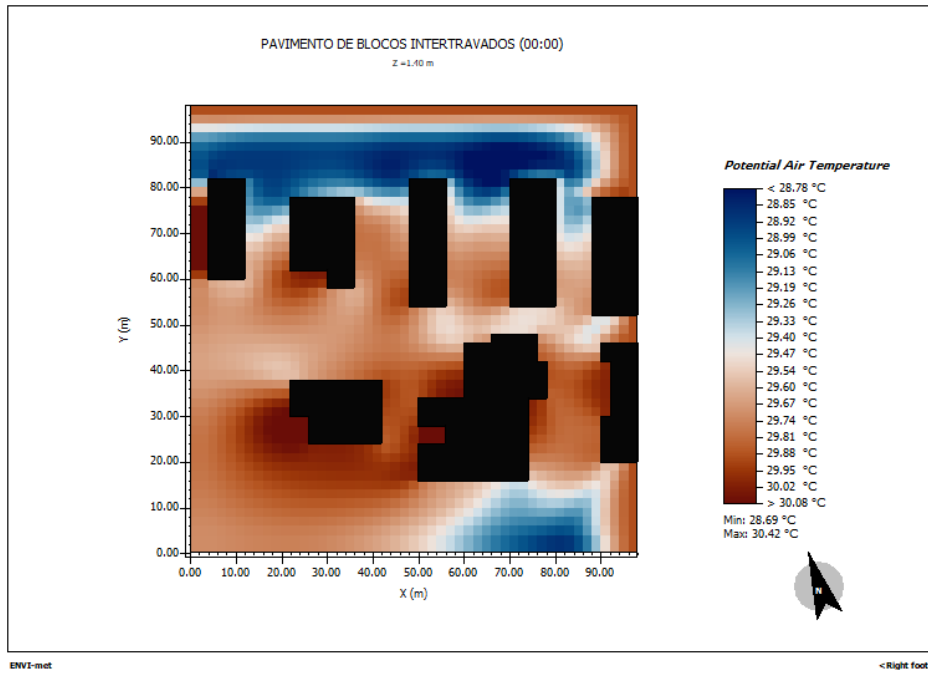
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE Y — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:59 HORAS.



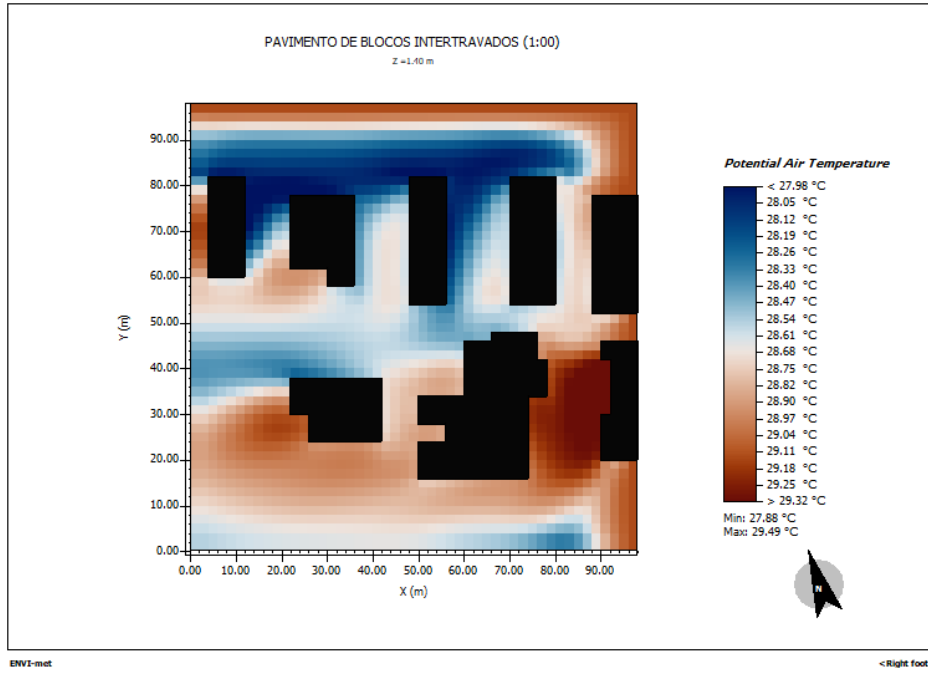
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE Z — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 00:00 HORAS.



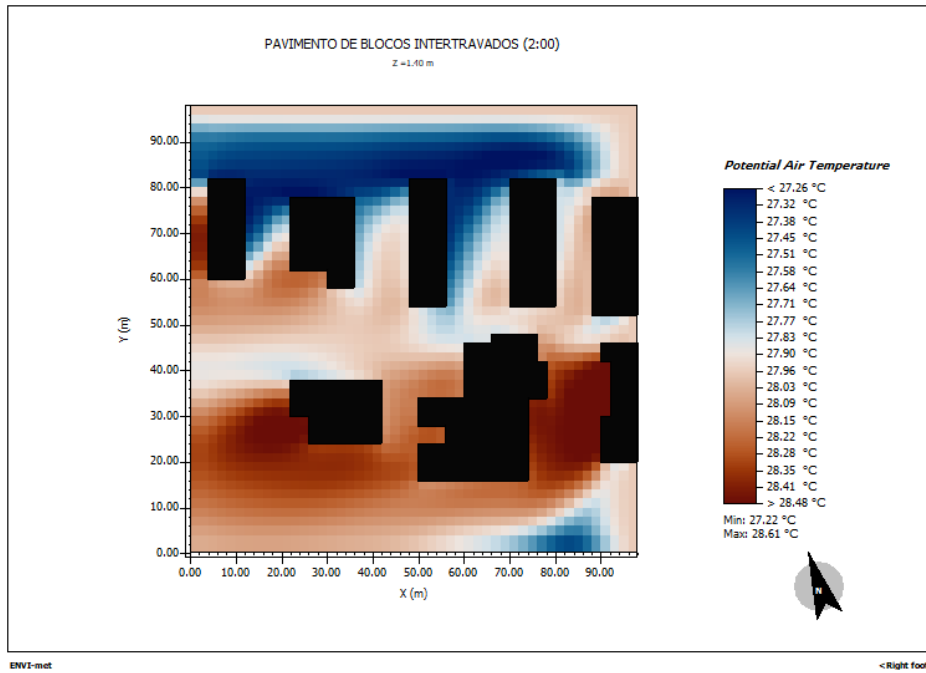
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AA — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 01:00 HORAS.



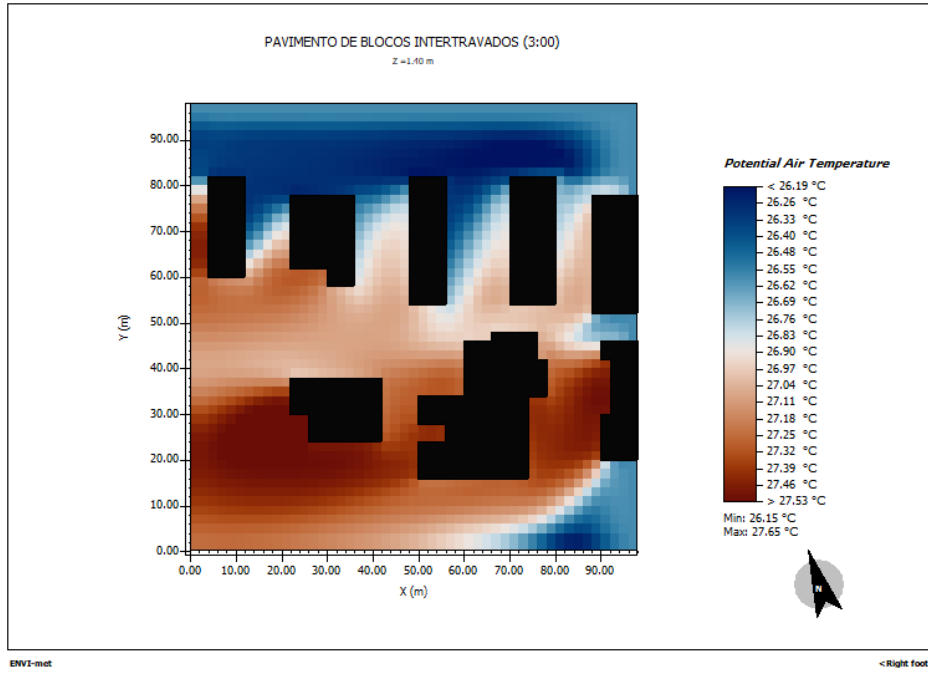
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AB — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 02:00 HORAS.**



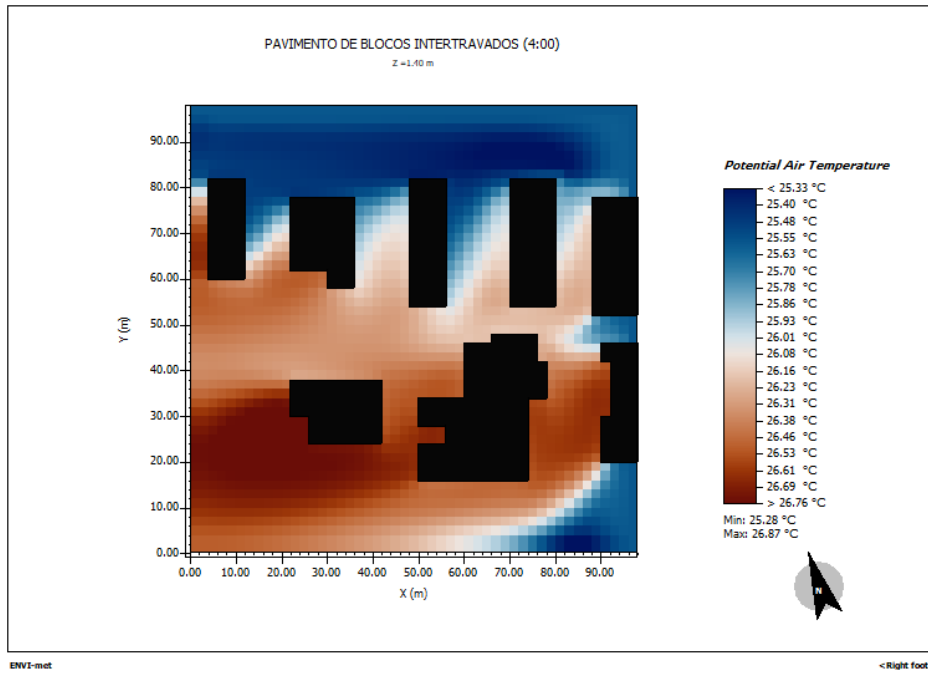
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AC — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 03:00 HORAS.



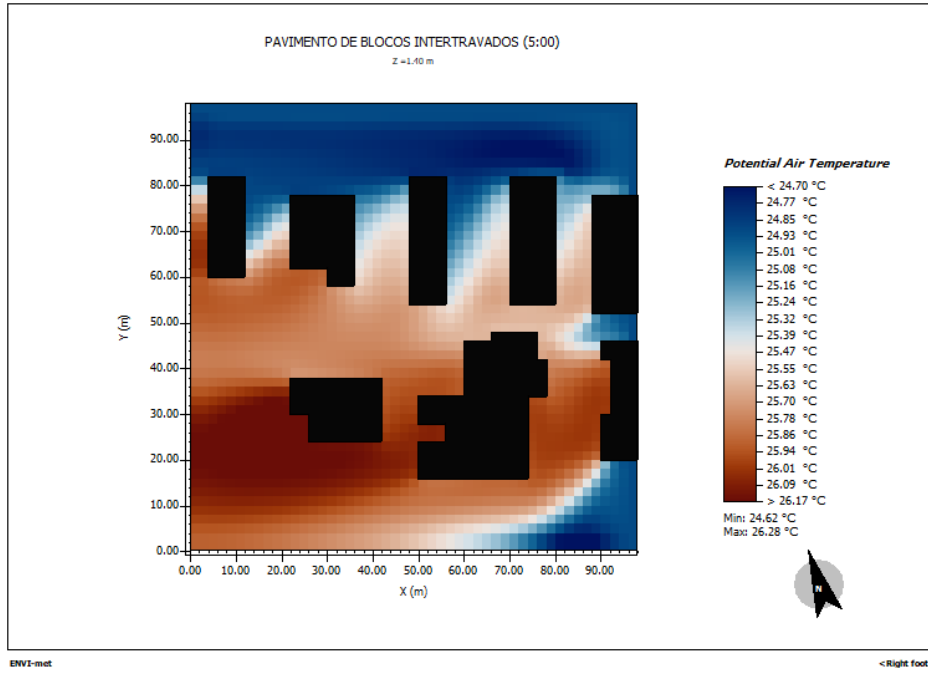
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AD — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 04:00 HORAS.



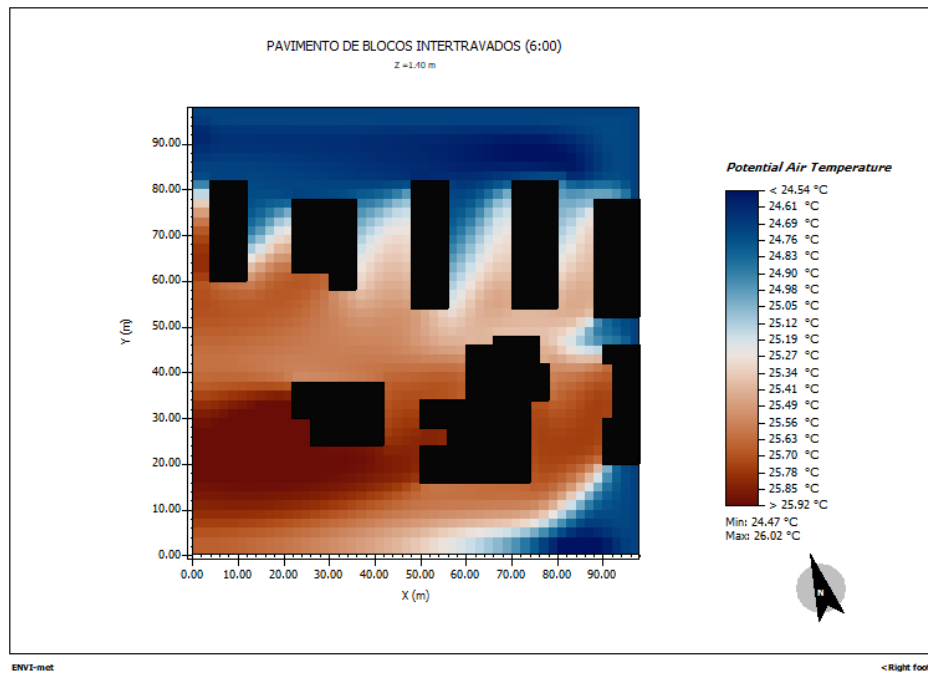
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AE — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 05:00 HORAS.



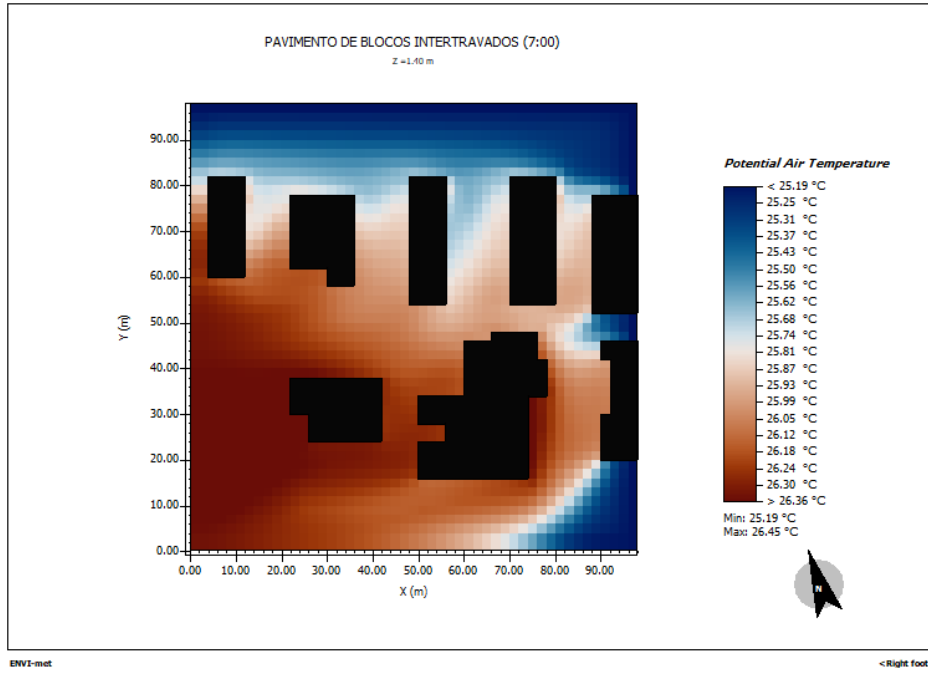
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AF — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 06:00 HORAS.



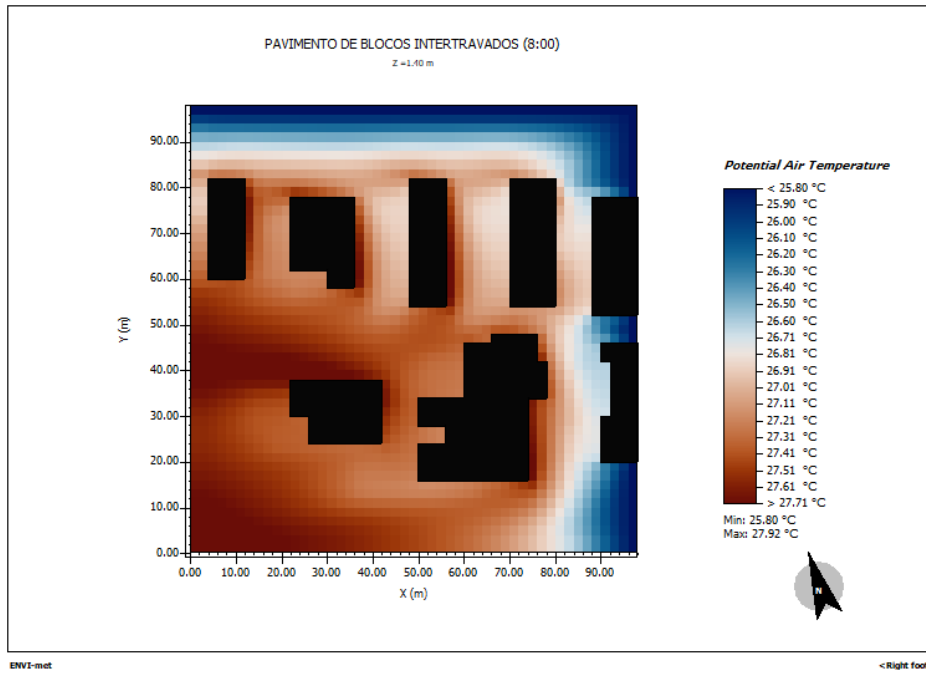
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AG — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 07:00 HORAS.



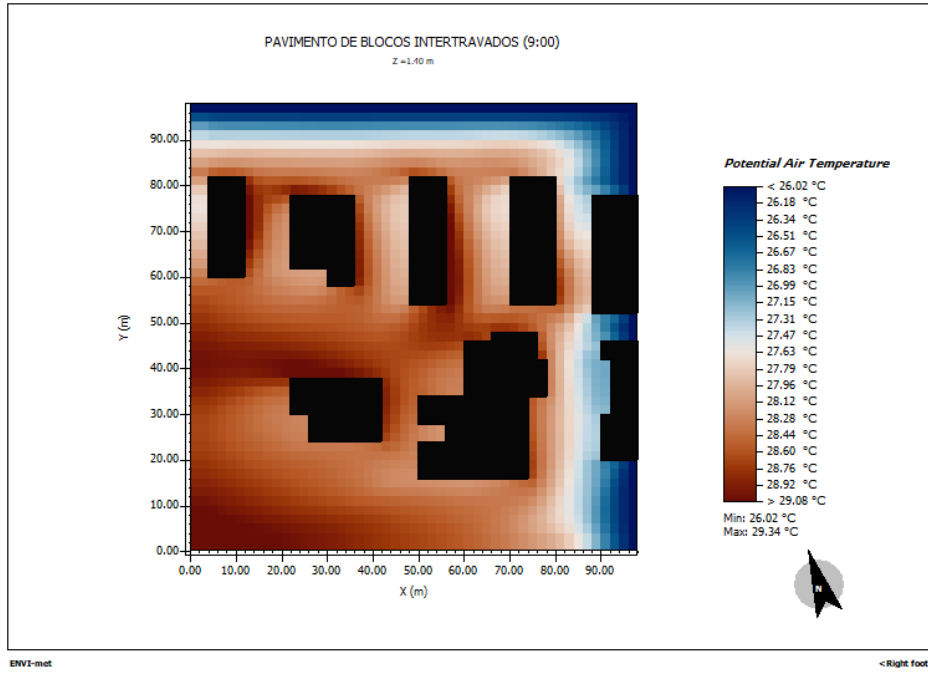
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AH — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 08:00 HORAS.



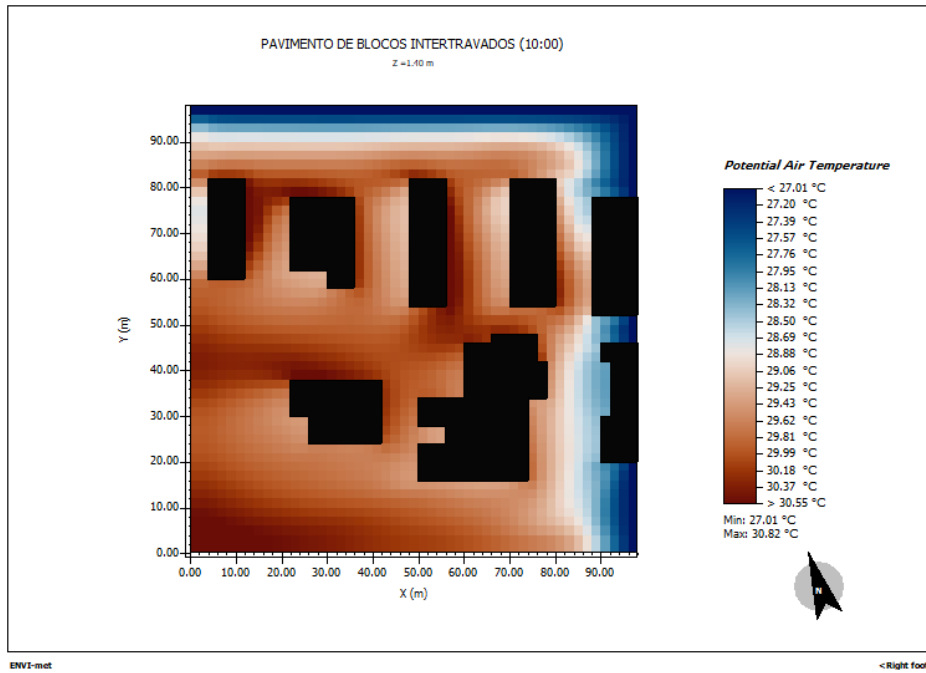
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AI — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 09:00 HORAS.



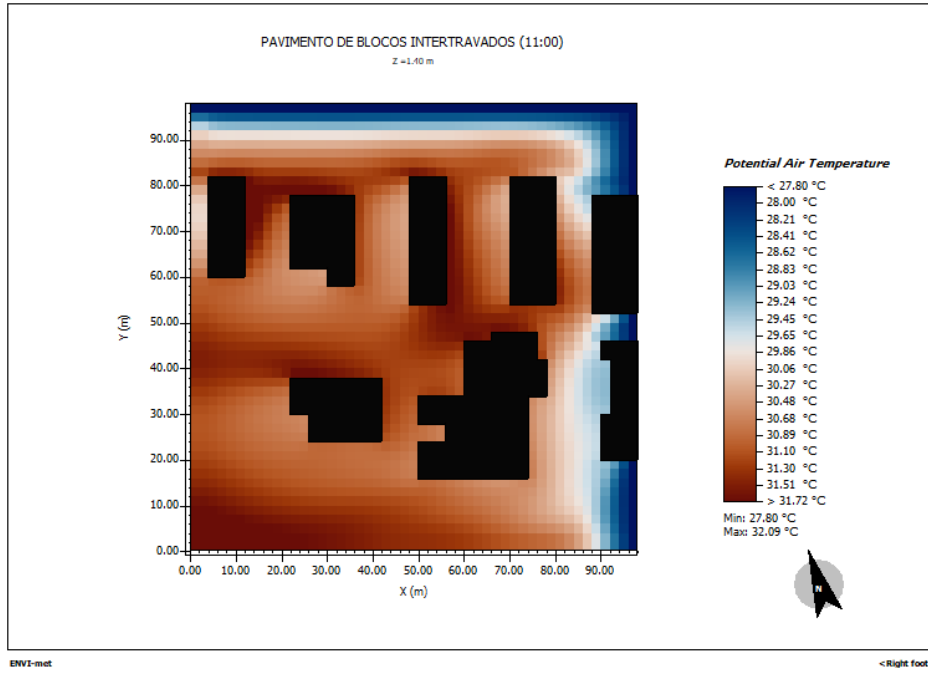
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AJ — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 10:00 HORAS.



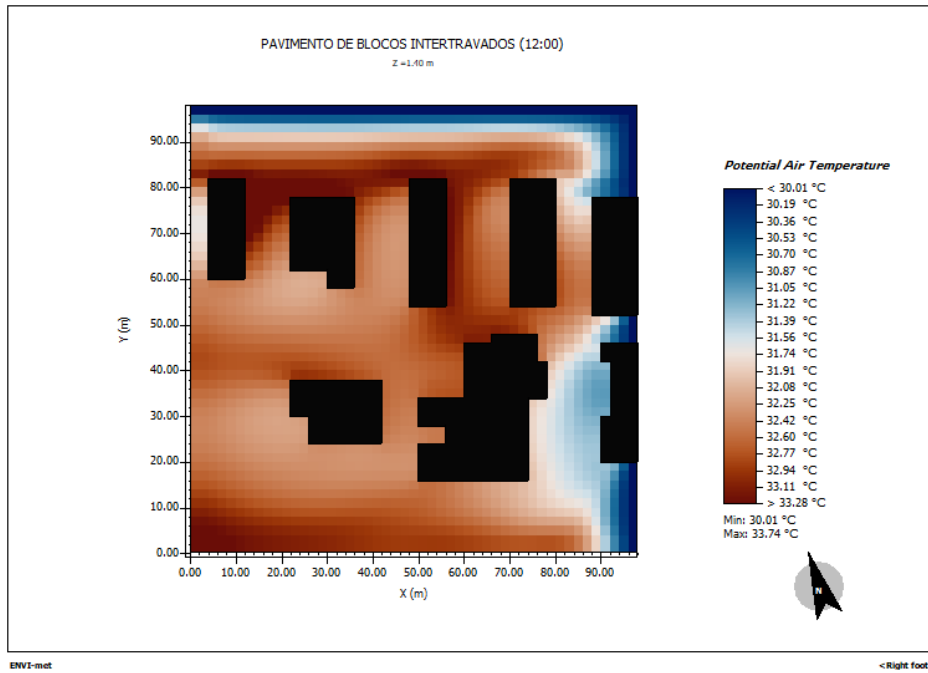
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AK — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 11:00 HORAS.



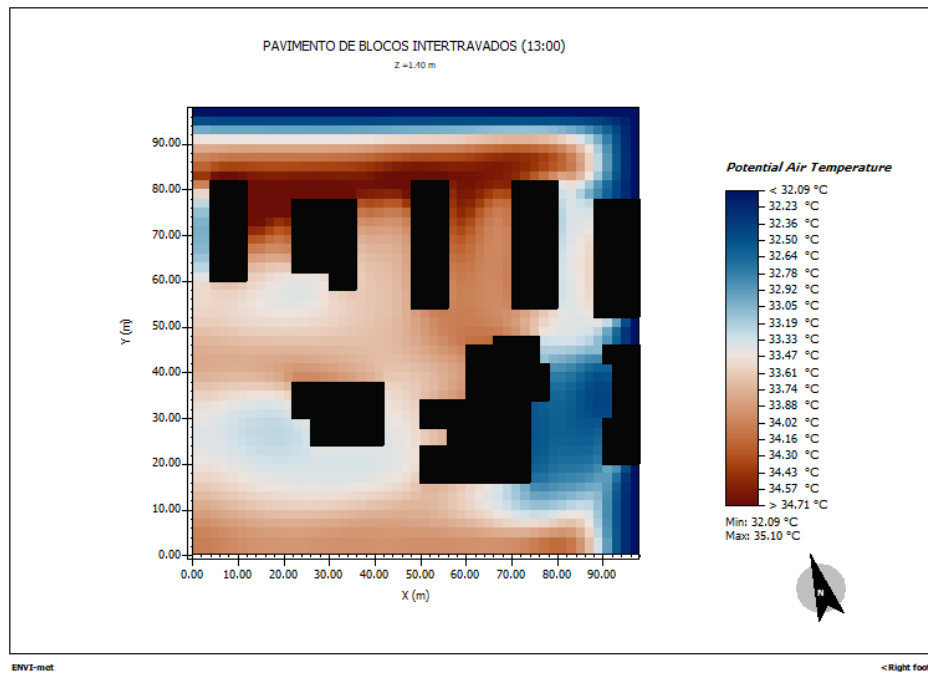
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AL — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 12:00 HORAS.**



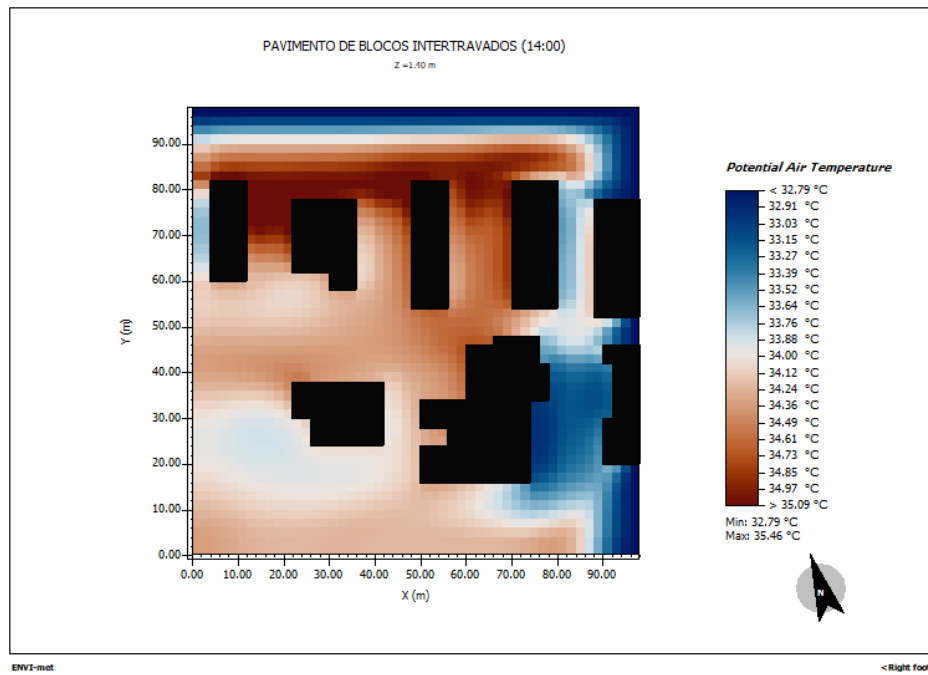
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AM — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 13:00 HORAS.**



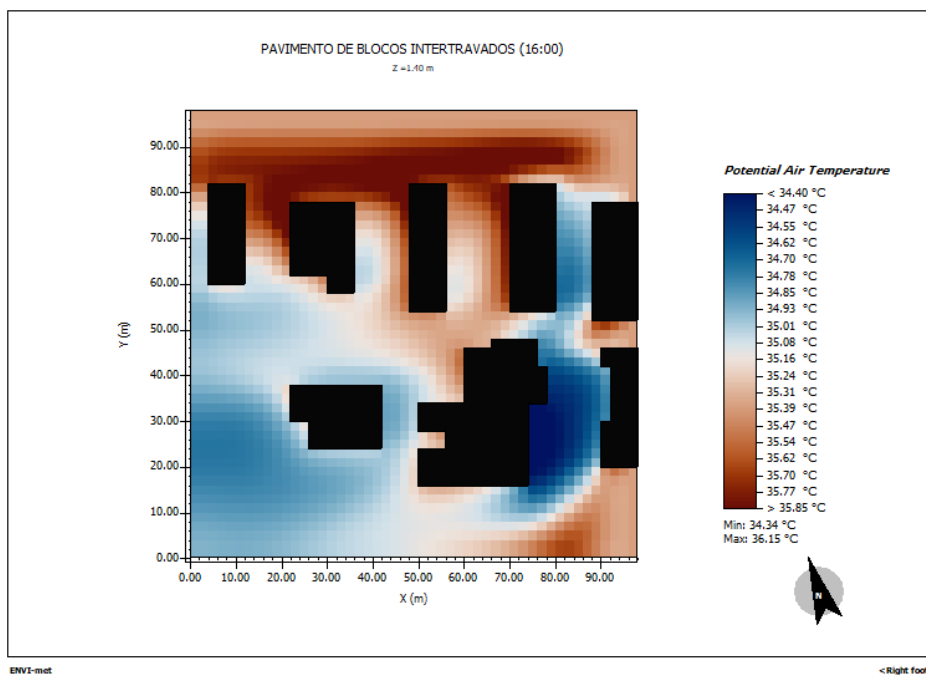
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AN — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 14:00 HORAS.**



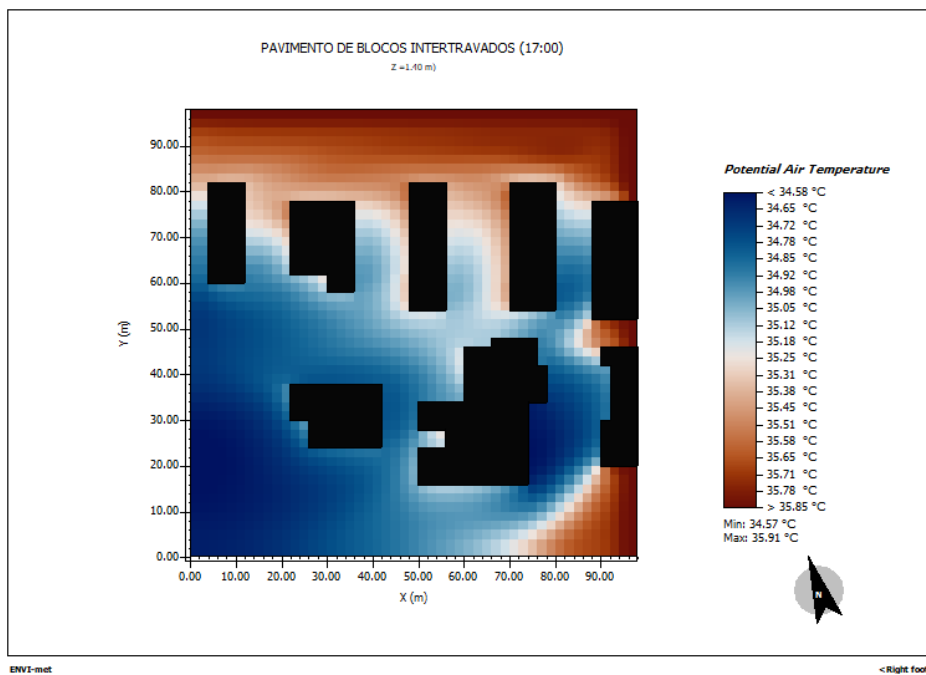
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AO — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 16:00 HORAS.**



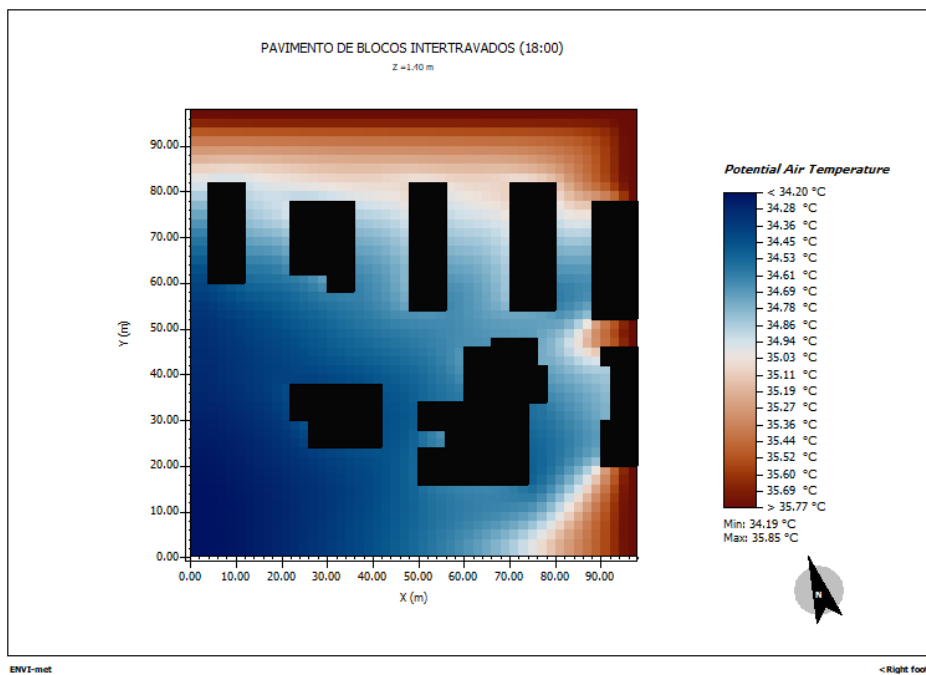
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AP — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 17:00 HORAS.**



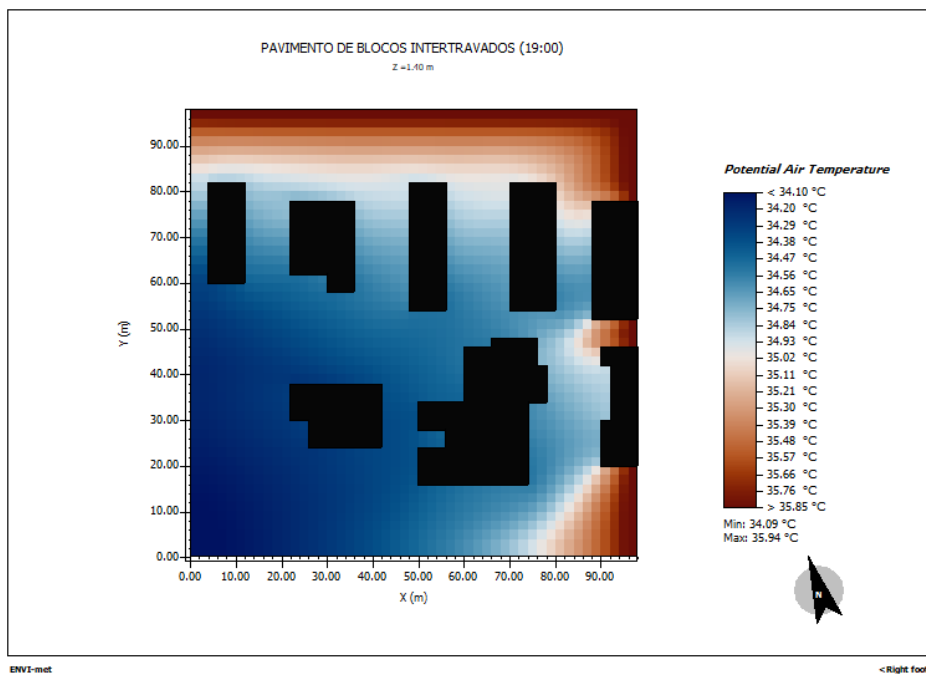
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AQ — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 18:00 HORAS.**



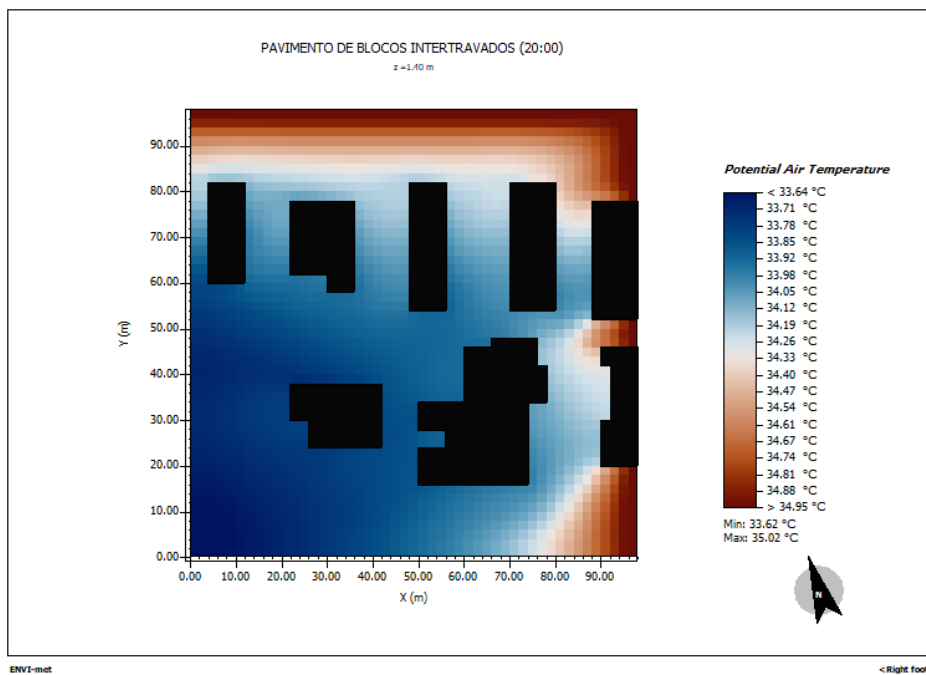
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AR — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 19:00 HORAS.**



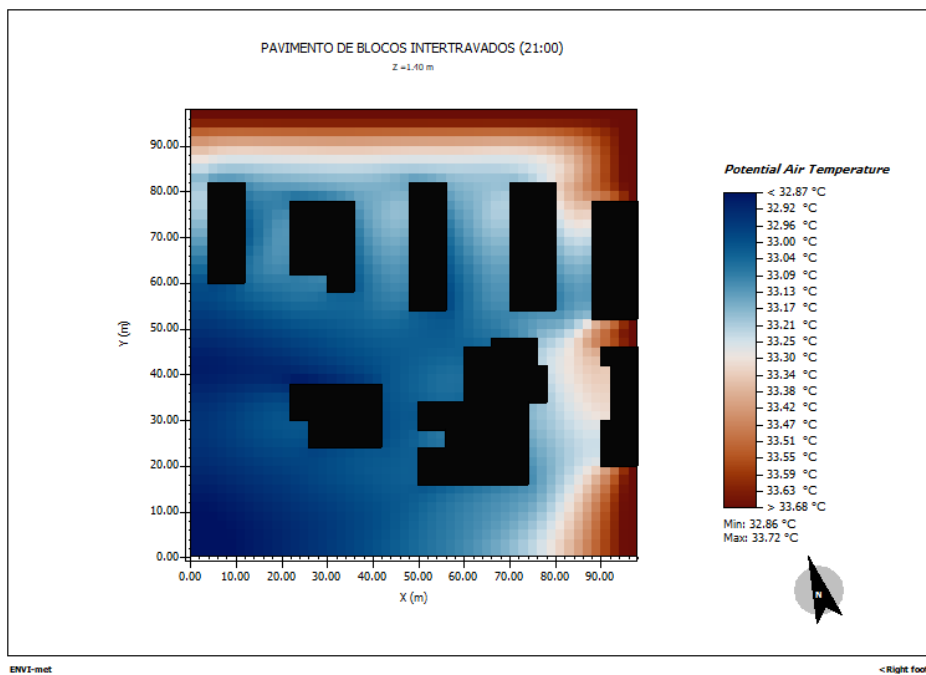
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AS — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 20:00 HORAS.



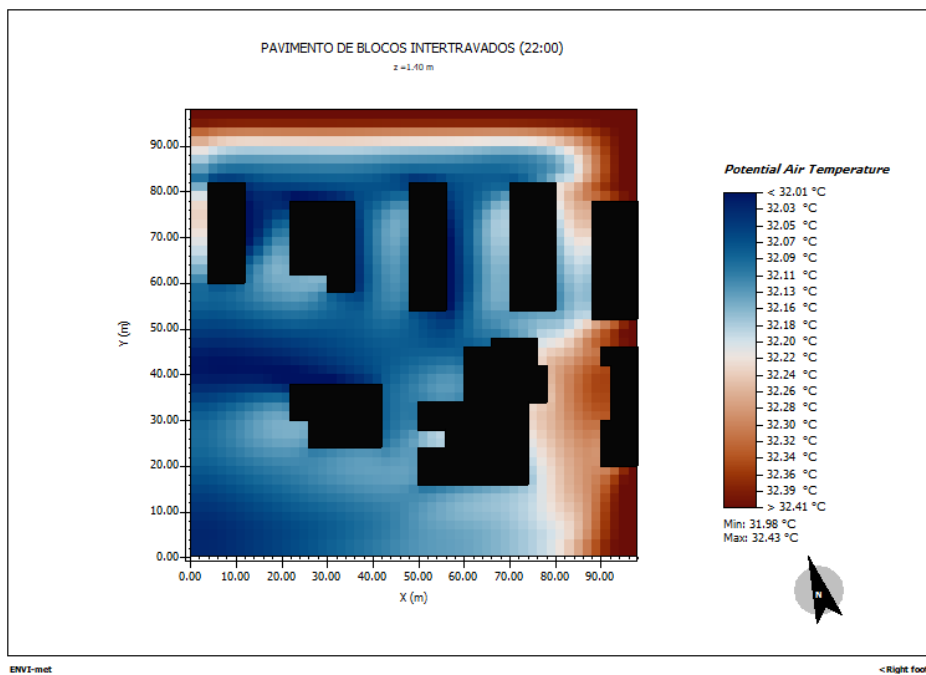
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AT — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 21:00 HORAS.**



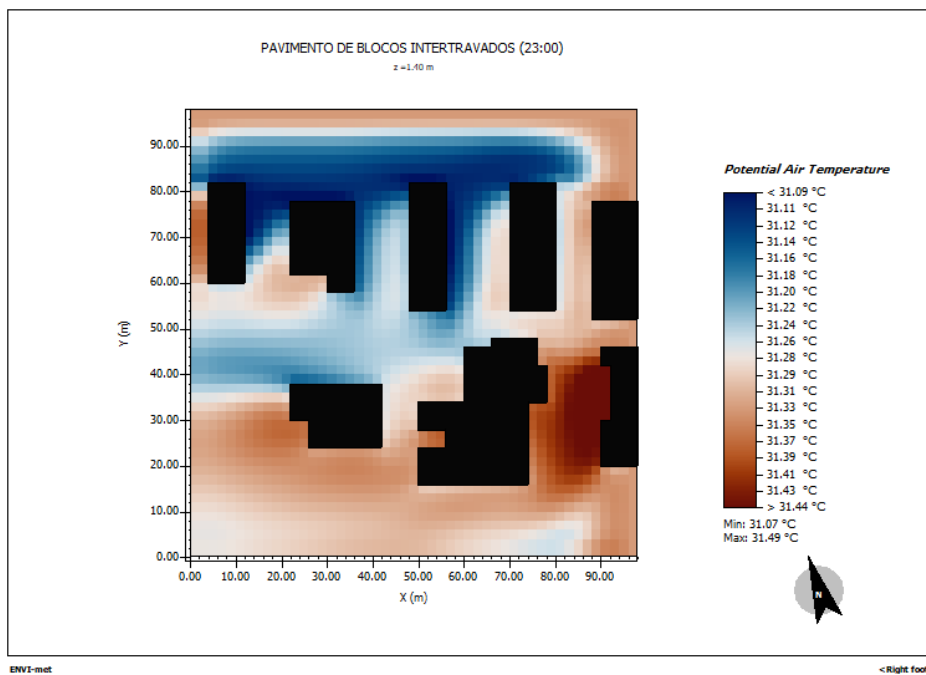
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AU — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 22:00 HORAS.**



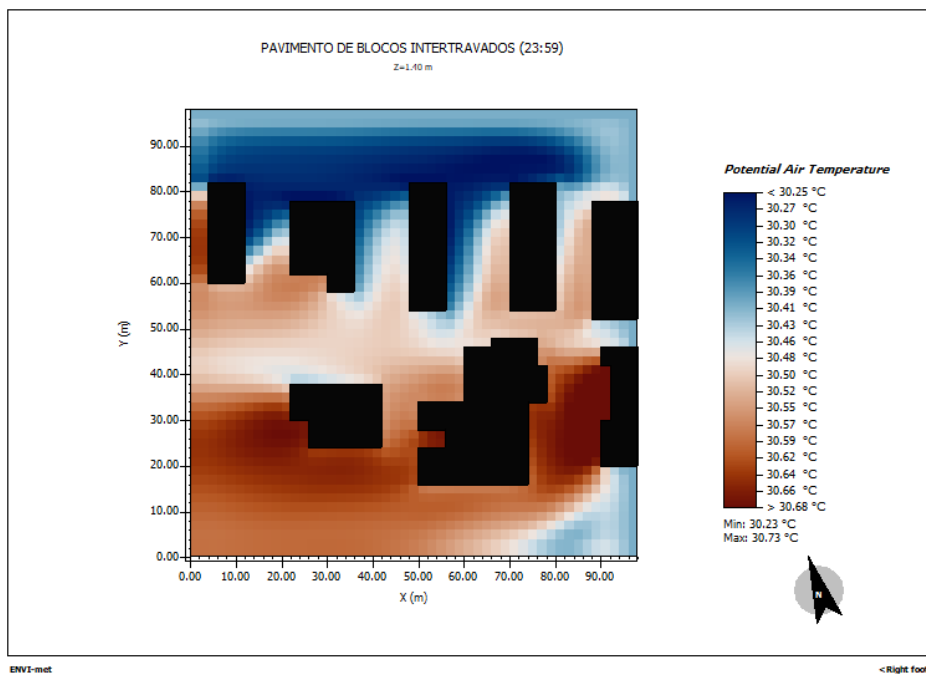
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AV — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:00 HORAS.**



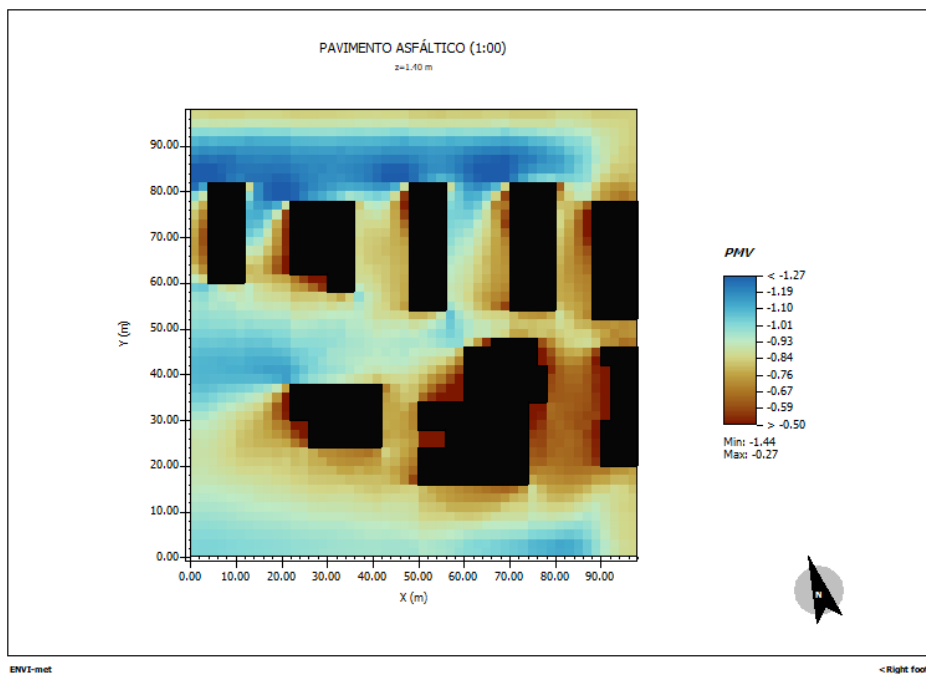
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE AW — MAPA DE TEMPERATURA DO AR DO
PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:59 HORAS.**



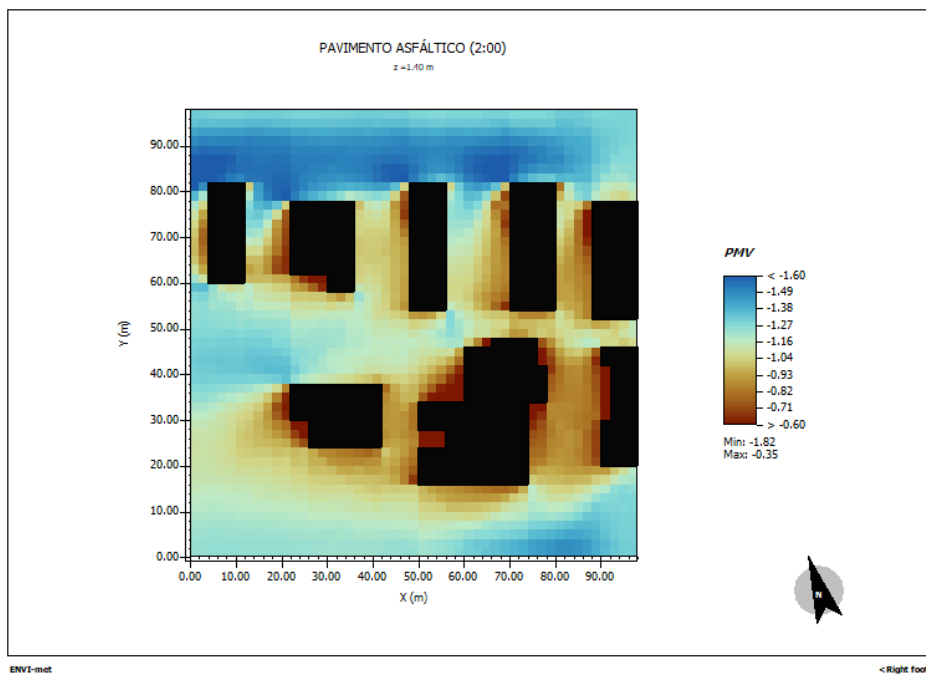
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AX — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 01:00 HORAS.



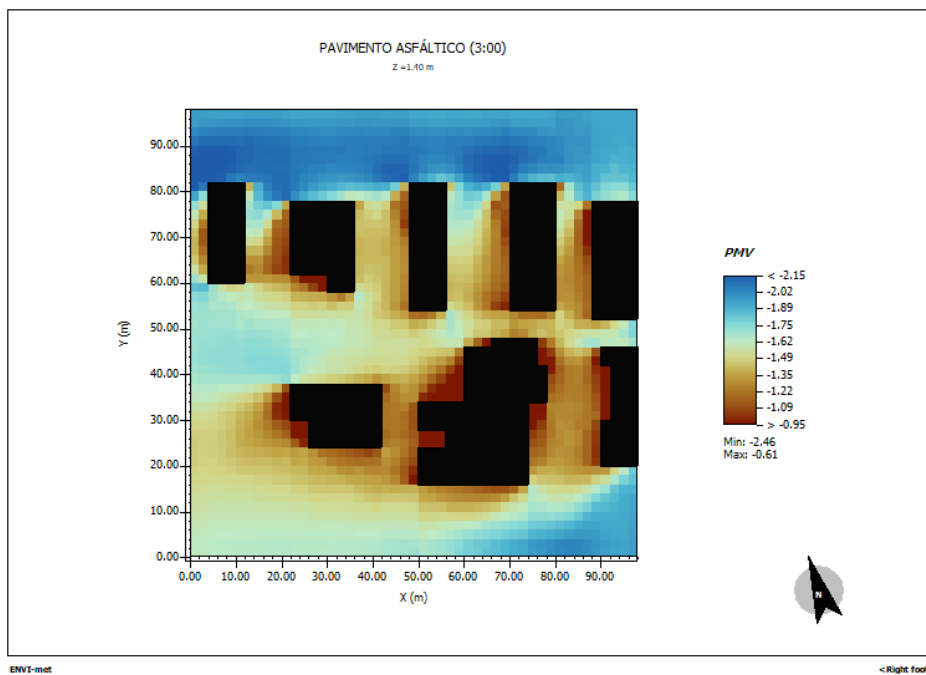
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AY — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 02:00 HORAS.



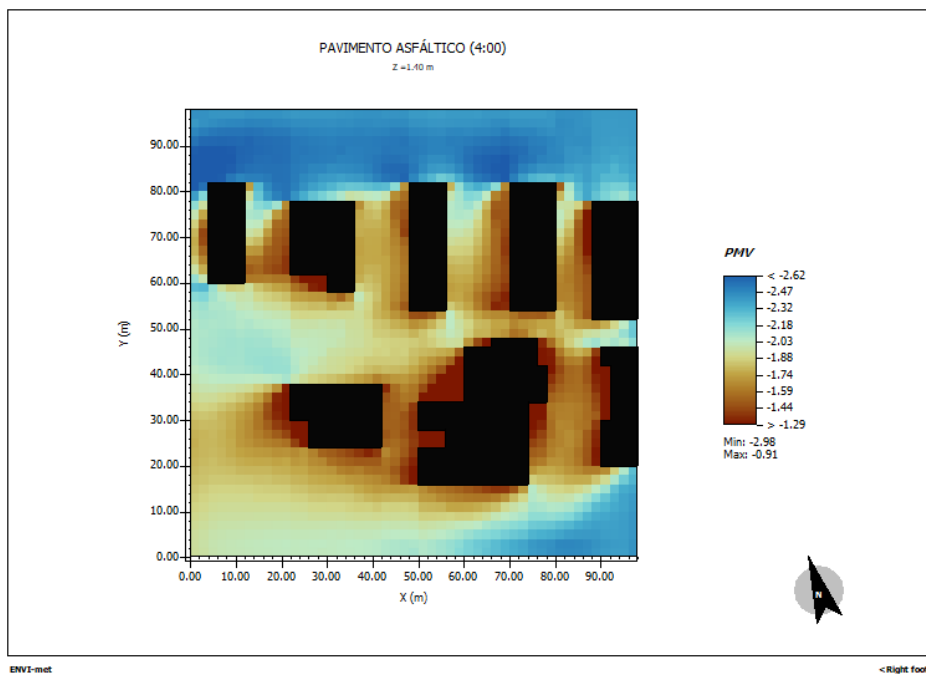
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE AZ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 03:00 HORAS.



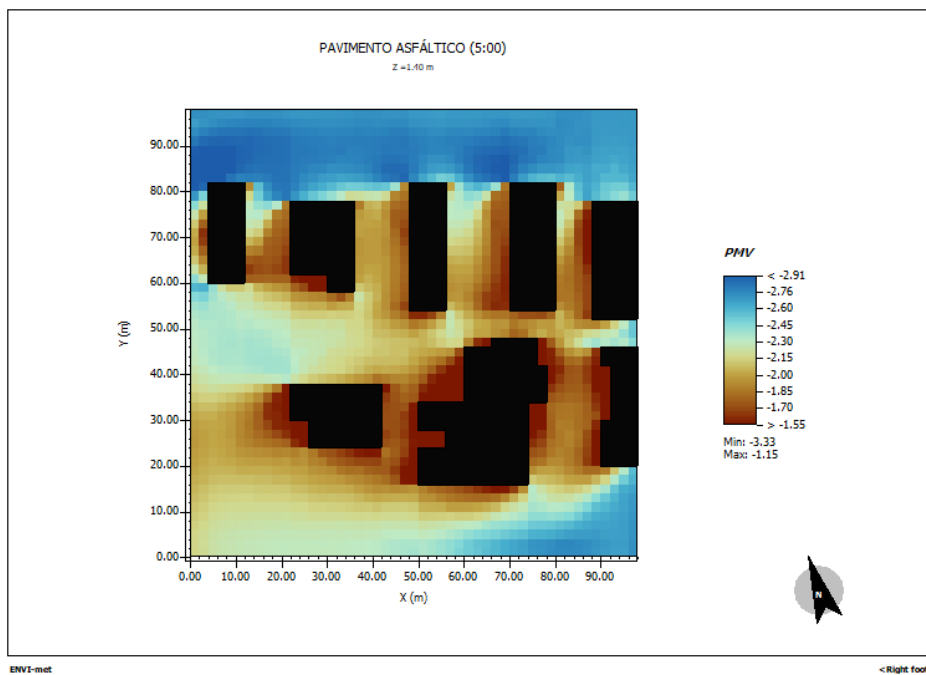
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BA — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 04:00 HORAS.



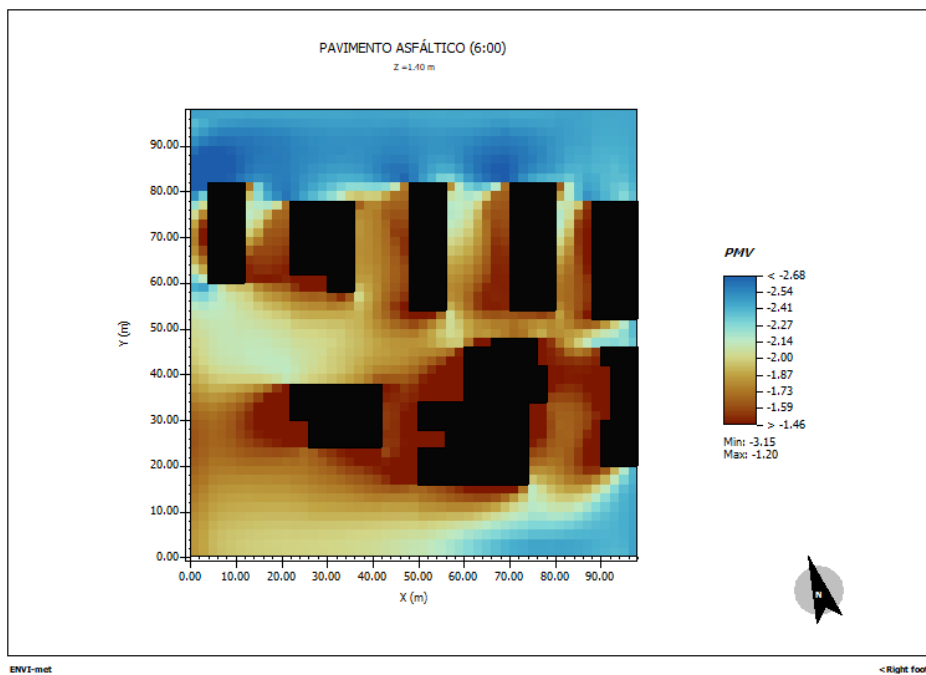
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BB — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 05:00 HORAS.



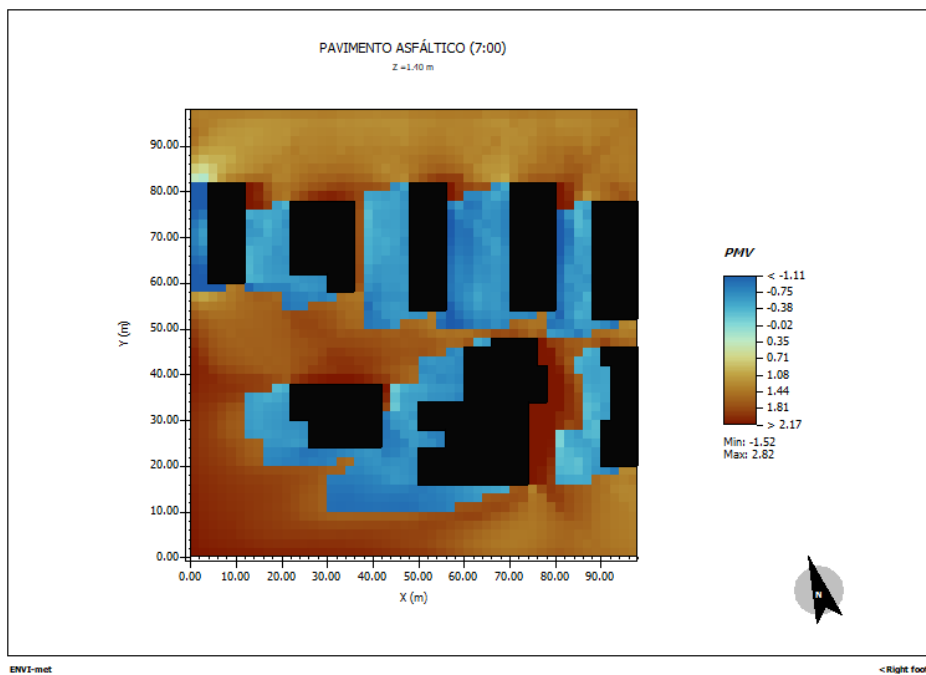
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BC — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 06:00 HORAS.



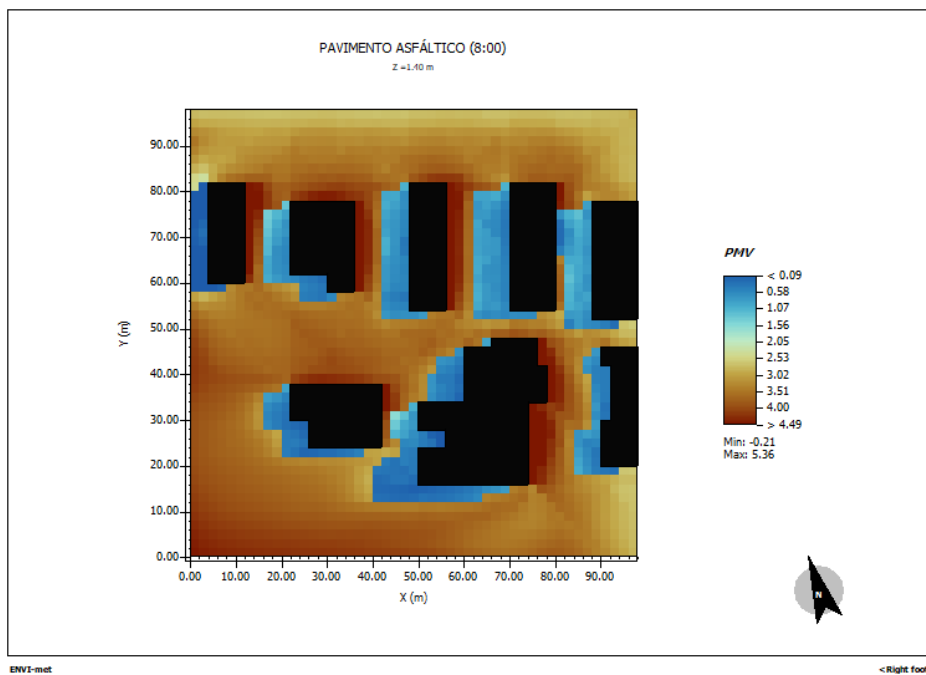
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BD — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 07:00 HORAS.



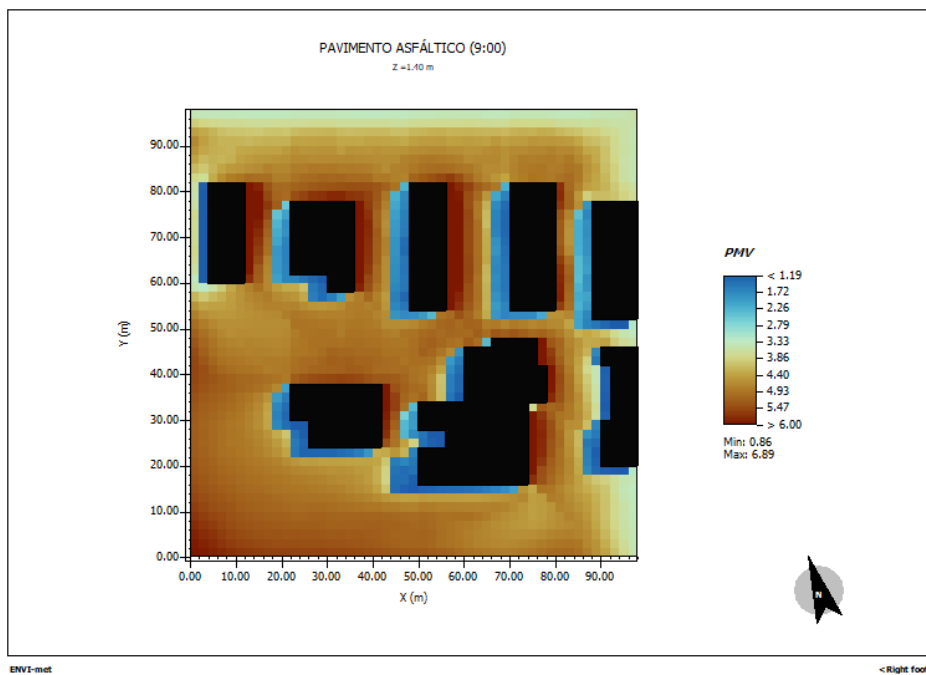
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BE — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 08:00 HORAS.



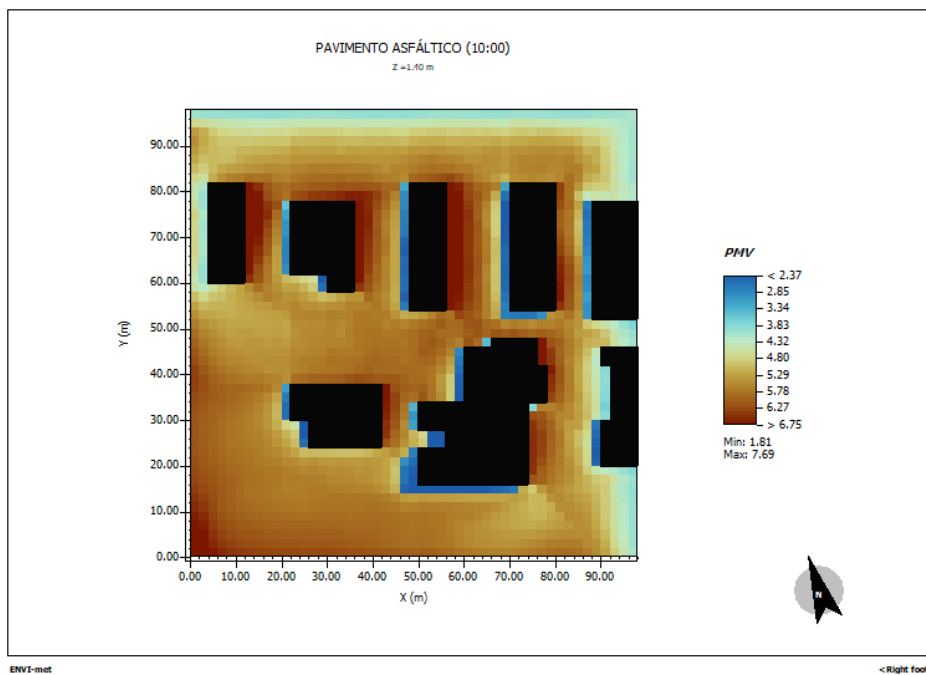
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BF — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 09:00 HORAS.



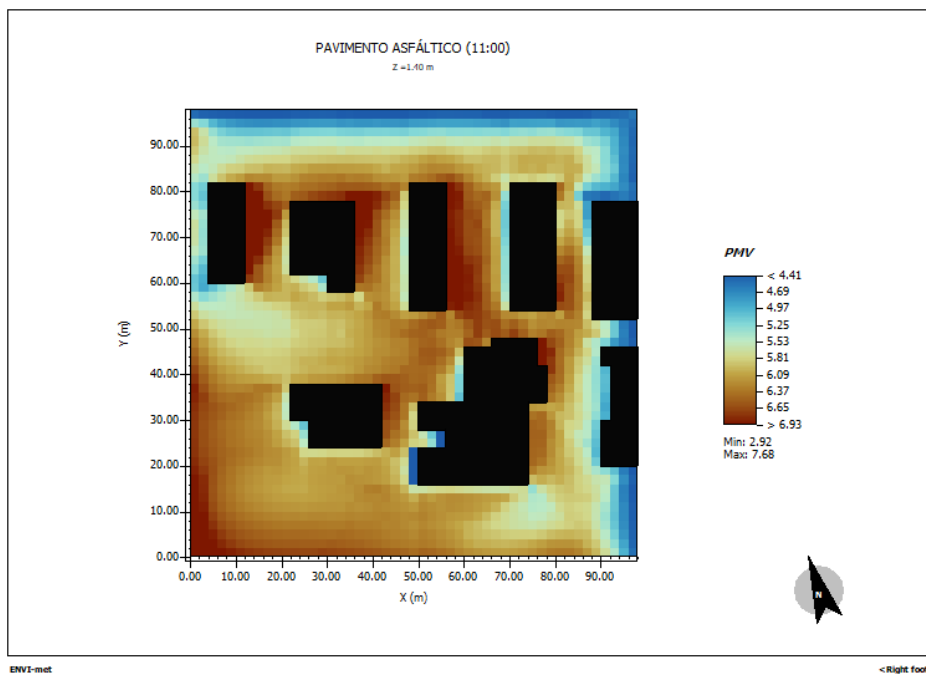
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BG — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 10:00 HORAS.



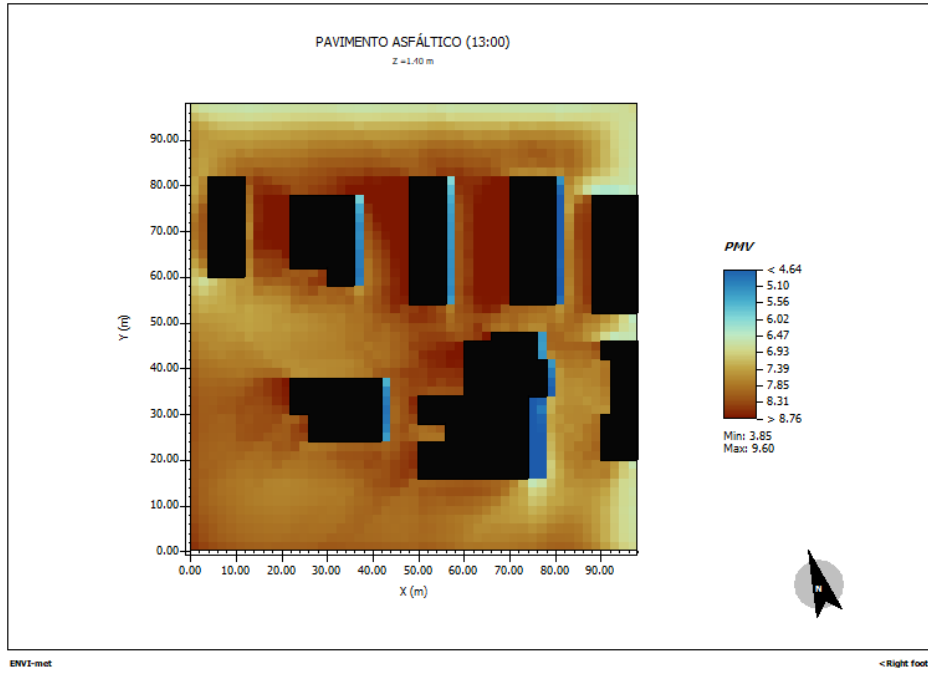
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BH — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 11:00 HORAS.



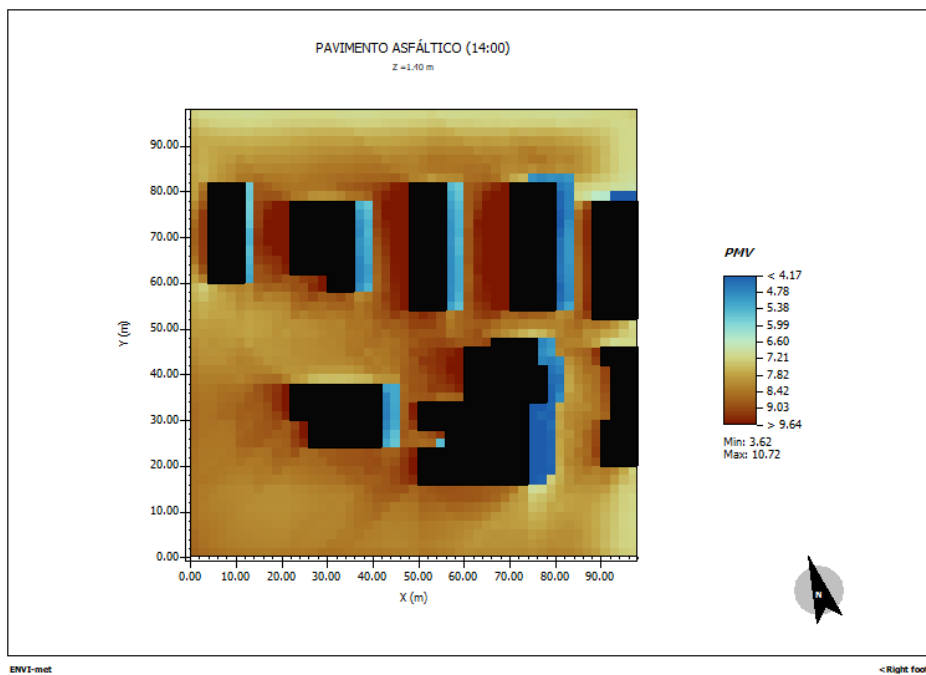
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BI — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 13:00 HORAS.



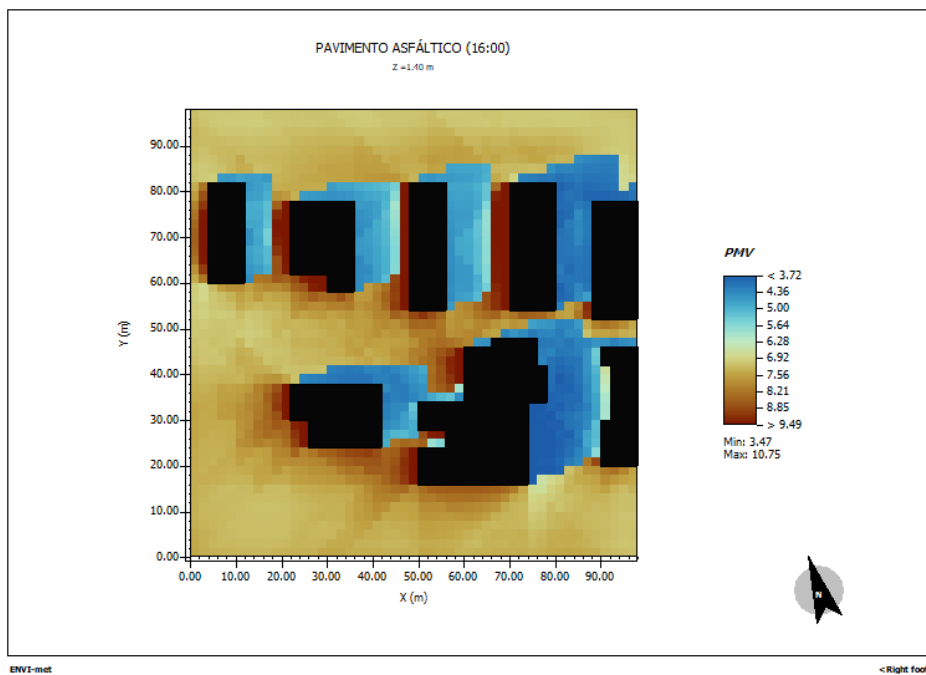
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BJ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 14:00 HORAS.



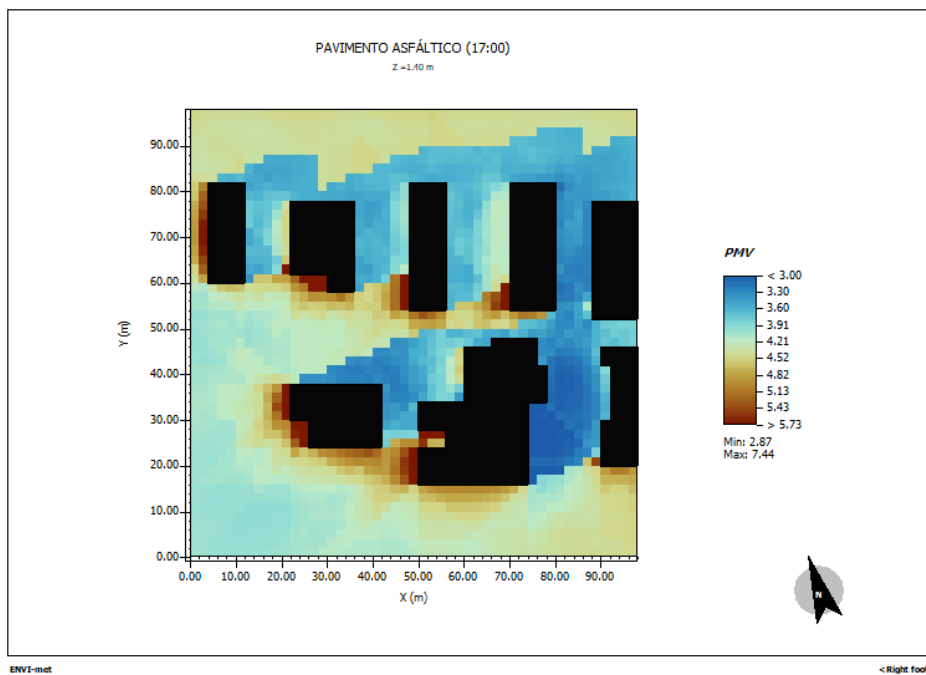
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BK — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 16:00 HORAS.



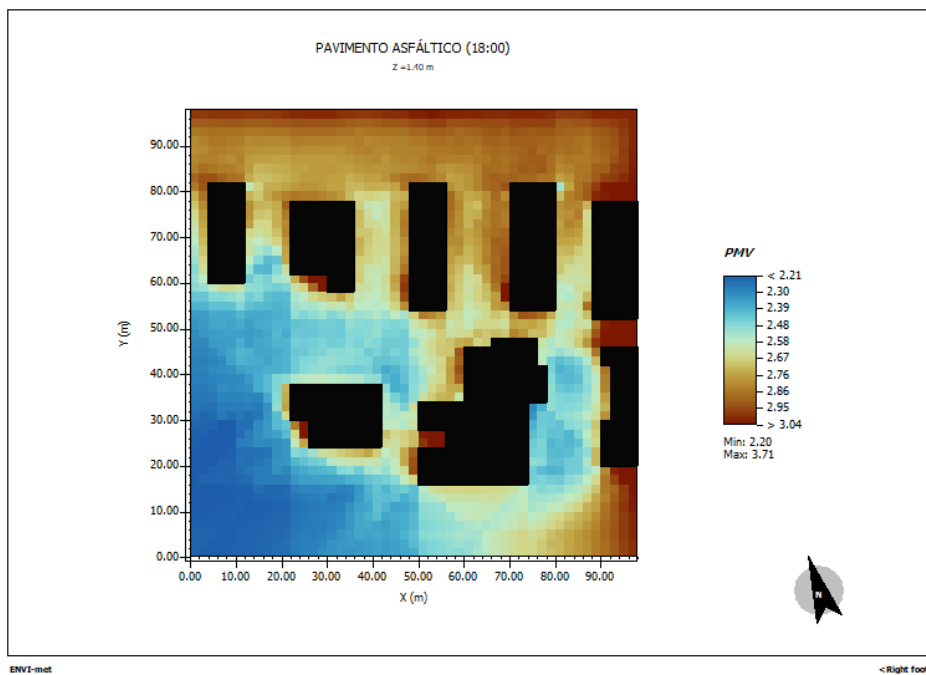
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BL — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 17:00 HORAS.



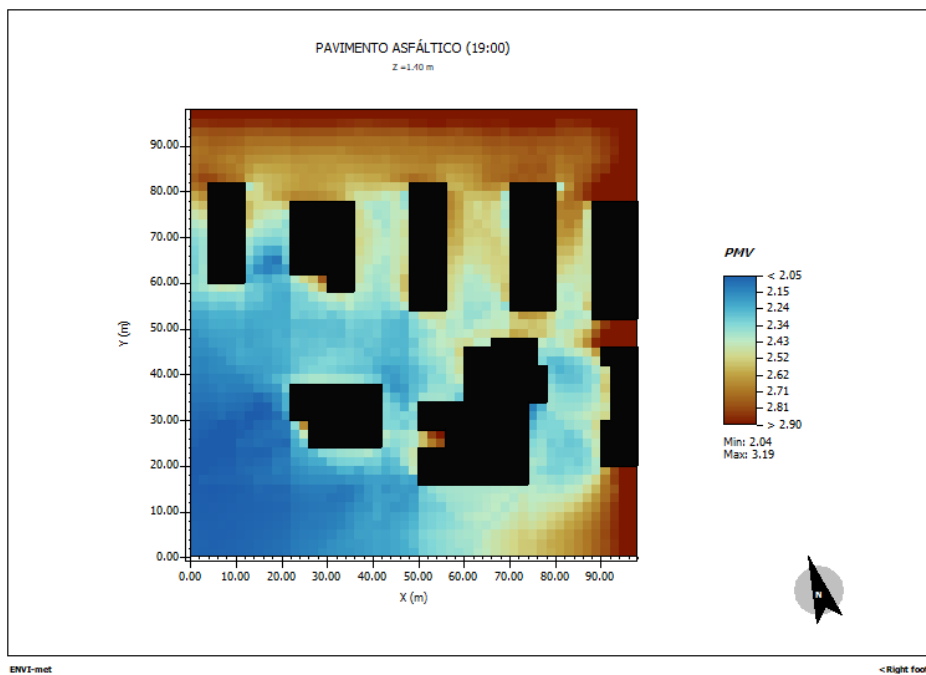
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BM — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 18:00 HORAS.



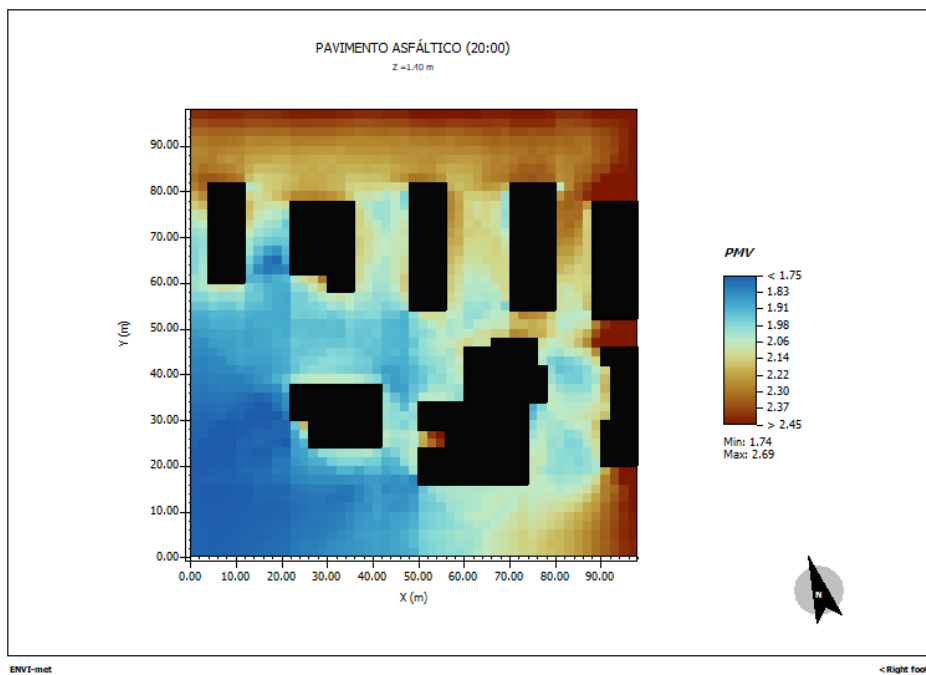
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BN — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 19:00 HORAS.



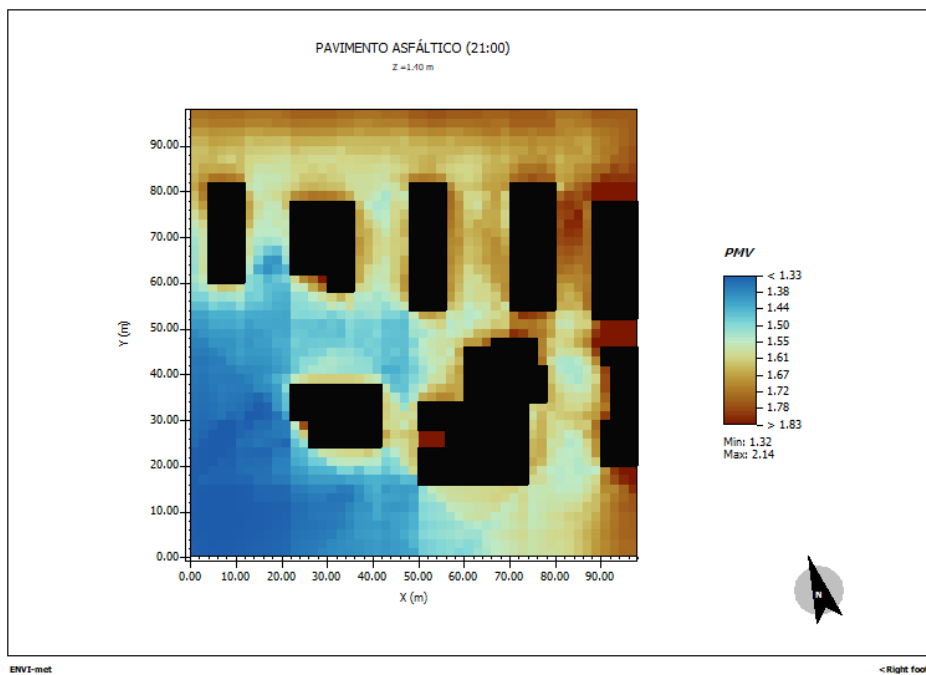
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BO — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 20:00 HORAS.



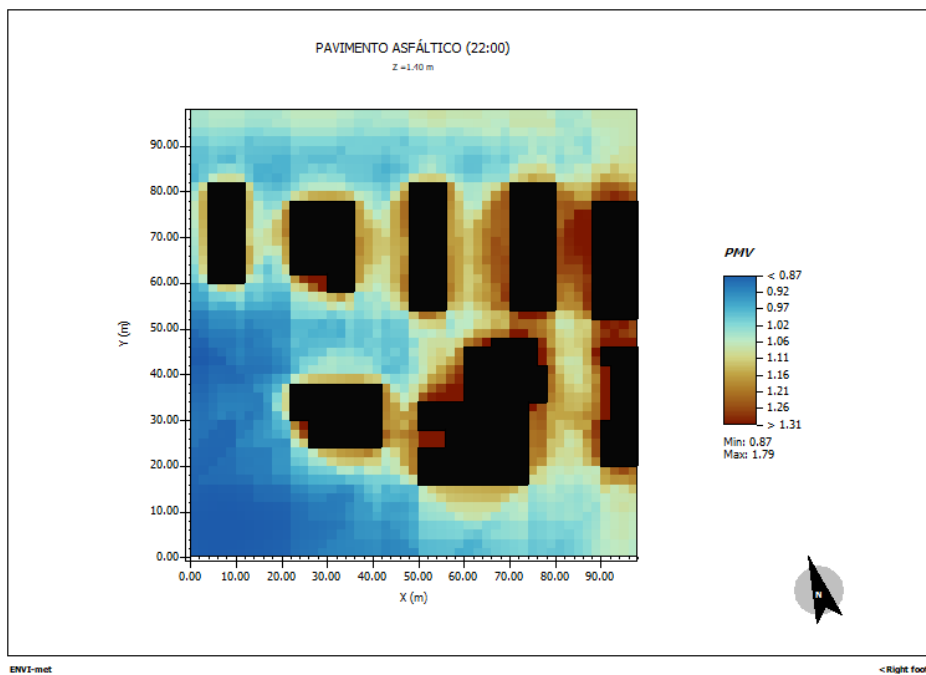
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BP — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 21:00 HORAS.



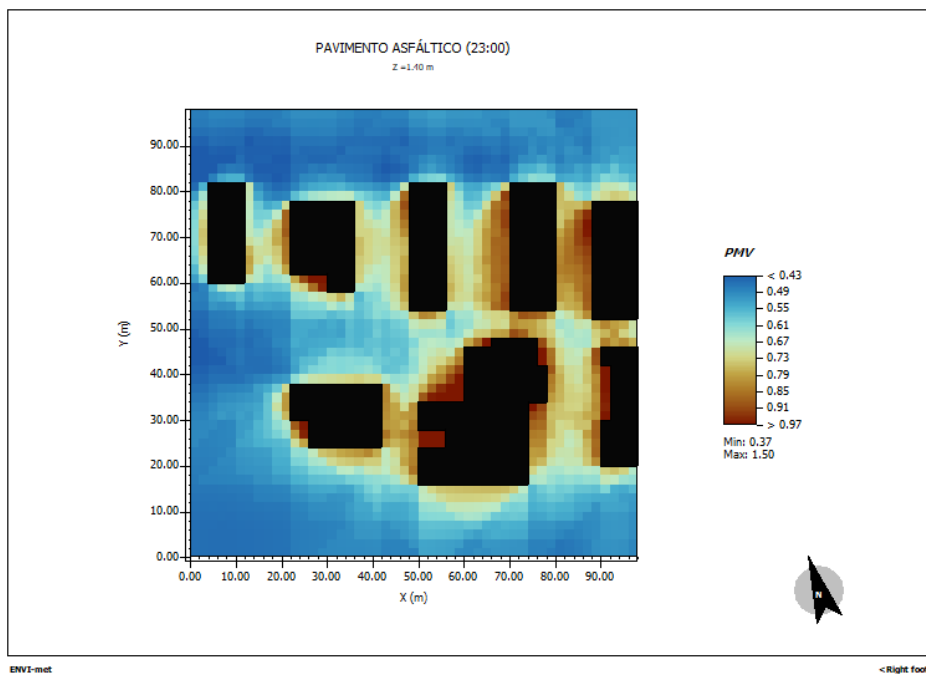
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BQ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 22:00 HORAS.



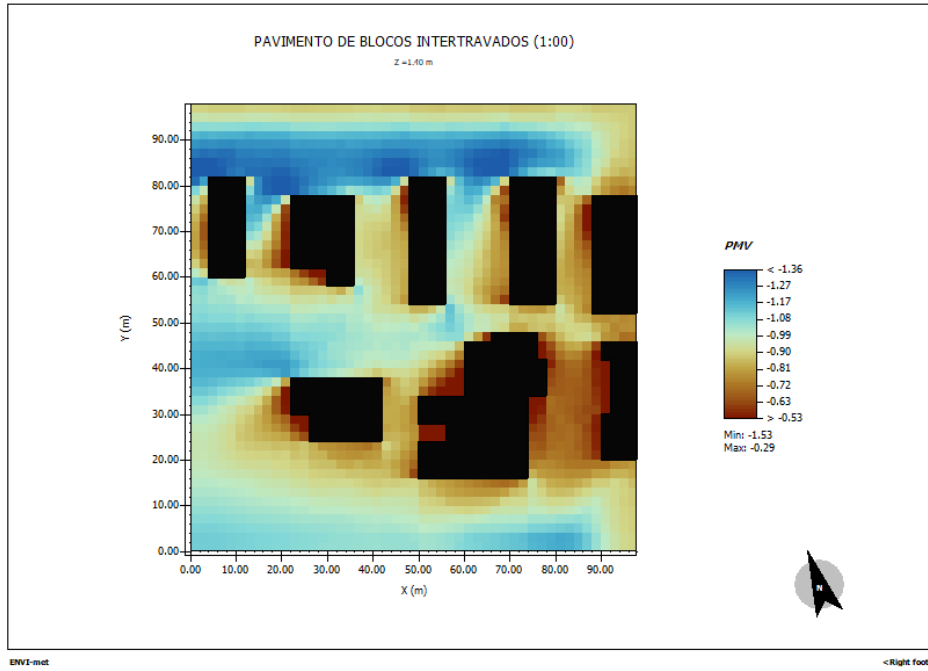
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BR — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO ASFÁLTICO ÀS 23:00 HORAS.



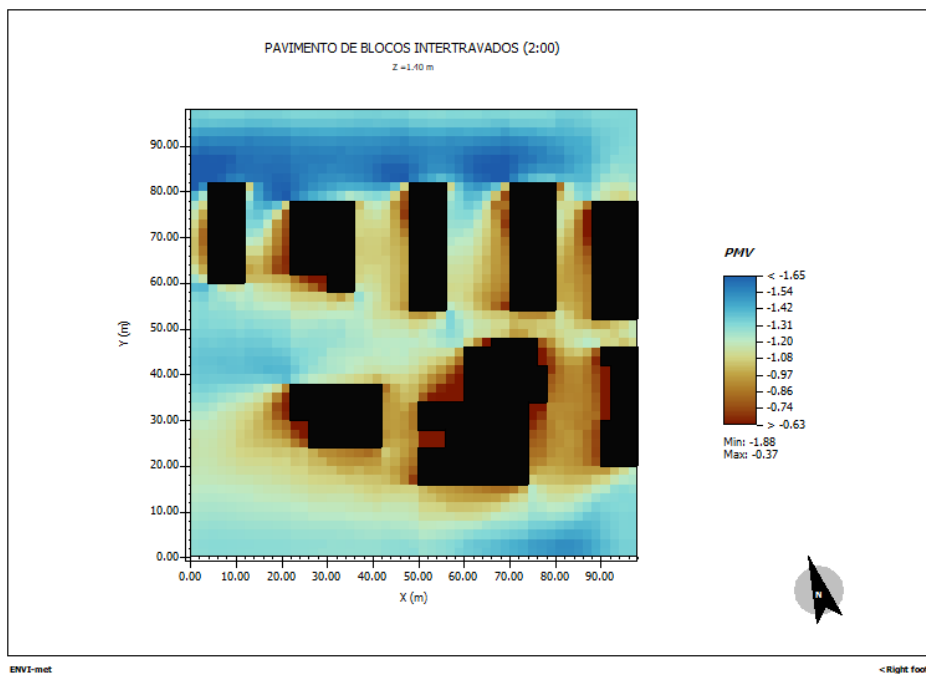
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BR — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 01:00 HORAS.



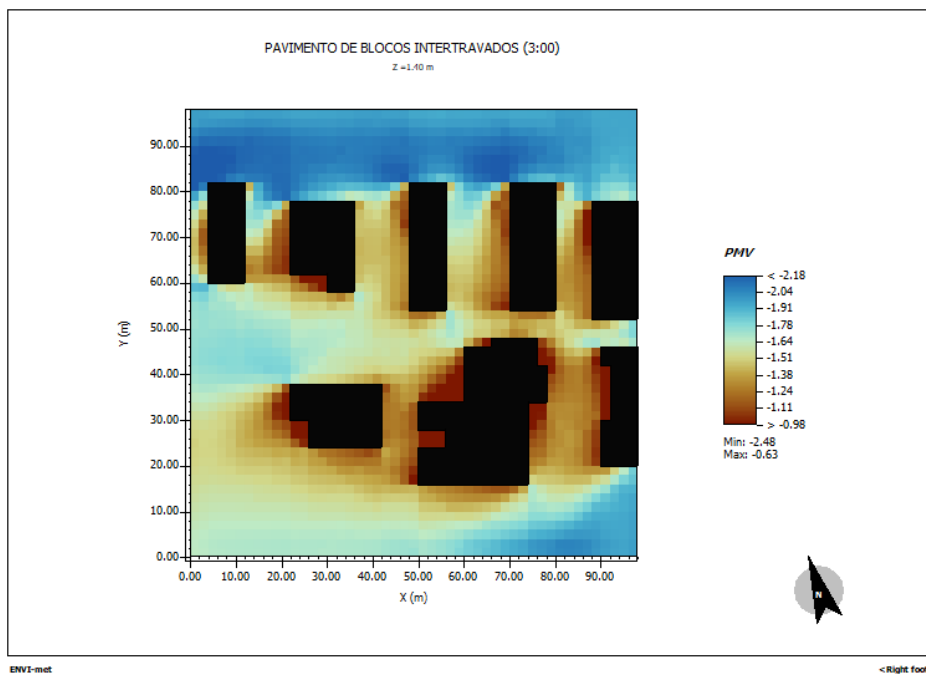
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BS — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 02:00 HORAS.



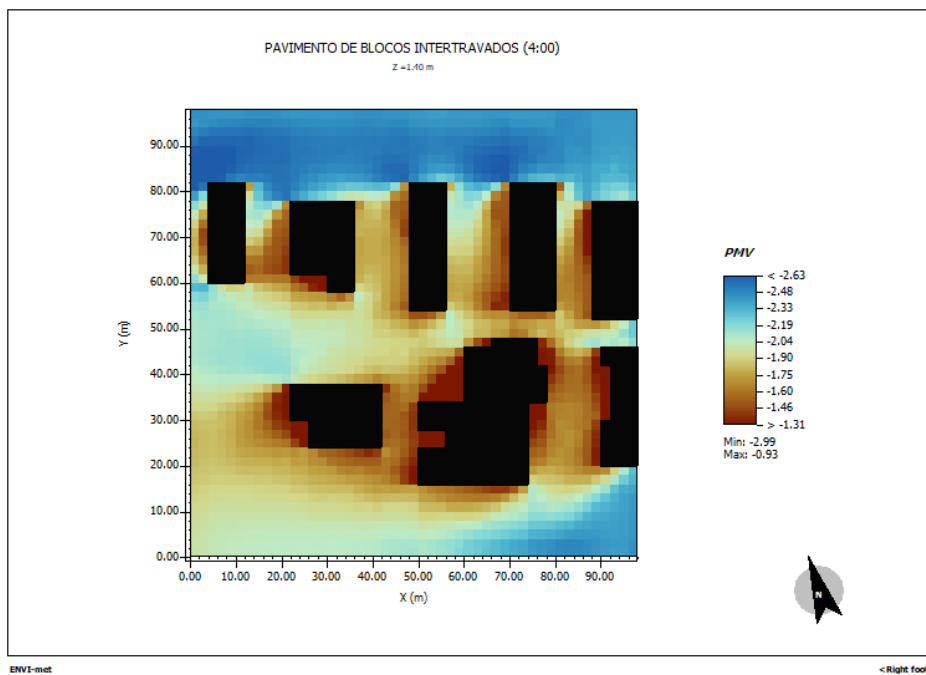
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BT — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 03:00 HORAS.



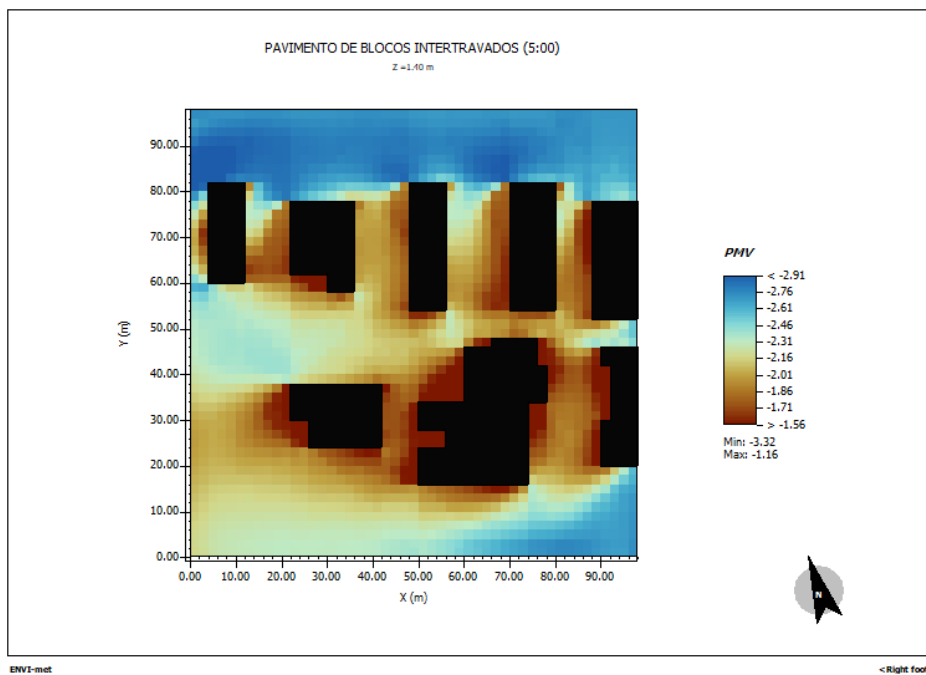
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BU — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 04:00 HORAS.



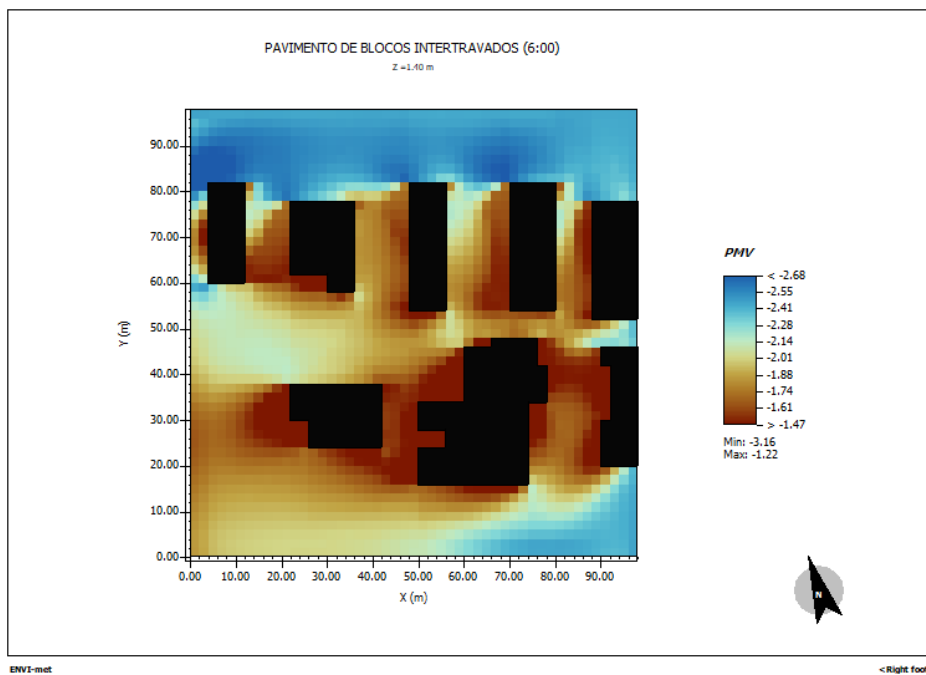
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BV — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 05:00 HORAS.



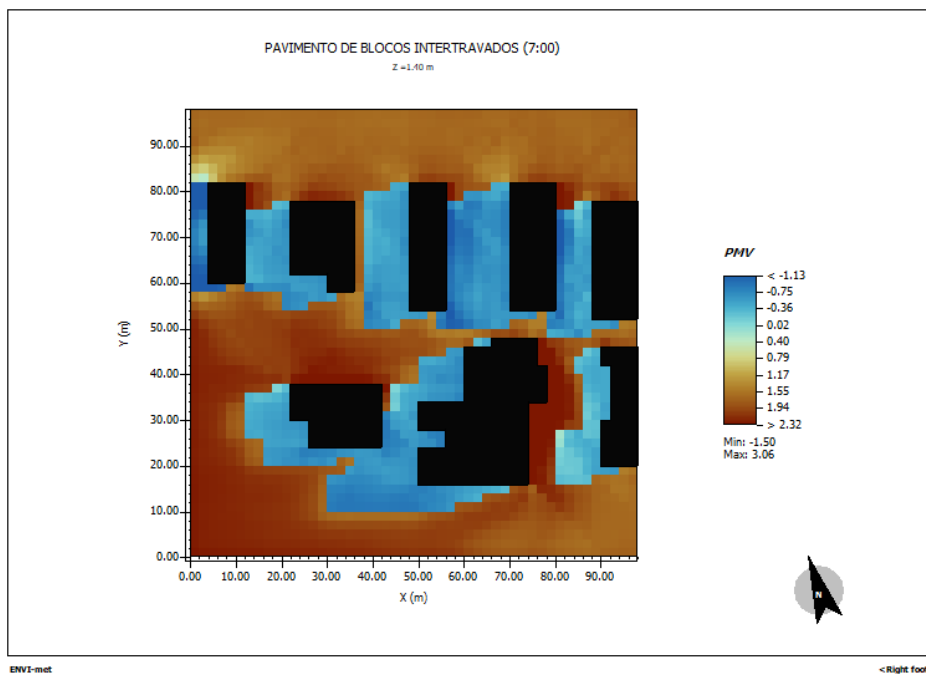
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BW — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 06:00 HORAS.



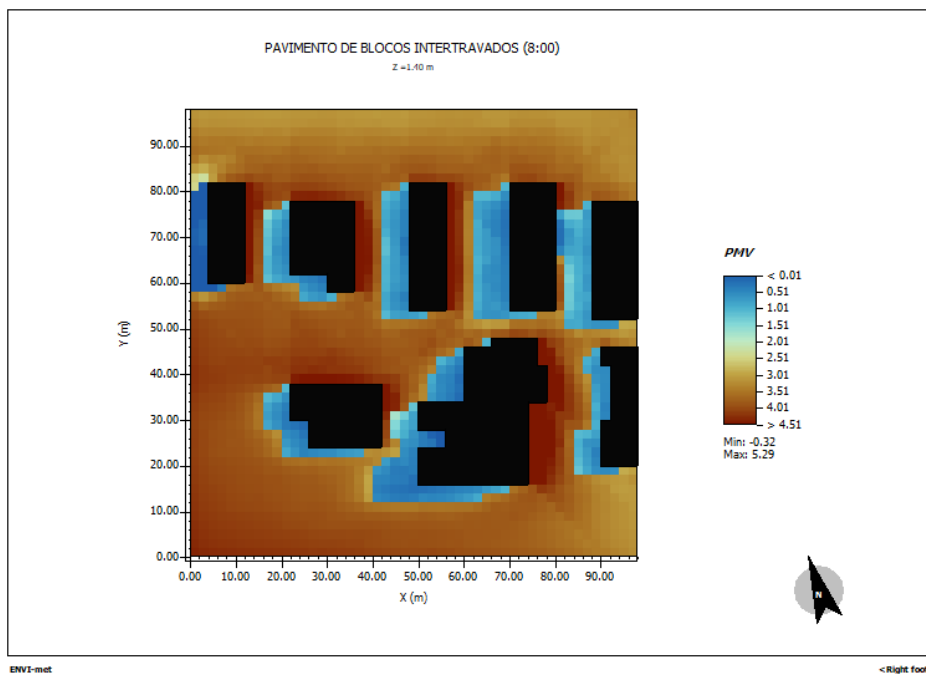
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BX — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 07:00 HORAS.



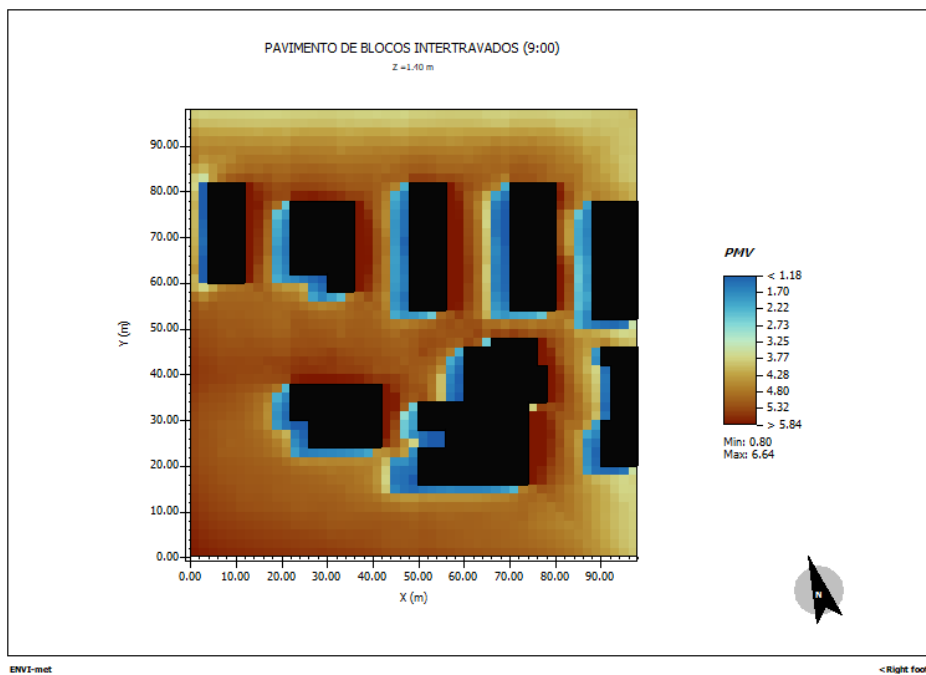
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BY — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 08:00 HORAS.



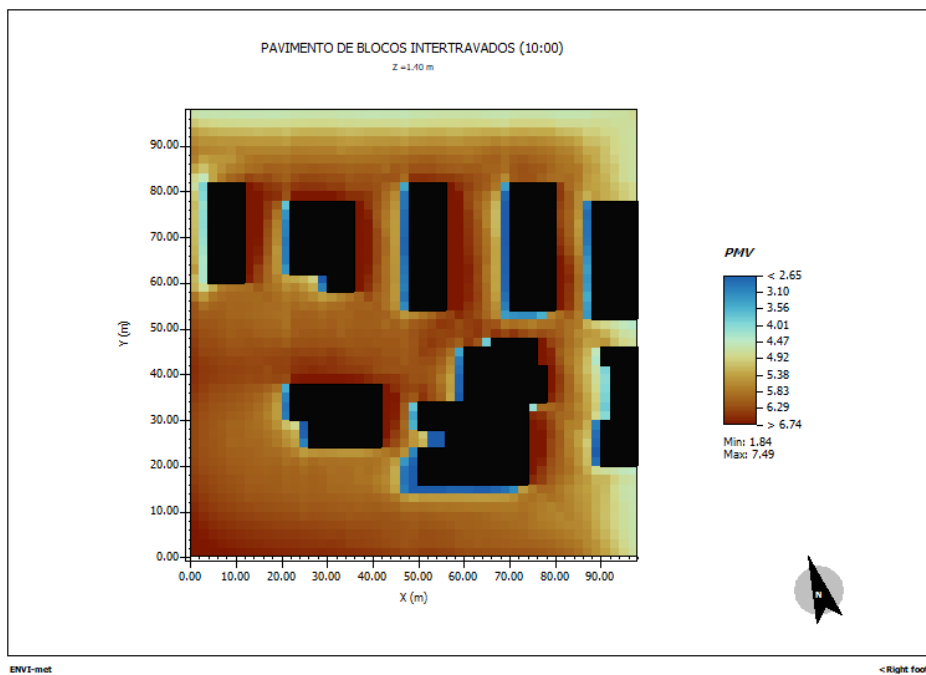
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE BZ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 09:00 HORAS.



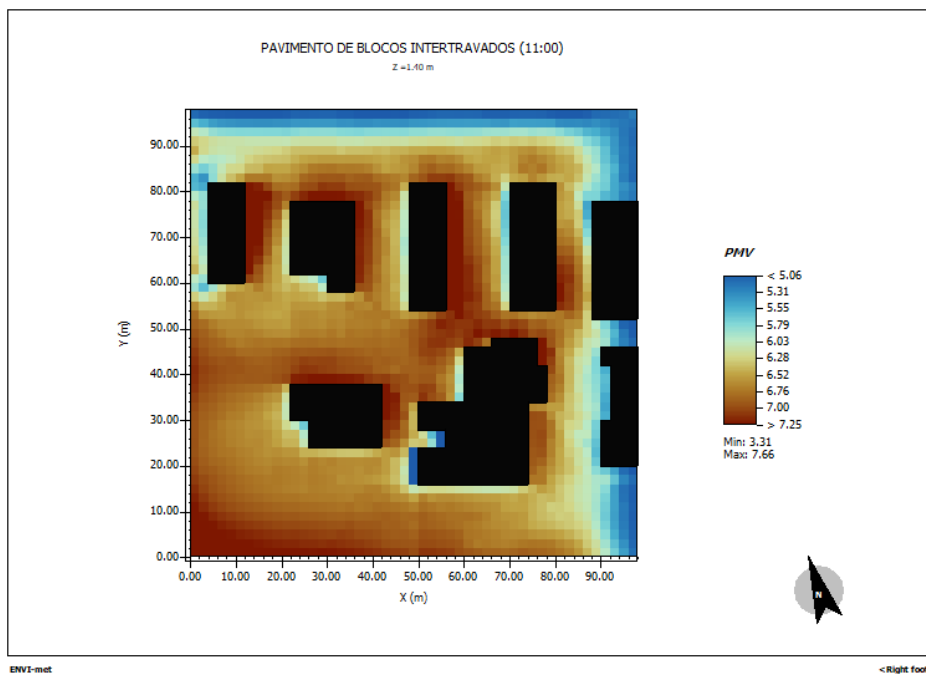
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CA — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 10:00 HORAS.



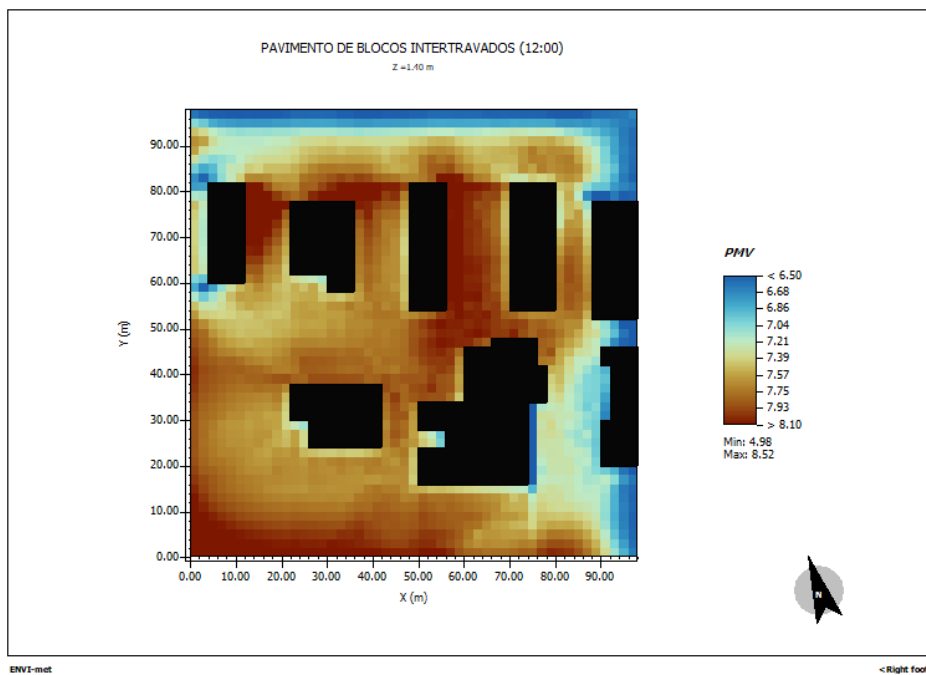
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CB — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 11:00 HORAS.



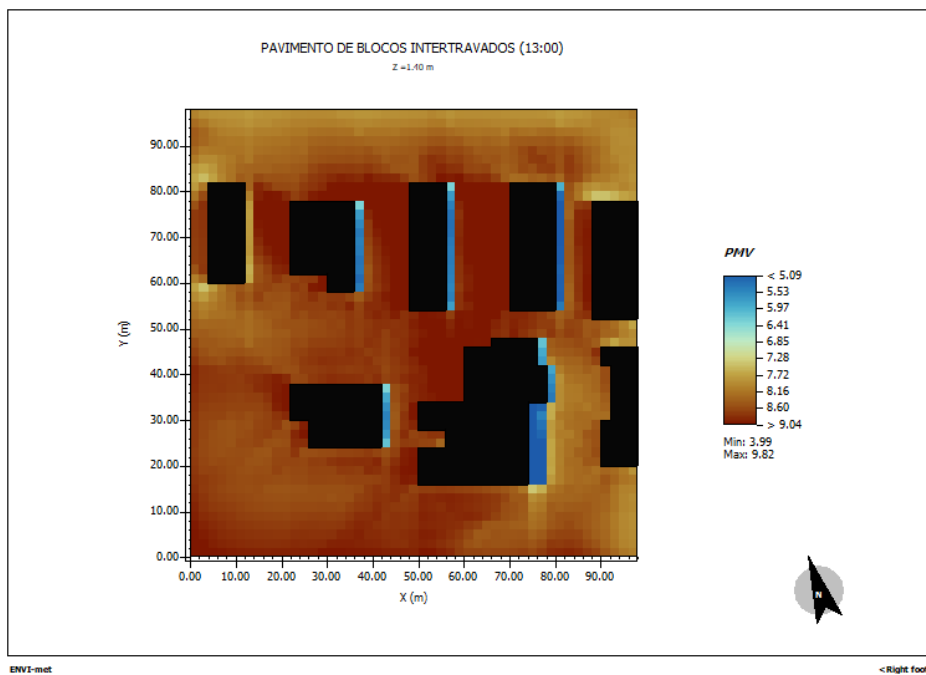
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CC — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 12:00 HORAS.



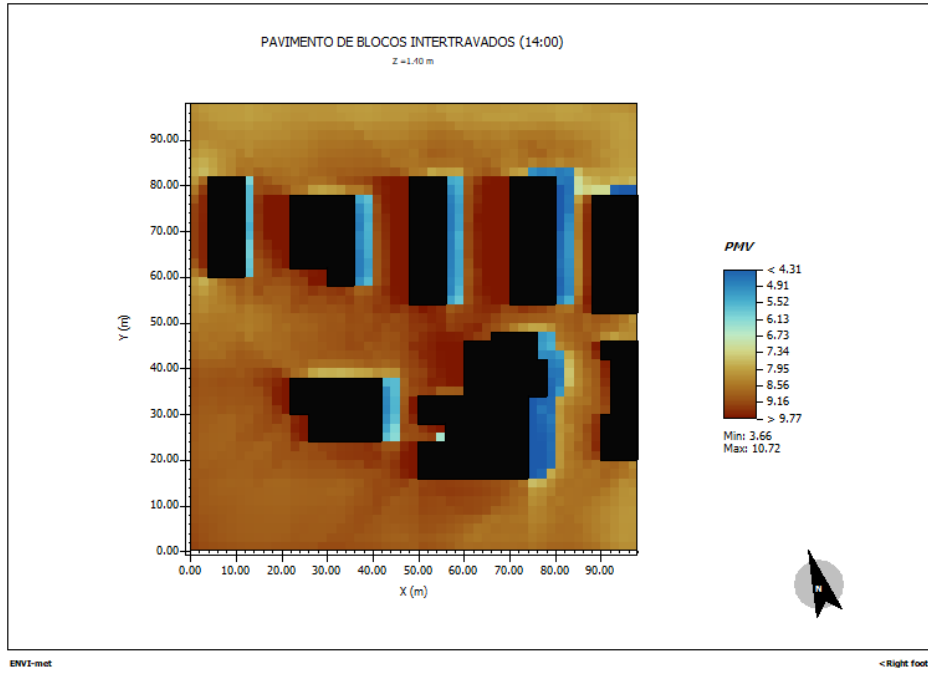
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CD — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 13:00 HORAS.



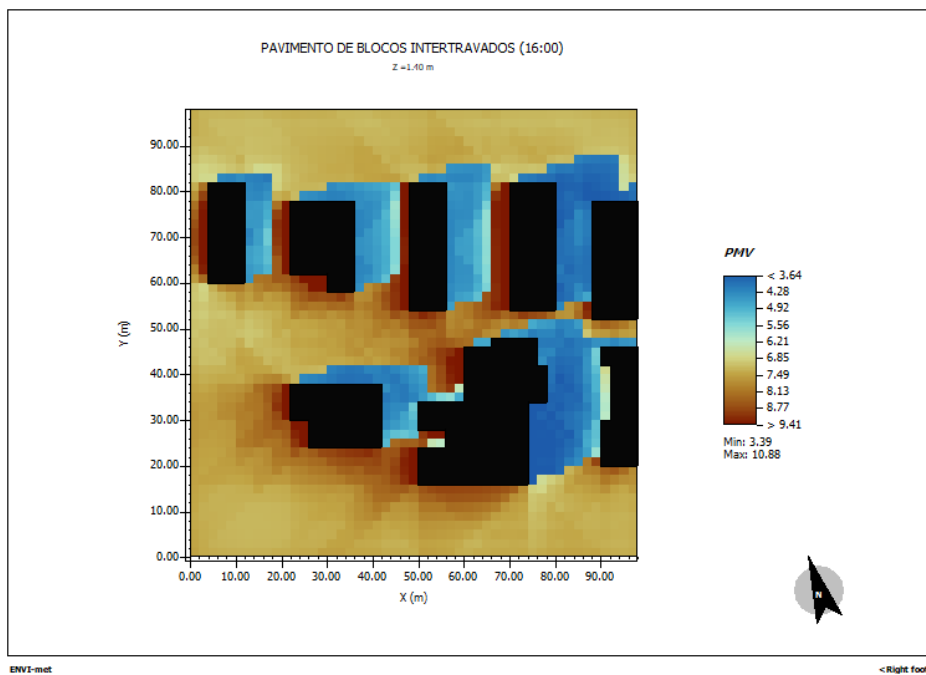
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CE — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 14:00 HORAS.



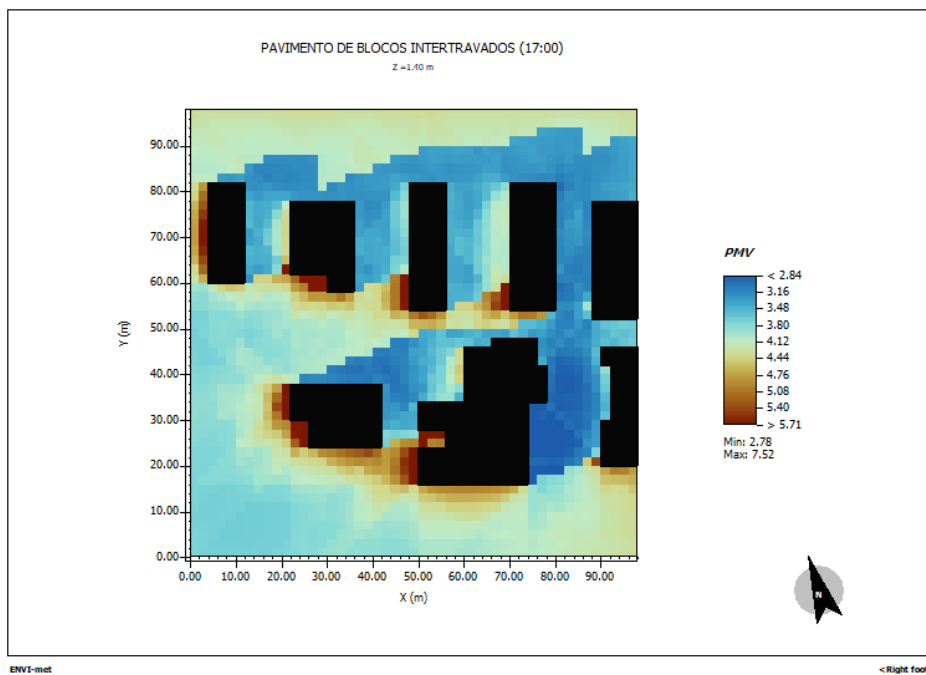
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CF — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 16:00 HORAS.



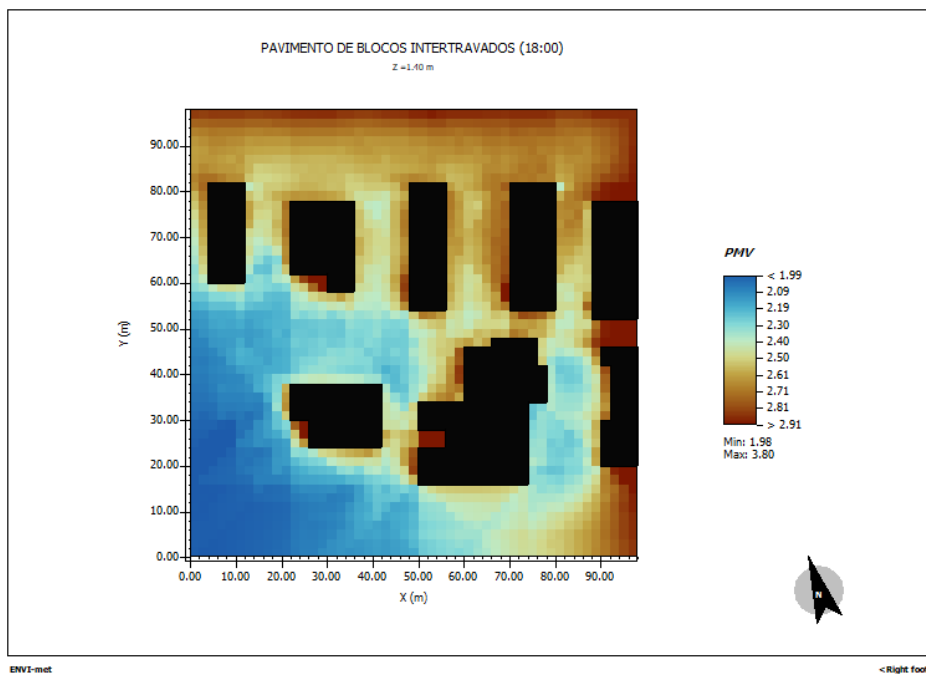
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CG — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 17:00 HORAS.



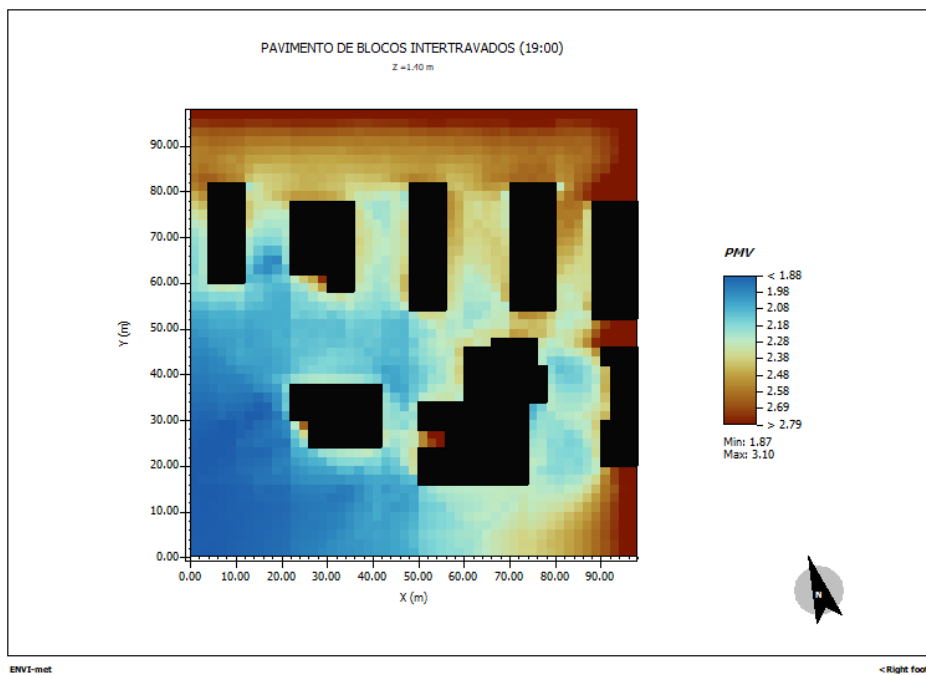
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CH — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 18:00 HORAS.



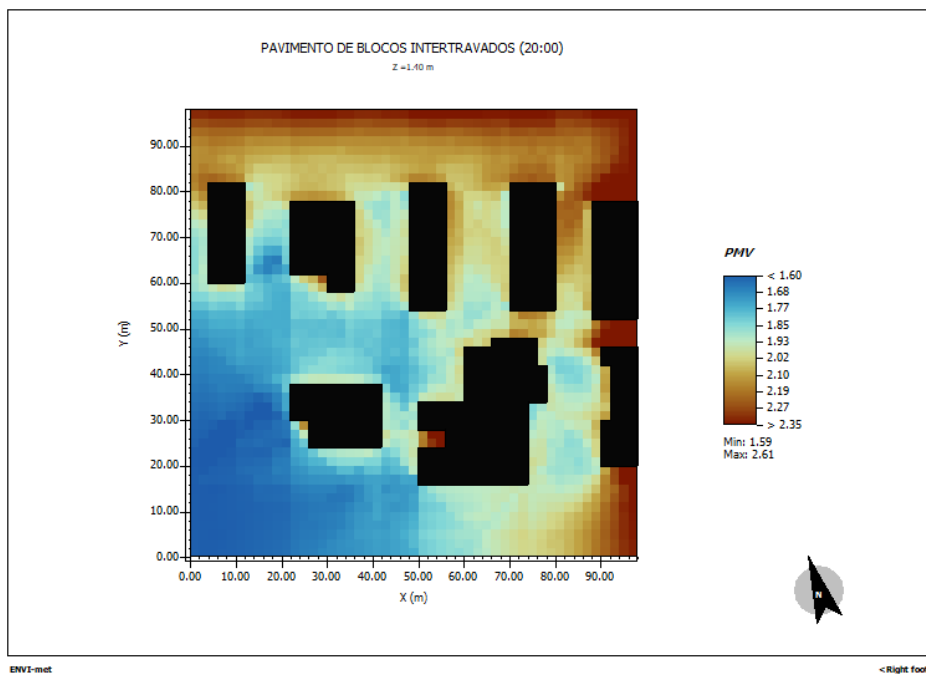
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CI — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 19:00 HORAS.



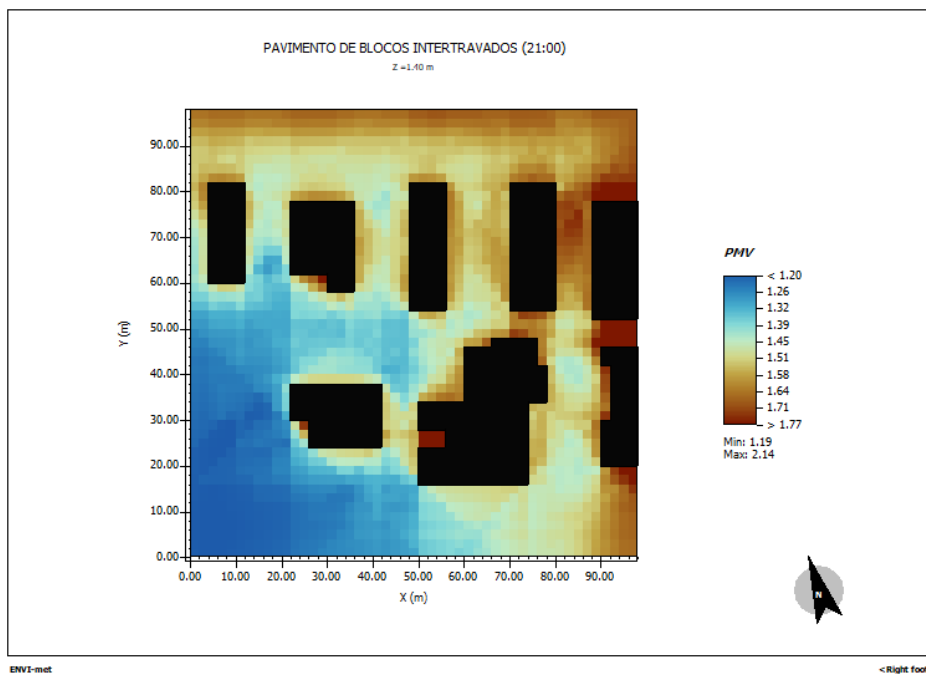
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CJ — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 20:00 HORAS.



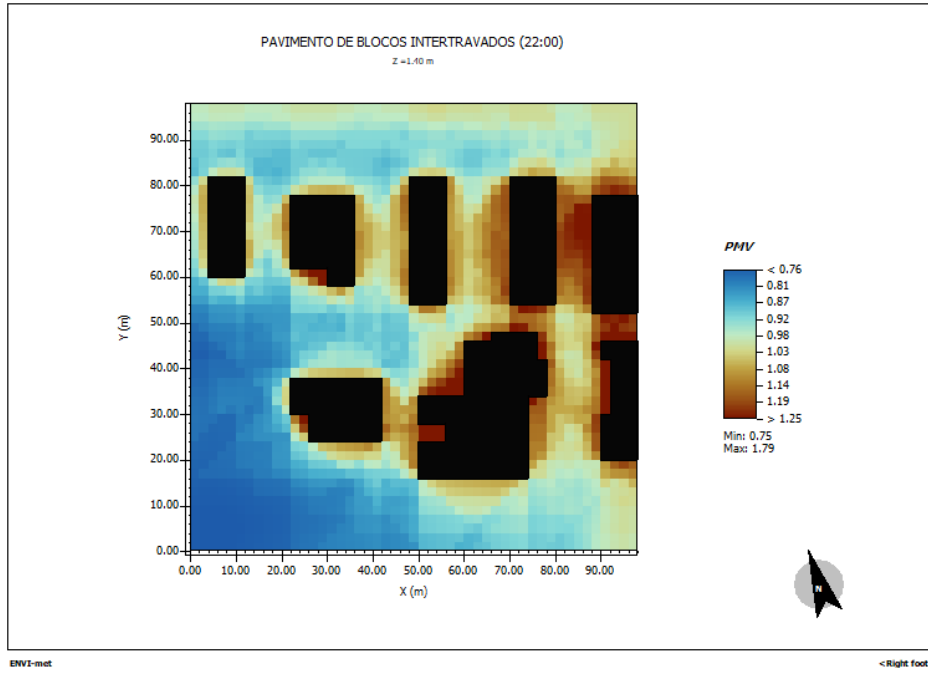
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CK — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 21:00 HORAS.



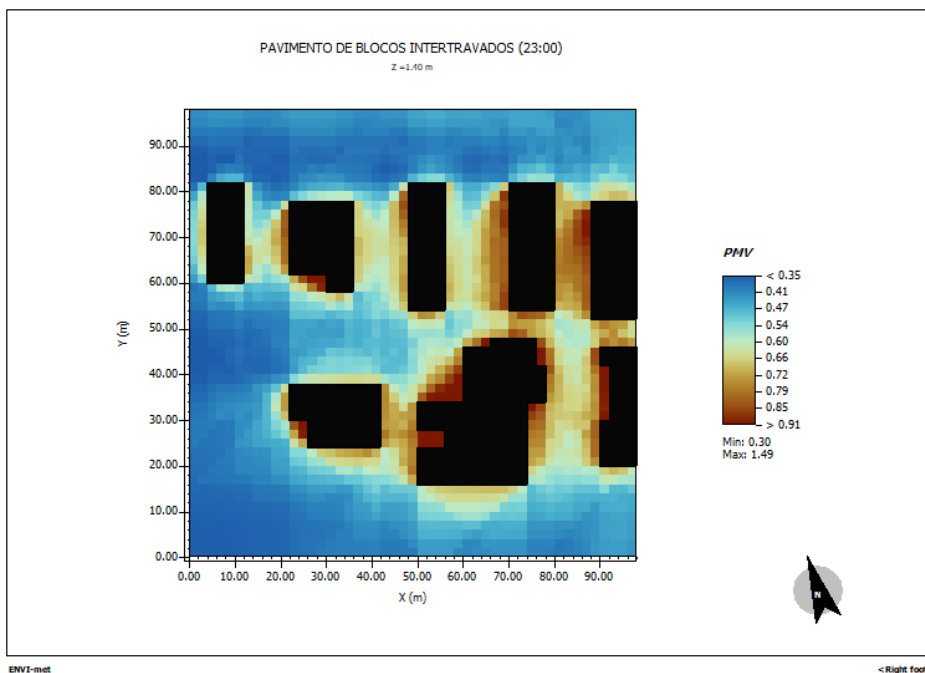
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CL — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 22:00 HORAS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

APÊNDICE CM — MAPA DO ÍNDICE PMV DO PAVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS ÀS 23:00 HORAS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE CN — TABELA DOS ÍNDICES DE CONFORTO
TÉRMICO (PMV) MÁXIMOS E MÍNIMOS, SIMULADOS PARA OS
TIPOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E DE BLOCOS
INTERTRAVADOS.**

Horário (horas)	PMV (Predicted Mean Vote)			
	Pavimento asfáltico		Pavimento de blocos intertravados	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
02:00	-0,35	-1,82	-0,37	-1,88
03:00	-0,61	-2,46	-0,63	-2,48
04:00	-0,91	-2,98	-0,93	-2,99
05:00	-1,15	-3,33	-1,16	-3,32
06:00	-1,20	-3,15	-1,22	-3,16
07:00	2,82	-1,52	3,06	-1,50
08:00	5,36	-0,21	5,29	-0,32
09:00	6,89	0,86	6,64	0,80
10:00	7,69	1,81	7,49	1,84
11:00	7,68	2,92	7,66	3,31
12:00	8,24	4,55	8,52	4,98
13:00	9,60	3,85	9,82	3,99
14:00	10,72	3,62	10,72	3,66
15:00	11,38	3,80	11,27	3,75
16:00	10,75	3,47	10,88	3,39
17:00	7,44	2,87	7,52	2,78
18:00	3,71	2,20	3,80	1,98
19:00	3,19	2,04	3,10	1,87
20:00	2,69	1,74	2,61	1,59
21:00	2,14	1,32	2,14	1,19
22:00	1,79	0,87	1,79	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**APÊNDICE CO — TABELA DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO (PMV)
MÁXIMOS E MÍNIMOS, SIMULADOS PARA OS TIPOS DE PAVIMENTO
ASFÁLTICO E DE BLOCOS INTERTRAVADOS.**

Horário (horas)	Temperatura			
	máxima do pavimento asfáltico (°C)	mínima do pavimento asfáltico (°C)	máxima do pavimento de blocos intertravados (°C)	mínima do pavimento de blocos intertravados (°C)
02:00	28,62	27,28	28,61	27,22
03:00	27,66	26,16	27,65	26,15
04:00	26,87	25,27	26,87	25,28
05:00	26,27	24,60	26,28	24,62
06:00	26,02	24,47	26,02	24,47
07:00	26,80	25,32	26,45	25,19
08:00	29,22	26,21	27,92	25,80
09:00	31,39	26,74	29,34	26,02
10:00	33,36	27,72	30,82	27,01
11:00	34,95	28,64	32,09	27,80
12:00	36,67	30,90	33,74	30,01
13:00	37,79	32,82	35,10	32,09
14:00	37,76	33,42	35,46	32,79
15:00	38,07	34,69	36,25	33,95
16:00	37,42	34,84	36,15	34,34
17:00	36,32	34,89	35,91	34,57
18:00	35,97	34,48	35,85	34,19
19:00	36,03	34,32	35,94	34,09
20:00	35,09	33,81	35,02	33,62
21:00	33,78	33,02	33,72	32,86
22:00	32,47	32,09	32,42	31,98

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.