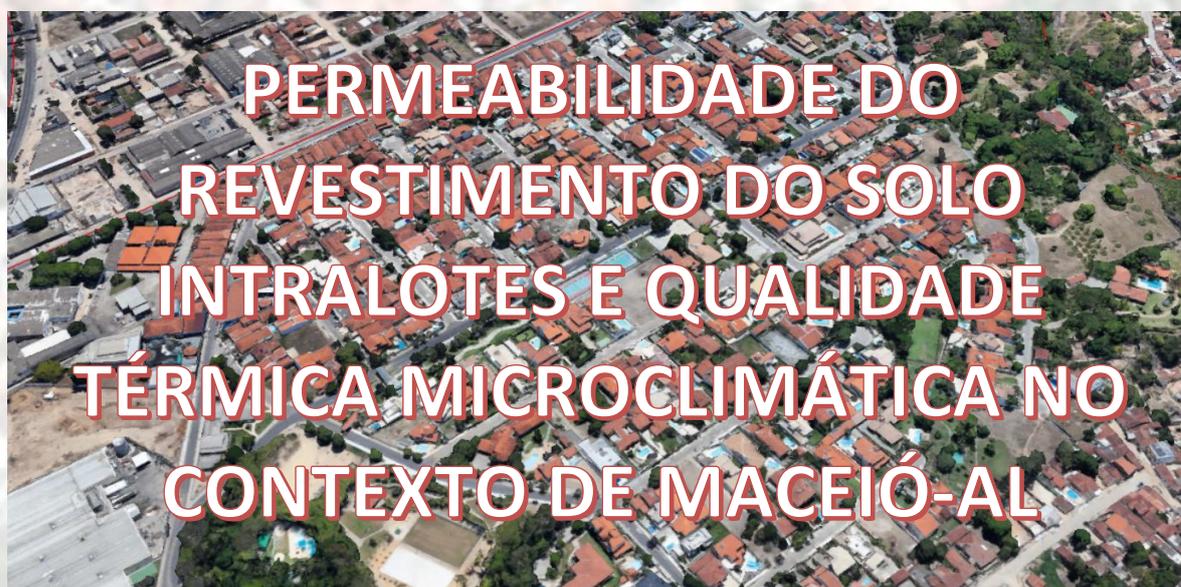


UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
DOUTORADO CIDADES

MIQUELINA RODRIGUES CASTRO CAVALCANTE



**PERMEABILIDADE DO
REVESTIMENTO DO SOLO
INTRALOTES E QUALIDADE
TÉRMICA MICROCLIMÁTICA NO
CONTEXTO DE MACEIÓ-AL**

MACEIÓ-AL
2019

MIQUELINA RODRIGUES CASTRO CAVALCANTE

**PERMEABILIDADE DO REVESTIMENTO DO SOLO INTRALOTES E
QUALIDADE TÉRMICA MICROCLIMÁTICA NO CONTEXTO DE MACEIÓ-AL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gianna Melo Barbirato
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Valentim dos Santos

MACEIÓ-AL
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

C376p Cavalcante, Miquelina Rodrigues Castro.
Permeabilidade do revestimento do solo intralotes e qualidade térmica microclimática no contexto de Maceió-AL / Miquelina Rodrigues Castro Cavalcante. – Maceió, 2019.
178 f. : il. color.

Orientadora: Gianna Melo Barbirato.
Co-orientador: Pedro Valentim dos Santos.
Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 141-153.
Apêndices: f. 154-171.
Anexos: f. 172-178.

1. Solos - Permeabilidade - Taxas. 2. Temperatura atmosférica. 3. Planejamento urbano. 4. Microclimatologia - Maceió(AL). I. Título.

CDU: 711.142(813.5)

Folha de aprovação

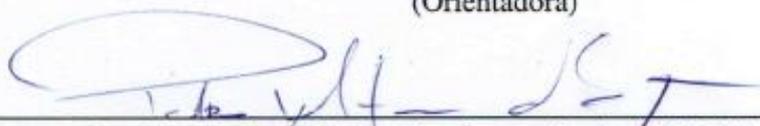
AUTOR: MIQUELINA RODRIGUES CASTRO CAVALCANTE

Permeabilidade do revestimento do solo intralotes e qualidade térmica microclimática no contexto de Maceió-AL

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação Dinâmica do Espaço Habitado, Doutorado Cidades da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 21 de 02 de 2019.



Prof.^a. Dr.^a. Gianna Melo Barbirato. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL.
(Orientadora)

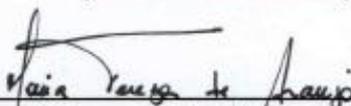


Prof. Dr. Pedro Valentim dos Santos. Instituto de Física – UFAL.
(Coorientador)

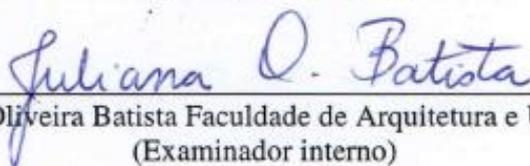
Banca Examinadora:



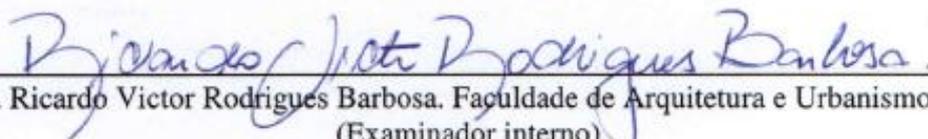
Prof. Dr. Érico Masiero. Departamento de Engenharia Civil - UFSCar
(Examinador Externo)



Prof.^a. Dr.^a. Maria Tereza de Araújo. Instituto de Física – UFAL
(Examinador Externo)



Prof.^a. Dr.^a. Juliana Oliveira Batista Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Examinador interno)



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



À minha família, em especial as minhas
filhas, por serem minha força e minha luz.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir trilhar essa jornada com força e perseverança.

A minha orientadora Gianna Melo Barbirato, por sua dedicação, disponibilidade, incentivo e paciência, que me ajudaram a crescer ao longo desta caminhada, além do seu exemplo de responsabilidade e competência.

Ao meu coorientador Pedro Valentim, por seus ensinamentos e empenho.

A minha amiga e companheira de trabalho Camila Souza, que me apresentou o programa computacional ENVI-met® e me deu suporte na aplicação dos modelos. Sua amizade e troca de experiência fizeram a diferença.

Ao meteorologista Laurício Emanuel Ribeiro Alves, que me orientou na seleção das imagens do Satélite Landsat 8 e na utilização do programa Qgis®.

Ao meu professor de inglês André Maia pelos ensinamentos e contribuições.

As minhas amigas e companheiras de doutorado Júlia de Moraes, Camila Casado e Tharcila Leão, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando suas conquistas e incertezas, cujo apoio mútuo foi fundamental para a concretização deste trabalho.

A todos os professores do Programa Doutorado Cidades que me acrescentaram com suas palavras de conhecimentos e incentivos.

As amigas Luciane Prado e Cristina Nunes, que com muita presteza e competência à frente da Secretaria do DEHA, estavam sempre prontas a me ajudar.

Ao meu pai Avelino Castro, meu anjo da guarda, e a minha mãe Neide Castro, pois sem eles eu não teria conseguido trabalhar com total dedicação.

Ao meu marido Felipe Cavalcante e meus sogros Radjalma Cavalcante e Tania Cavalcante por serem os meus maiores incentivadores.

As minhas amigas Milene Soares e Debora Yamashita, pela amizade e palavras de apoio.

Aos meus amigos de turma do Doutorado Cidades, pelo carinho no período de convivência.

À CAPES/FAPEAL pelo incentivo financeiro.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.



“A cidade é o lugar de mais efetiva interação entre o homem e a natureza. A partir da organização primitiva da segunda, o primeiro promove, de maneira concentrada, uma série infindável de derivações que se aglutinam na massa de edificações urbanas: sua arquitetura, numa estrutura morfológica e dinâmica funcional, como seu sistema viário de circulação interna e de relacionamento regional, ao cabo do que as primitivas condições geoecológicas do sítio vão sendo derivadas por acréscimo. [...] Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam – por excelência – os lugares onde as resultantes ambientais configuram-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano” (MONTEIRO, 2003, p. 10).

RESUMO

O solo urbano é, em parte, revestido por materiais impermeáveis como cimento e asfalto, encontrados em ruas, calçadas, áreas não edificadas no interior de lotes, entre outros. O uso excessivo desses revestimentos pode alterar o microclima, reduzindo a qualidade térmica dos espaços externos. Alguns parâmetros urbanísticos são responsáveis pelo controle da impermeabilização do solo nas cidades e a conservação de áreas permeáveis como, por exemplo, a taxa de permeabilidade do solo encontrada nos códigos de obras e planos diretores dos municípios. No Código de urbanismo e edificações do município de Maceió-AL vigente, os lotes ou terrenos com até 1.200m² são isentos da taxa de permeabilidade, o que pode contribuir para a expansão de solo impermeável na cidade. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi estabelecer a relação entre o percentual de permeabilidade do solo e o microclima, tendo como objeto de estudo espaços intralotes de uma fração urbana na cidade de Maceió-AL. Os procedimentos metodológicos adotados foram a confecção de mapas de albedo e temperatura da superfície, através do uso de imagens do satélite Landsat 8 e o programa computacional Qgis®, e simulações computacionais utilizando o programa ENVI-met® com cenários real e hipotéticos. Entre os revestimentos do solo estudados, o gramado apresentou melhores resultados para o condicionamento térmico, com os menores valores da temperatura de superfície (26,4°C) e do albedo (9,8%), produzindo menos calor para o ar e menor reflexão da radiação solar para outras superfícies urbanas. O maior valor de albedo aconteceu no solo nu exposto (26,5%) e de temperatura da superfície, no solo asfaltado (26,5%). A análise dos resultados das simulações computacionais no cenário real demonstrou que a área totalmente cimentada (ponto com 0% de área permeável no terreno) apresentou o maior valor de temperatura do solo no período noturno em comparação com as áreas que apresentam revestimento do solo gramado (ponto com 37% de área permeável gramada no terreno), havendo uma diferença de 2,5°C entre essas áreas. Isso pode contribuir para a formação de ilhas de calor. Os resultados mostraram que existe uma relação positiva entre o aumento de área revestida com vegetação gramínea no interior do lote e a redução da temperatura do ar nessas áreas, mostrando que a isenção da taxa de permeabilidade interfere na qualidade térmica do ar, devendo ser revista essa questão nas leis do planejamento urbano.

Palavras chaves: Taxa de permeabilidade. Temperatura do ar. Planejamento urbano.

ABSTRACT

The urban soil is partly covered by impermeable materials such as cement and asphalt found on streets, sidewalks, unbuilt areas within properties, etc. The excessive use of such pavement coverings can alter the local microclimate, reducing the thermal quality of the external spaces. There are urban parameters that specifically address issues of soil paving within cities and the conservation of permeable areas, such as the soil permeability rate found upon local building codes. In the current building code of Maceió (Código de urbanismo e edificações do município de Maceió-AL), lots with up to 1,200m² are free from applying the permeability rate which may contribute to the expansion of impermeable soil in the city. The present study aims to establish a relationship between the percentage of permeable soil and microclimate, analyzing vacant spaces in between lots within an urban fraction of Maceió-AL. The methodological procedures adopted were mapping the albedo and surface temperature through Landsat 8 satellite images and the software Qgis® along with computational simulations using the software ENVI-met® - real and hypothetical scenarios. Among the different analyzed pavements, lawn presented the best results for thermal conditioning, with lower values of surface temperature (26.4°C) and albedo (9.8%), producing less heat and less reflection of radiation to other urban surfaces. Naked exposed soil showed the highest albedo value (26.5%) and the surface temperature of asphalt was the highest (26.5%). The analysis of the computational simulations results for a real scenario showed that a fully cemented area (0% permeable areas) presented the highest value of soil temperature during the night when compared to areas covered with lawn (37% permeable grass cover), a difference of 2.5 ° C between those areas. This can contribute to the formation of heat islands. The results showed that there is a positive relationship between the increase of area covered with grass within a lot and the reduction of air temperature in these areas, showing that the exemption of the permeability rate interferes with the thermal quality of the air, indicating that revising urban planning laws regarding this issue should be a concern.

Keywords: Permeability rate. Air temperature. Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área edificada no bairro de Ponta Verde evidenciando a predominância de áreas impermeáveis	22
Figura 2 - Mudança do revestimento do solo urbano: Terreno com edificação unifamiliar e área de jardim deram lugar a um edifício comercial	23
Figura 3 - Alagamentos em ruas de Maceió devido às chuvas	23
Figura 4 - Estrutura para a formação do quadro teórico referencial	26
Figura 5 - Vegetação urbana	29
Figura 6 - Solo arenoso – Praia de Pajuçara, Maceió-AL	31
Figura 7 - Corte esquemático para instalação de pavimento de concreto permeável com infiltração total no solo	34
Figura 8 - Piso intertravado permeável feito com placa drenante de concreto poroso	35
Figura 9 - Corte esquemático para instalação de pavimento intertravado com infiltração total no solo	36
Figura 10 - Pavimento de blocos de concreto vazado	36
Figura 11 - Perspectiva referente a instalação de pavimento de concreto vazado	37
Figura 12 - Alguns tipos de revestimento do solo urbano	38
Figura 13 - Solo argiloso – Bairro de Cruz das Almas, Maceió-AL	40
Figura 14 - Revestimentos cerâmico (a) e cimentício (b) utilizados em áreas externas de calçadas	41
Figura 15 - Camadas e escalas urbanas	46
Figura 16 - Representação esquemática dos fluxos envolvidos no balanço de energia da superfície urbana	47
Figura 17 - Fluxo de energia através de um sistema	51
Figura 18 - Balanço de energia urbano	54
Figura 19 - Fluxos envolvidos nos balanços de radiação e energético de um local "ideal" no período diurno (a) e noturno (b)	56
Figura 20 - Área destinada ao uso de revestimento permeável em terreno segundo o Código de zona de Denver, Colorado, EUA	76
Figura 21 - Esquema metodológico	78
Figura 22 - Localização de Maceió e seus bairros	80
Figura 23 - Ponta Verde – forma urbana compacta de alta elevação	81

Figura 24 - Farol – forma urbana aberta de baixa e alta elevação	82
Figura 25 - Serraria – forma urbana compacta de média elevação	82
Figura 26 - Centro – forma urbana compacta de baixa e alta elevação	83
Figura 27 - Trapiche da Barra – forma urbana compacta de baixa elevação	83
Figura 28 - Parque municipal de Alagoas	84
Figura 29 - Localização do condomínio Jardim do Horto I na cidade e no bairro	87
Figura 30 - Delimitação da área referente ao condomínio Jardim do Horto I	88
Figura 31 - Quadra definida como área de estudo	89
Figura 32 - Perspectiva da quadra com a indicação das edificações e cobertura do solo.....	89
Figura 33 - Imagem do satélite Landsat-8 no Explorador da Terra - <i>Earth Explorer</i> , referente a área de estudo	91
Figura 34 - Locação dos pontos nas áreas com diferentes tipos de revestimento do solo, para obtenção das variáveis albedo e temperatura de superfície, no condomínio Jardim do Horto I	92
Figura 35 - Estação meteorológica Davis Pro2	97
Figura 36 - Console da Vantage Pro2	97
Figura 37 - Aferição dos dados da estação móvel	98
Figura 38 - Abrigo meteorológico e console da Vantage Pro2	99
Figura 39 - Desvio das médias (MBE) dos valores da temperatura do ar para o dia 19 de maio de 2017, ao longo do dia, representado pela barra de erro	100
Figura 40 - Temperatura do ar medida com correção do MBE	101
Figura 41 - Desvio das médias (MBE) dos valores da umidade relativa do ar para o dia 19 de maio de 2017, ao longo do dia, representado pela barra de erro	101
Figura 42 - Umidade relativa do ar medida com correção do MBE	102
Figura 43 - Equipamentos para medição radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície	103
Figura 44 - Divisão dos lotes no interior da quadra	107
Figura 45 - Áreas totais, edificadas, livres e permeáveis calculadas por lote	108
Figura 46 - Locação dos pontos definidos para a simulação do cenário real	109
Figura 47 - Tipo de revestimento do solo para simulação	110

Figura 48 - Mapas dos albedos da superfície da área referente ao condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)	113
Figura 49 - Mapas das temperaturas de superfície da área referente ao condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)	115
Figura 50 - Mapas dos albedos de superfície da quadra do condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)	117
Figura 51 - Mapas das temperaturas de superfície da quadra do condomínio Jardim do Horto I, em Maceió - AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)	118
Figura 52 - Variação do albedo e temperatura da superfície nos quatro pontos, com diferentes tipos de revestimentos de solo	120
Figura 53 - Temperatura de superfície nos pontos simulados em cenário real	123
Figura 54 - Umidade do solo nos pontos simulados em cenário real	125
Figura 55 - Temperatura do ar nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real	126
Figura 56 - Umidade relativa do ar nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real	127
Figura 57 - Temperatura radiante média nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real	128
Figura 58 - Temperatura da superfície (°C) nos cinco cenários hipotéticos simulados ao longo do dia	130
Figura 59 - Umidade do solo (%) nos cinco cenários hipotéticos simulados ao longo do dia	131
Figura 60 - Temperatura do ar nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo	132
Figura 61 - Diferença da temperatura do ar (°C) entre os cenários hipotéticos simulados às 21h	133
Figura 62 - URA (%) nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo	133
Figura 63 - Diferença da umidade relativa do ar (%) entre os cenários simulados no horário das 6h	134
Figura 64 – TRM (°C) nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas para redução e controle da impermeabilização no solo urbano	28
Quadro 2 – Escalas urbanas e seus limites	46
Quadro 3 – Características da forma urbana	48
Quadro 4 – Regiões Admirativas de Maceió-AL	79
Quadro 5 – Coordenadas de localização dos pontos e descrição do tipo de revestimento do solo	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas do concreto permeável	34
Tabela 2 – Propriedades das superfícies – albedo e emissividade	61
Tabela 3 – Propriedades térmicas dos materiais naturais que podem revestir a superfície urbana	62
Tabela 4 – Normais climatológicas, no período de 1981-2000, para Maceió/ AL	85
Tabela 5 – Características espectrais do OLI e TIRS do satélite Landsat-8	90
Tabela 6 – Ângulo de elevação, distância Terra-Sol, órbita e ponto das imagens Landsat-8	91
Tabela 7 – Coeficientes dos pesos (ω_n) para o cálculo do albedo planetário através do uso de imagens Landsat-8	94
Tabela 8 – Valores das variáveis radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície medidos em revestimentos do solo gramado e exposto	104
Tabela 9 – Valores das variáveis radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície medidos nos revestimentos cimentício e pedra natural	104
Tabela 10 – Dados utilizados nas primeiras simulações	105
Tabela 11 – Dados utilizados na segunda etapa das simulações	106
Tabela 12 – Identificação e características dos pontos simulados	109
Tabela 13 – Condição atmosférica da cidade de Maceió-AL nos dias 23 de novembro de 2015, 26 de janeiro de 2016, 11 de fevereiro de 2016 e 11 de dezembro de 2016, às 13h	116

LISTA DE SÍMBOLOS

ABL	-	Camada limite atmosférica adicional
APA	-	Área de Proteção Ambiental
C_a	-	Calor específico do ar a pressão constante (J/kg °C)
C_c	-	Calor específico do concreto (J/kg °C)
C_s	-	Capacidade de calor específico do solo (J/kg °C)
d	-	Profundidade do solo de nível s (m)
E	-	Taxa de evaporação da água (kg/m ² s)
E_f	-	Fração de evaporação (%)
I_p	-	Índice de permeabilidade
k	-	Constante de von Kármán
k_s	-	Condutividade térmica do solo (W/m °C)
LCZ	-	Zonas climáticas locais
M	-	Termo de armazenamento de calor (W/m ²)
mc	-	Construção / massa de concreto por unidade de área de terra (kg/m ²)
Q_A	-	Energia horizontal transportada no ar por unidade de área horizontal (Wm ⁻²)
ΔQ_A	-	Advecção de energia líquida (sensível e latente); taxa por unidade de volume
Q^*	-	Balço de energia
$Q_H - H$	-	Fluxos turbulentos de calor sensível (W/m ²)
$Q_E - L$	-	Fluxo de calor latente (J/kg)
ΔQ_S	-	Fluxo de calor sensível de condução do solo
Q_F	-	Fluxo de calor antropogênico
q_o	-	Umidade específica ao nível 0 (g/g)
q_2	-	Umidade específica ao nível 2 (g/g)
R	-	Fluxo de radiação líquido (W/m ²)
S	-	Fluxo de calor no solo (W/m ²)
SBL	-	Camada limite da superfície
S_p	-	Área não edificada
S_t	-	Área total do terreno
TI	-	Taxa de impermeabilização
t	-	Tempo (s)
Δt	-	Intervalo de tempo (s)

T_o	-	Temperatura no nível 0 (°C)
T_o	-	Temperatura no nível 0 em um prévio intervalo de tempo (°C)
T_2	-	Temperatura no nível 2 (°C)
T_b	-	Temperatura úmida ao nível b (°C)
T_s	-	Temperatura úmida ao nível s (°C)
T_s'	-	Temperatura úmida ao nível s em um prévio intervalo de tempo (°C)
U_2	-	Velocidade do vento ao nível 2 (m/s)
Z_o	-	Rugosidade da superfície (m)
Z_2	-	Altura de SBL (m)
ζ	-	Albedo de superfície / Refletividade
ε	-	Emissividade da superfície
α	-	Absortividade
ψ	-	Transmissividade
λ	-	Comprimento de onda – m
μ	-	Entrada térmica – $\text{J m}^{-2}\text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$
ρ	-	Densidade da superfície – kg m^{-3}
ρ_a	-	Densidade do ar (kg/m^3)
ρ_s	-	Densidade do solo (kg/m^3)
ω	-	Parâmetro na equação idealizada para R (s^{-1})

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivos	24
1.2 Hipótese	24
1.3 Estrutura da tese	25
2 QUADRO TEÓRICO CONCEITUAL	26
2.1 Revestimento do solo urbano: (im)permeável	27
2.1.1 REVESTIMENTO PERMEÁVEL NATURAL	29
2.1.2 REVESTIMENTO PERMEÁVEL INDUSTRIAL.....	32
2.1.3 REVESTIMENTO IMPERMEÁVEL.....	37
2.2 A permeabilidade do solo no clima urbano	41
2.2.1 BALANÇO DE ENERGIA	50
2.2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO REVESTIMENTO.....	58
2.2.3 ESTUDOS RECENTES SOBRE REVESTIMENTO DO SOLO URBANO	62
2.3 A permeabilidade do solo no planejamento urbano	68
2.3.1 A TAXA DE PERMEABILIDADE COMO PARÂMETRO URBANÍSTICO PARA OCUPAÇÃO DO SOLO	69
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	78
3.1 Caracterização da área de estudo no contexto urbano solo urbano de Maceió-AL ... 79	
3.1.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	86
3.2 Confeção de mapas do albedo e da temperatura de superfície desenvolvidos com imagem satélite	89
3.2.1 AQUISIÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DAS IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 90	
3.2.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-8.....	93
3.3 Simulações computacionais	95
3.3.1 PROGRAMA COMPUTACIONAL ENVI-MET®	95
3.3.2 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL DAVIS VANTAGE PRO2	96
3.3.3 AFERIÇÃO DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL	97
3.3.4 MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	102
3.3.5 DADOS PARA CALIBRAÇÃO DO PROGRAMA	105
3.3.6 CÁLCULO DOS PERCENTUAIS DE ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS	106

3.3.7 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS REAL E HIPOTÉTICO	108
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	113
4.1 Estudo do albedo e da temperatura da superfície através da análise de imagem satélite	113
4.2 Síntese dos resultados dos mapas de albedo e temperatura da superfície	121
4.3 Análise das simulações computacionais	123
4.3.1 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES REFERENTES AO CENÁRIO REAL	123
4.3.2 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES REFERENTES AOS CENÁRIOS HIPOTÉTICOS	129
4.4 Síntese dos resultados das simulações	136
5 CONCLUSÕES	139
REFERÊNCIAS	141
APÊNDICE 1 - QUADRO DA TAXA DE PERMEABILIDADE MÍNIMA POR CIDADE	154
APÊNDICE 2 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DO AR (°C) NOS PONTOS	158
APÊNDICE 3 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (%) NOS PONTOS	159
APÊNDICE 4 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA (°C) NOS PONTOS	160
APÊNDICE 5 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (°C) NOS PONTOS	161
APÊNDICE 6 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE DA SUPERFÍCIE (%) NOS PONTOS	162
APÊNDICE 7 - TABELA DA CORREÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR DA ESTAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DAVIS PRO2	163
APÊNDICE 8 - TABELA DA CORREÇÃO DOS DADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DAVIS PRO2	164
APÊNDICE 9 - TABELA DOS DADOS HORÁRIOS DO DIA 11/11/2017 DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DAVIS PRO2	165
APÊNDICE 10 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DO AR (°C) NOS PONTOS - CENÁRIO HIPOTÉTICO	166

APÊNDICE 11 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (%) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO	167
APÊNDICE 12 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA (°C) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO	168
APÊNDICE 13 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (°C) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO	169
APÊNDICE 14 - TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE DO SOLO (°C) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO	170
APÊNDICE 15 - TABELA DE IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS TOTAIS, EDIFICADAS, LIVRES DE EDIFICAÇÕES E REVESTIDAS COM MATERIAIS PERMEÁVEIS PARA CADA LOTE ESTUDADO	171
ANEXO A - CORTES ESQUEMÁTICOS PARA INSTALAÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL	172
ANEXO B - CORTES ESQUEMÁTICOS PARA INSTALAÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO	173
ANEXO C - MACROZONAS URBANAS	174
ANEXO D - DIVISÃO ADMINISTRATIVA DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ	175
ANEXO E - MAPA DE ZONEAMENTO DE MACEIÓ	176
ANEXO F - MAPA DOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ-AL	177
ANEXO G - PARÂMETROS URBANÍSTICOS POR ZONA E CORREDORES DE ATIVIDADES MÚLTIPLAS PARA ÁREA DE ESTUDO	178

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço no processo de urbanização das cidades, parte do solo natural cedeu lugar a áreas revestidas com materiais impermeáveis. A impermeabilização do solo urbano consiste no revestimento permanente de uma dada superfície de terreno e do seu solo com materiais artificiais, como o asfalto e cimento, não permitindo a penetração da água na superfície (COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

As áreas urbanizadas estão em crescimento. Segundo o *Relatório da Organização das Nações Unidas*, em 2014, mais de 54% da população mundial moravam em áreas urbanas e estima-se que esse número aumente para 66% em 2050 (ONU, 2014). No Brasil, em 2015 mais de 80% da população residem em cidades. Em Alagoas, estado do Nordeste brasileiro, esse percentual é de 73,64% (IBGE, 2015). Uma das causas é a saída dos moradores da zona rural para as cidades, atraídos pela estrutura urbana e em busca de melhores condições de vida no que se refere à moradia, saúde, educação e oportunidades de trabalho, contribuindo com a ampliação das áreas impermeabilizadas para o desenvolvimento de suas atividades.

O uso excessivo de materiais impermeáveis pode trazer inúmeras alterações no contexto urbano quanto à absorção de água pelo solo e à qualidade térmica dos espaços externos, tendo como principais consequências os alagamentos, enchentes, erosões, diminuição da vazão dos mananciais, poluição de rios e mares, ampliação das cargas térmicas das edificações, incremento no consumo energético, aparecimento de ilhas de calor urbano (ICU), redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, entre outras questões. Araújo *et al.* (2000) indicam que grande parte desses impactos são causados pelo aumento do escoamento superficial pluvial nas áreas impermeabilizadas, que diminuíram a disponibilidade de água para evaporação e aceleraram a transformação da radiação solar em calor, elevando a temperatura da superfície e do seu entorno imediato. Dessa forma, contribuíram para o aquecimento do ar na camada intra-urbana¹.

A substituição das superfícies de solo natural pelo meio ambiente urbano causa mudanças na condição climática do lugar, gerando um clima particular denominado clima urbano. Em comparação com as áreas rurais, a cidade apresenta um aumento nos valores da temperatura do ar, da nebulosidade, da quantidade de precipitação e de poluentes e uma redução

¹ A camada intra-urbana corresponde à área da cobertura urbana que abrange desde a superfície do solo até o nível dos telhados (OKE, 2006).

dos percentuais de umidade relativa do ar, da velocidade do vento e da quantidade de radiação solar (LANDSBERG, 1981). A morfologia urbana, a densidade das edificações, o uso e ocupação do solo e as propriedades termodinâmicas dos materiais empregados são fatores que podem contribuir para as mudanças no clima da cidade.

Nas cidades, as áreas revestidas com vegetação são as que possuem maior penetração da água da chuva no solo, ajudando na redução do escoamento superficial e no controle da vazão de mananciais e bacias hidrográficas. Isto porque, parte do solo no urbano sofre compactação, devido à circulação dos veículos e das pessoas pela superfície. Estudos, como os de Oliveira *et al.* (2013), Barros *et al.* (2016) e Guarda *et al.* (2016) apontam a vegetação urbana como um indicador da qualidade ambiental desempenhando as funções: social, estética, ecológica, educativa e psicológica. Entretanto, na maioria das cidades, o percentual de áreas revestidas com vegetação encontra-se reduzido, limitadas a espaços em praças, parques, canteiros e terrenos particulares.

A preocupação com a expansão das áreas impermeáveis no solo urbano já é pauta de discussões há algumas décadas. Algumas pesquisas realizadas, sob esse enfoque, mostram diferentes tipos de revestimento do solo e os impactos na condição climática local, como em Costa (2009), Peres *et al.* (2013) e Villar Filho *et al.* (2013); comparam áreas impermeabilizadas com as áreas vegetadas, como em Díaz e Cabido (1997), Duarte *et al.* (2015) e Souza *et al.* (2016); ou analisam a influência do albedo das superfícies no microclima, como em Carnielo e Zinzi (2013), Andrade *et al.* (2013), Maciel *et al.* (2015) e Krüger e Gonzalez (2016).

De acordo com a Comissão Europeia (2012, p. 15):

os solos fornecem uma gama muito vasta de funções ecossistêmicas vitais, desempenhando um papel crucial na produção de alimentos e de materiais renováveis como a madeira, oferecendo habitats para a biodiversidade tanto à superfície do solo como no subsolo, filtrando e moderando o fluxo de água para os aquíferos, removendo contaminantes e reduzindo a frequência e o risco de inundações e secas; podendo ajudar a regular o microclima em ambientes de forte densidade urbana, particularmente quando cobertos de vegetação e podem também desempenhar funções estéticas na paisagem. [...] A impermeabilização exerce, pela sua própria natureza, um forte impacto no solo, eliminando grande parte da sua utilidade, o que constitui motivo de grande preocupação, já que a formação do solo é um processo muito lento, sendo necessários séculos para a formação de um só centímetro.

Assim, estratégias públicas de saúde, natureza e energia precisam ser empregadas no ambiente urbano, prevendo a utilização dos recursos naturais, principalmente o solo, de forma sustentável.

No Brasil, o controle do uso e da ocupação do solo é discutido e definido por instrumentos do planejamento urbano que determinam as áreas de adensamento de edificações e verticalização, de preservação ambiental e de concentração industrial; o calçamento de ruas e avenidas; o percentual de áreas permeáveis; a intensidade de circulação de veículos; entre outros, dando forma à cidade.

Segundo o Estatuto das Cidades (BRASIL, 2002), o plano diretor é um instrumento básico para orientar a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana dos municípios, e que deve ser revisado, pelo menos, a cada 10 anos. É obrigatório para as cidades que possuem mais de 20 mil habitantes; integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; onde o Poder Público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no 4º parágrafo, do art. 182² da Constituição Federal (BRASIL, 1988); integrantes de áreas de especial interesse turístico; ou inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional (BRASIL, 2002, p. 33). Entre as premissas nas quais um plano diretor fundamenta-se deve estar a proteção ao meio ambiente, tendo como um de seus principais objetivos, a incorporação de componente ambiental na definição dos critérios e parâmetros de uso e ocupação do solo.

Fazem parte do planejamento urbano dos municípios, para a melhor organização e crescimento dos mesmos, os seguintes instrumentos: código de urbanismo e edificações, diretrizes orçamentárias e orçamento anual, planos de desenvolvimento econômico e social, leis complementares, entre outros. As leis, indicadores e valores, assim como suas nomenclaturas, variam segundo a determinação de cada município.

Algumas leis deliberam parâmetros sobre o uso e ocupação do solo que intervêm diretamente no percentual de área destinada à utilização de revestimentos permeáveis, prevendo

² Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

§ 2º A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor.

§ 3º As desapropriações de imóveis urbanos serão feitas com prévia e justa indenização em dinheiro.

§ 4º É facultado ao poder público municipal, mediante lei específica para área incluída no plano diretor, exigir, nos termos da lei federal, do proprietário do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado que promova seu adequado aproveitamento, sob pena, sucessivamente, de:

I – parcelamento ou edificação compulsórios;

II – imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana progressivo no tempo;

III – desapropriação com pagamento mediante títulos da dívida pública de emissão previamente aprovada pelo Senado Federal, com prazo de resgate de até dez anos, em parcelas anuais, iguais e sucessivas, assegurados o valor real da indenização e os juros legais (BRASIL, 1988).

o controle da impermeabilização excessiva do solo urbano. O principal parâmetro que define esse percentual é a taxa de permeabilidade, cujos valores variam segundo a legislação de cada município.

Em Maceió-AL, o Código de urbanismo e edificações em vigor³ define que os lotes ou terrenos com área total inferior ou igual a 1.200m² estão isentos da taxa de permeabilidade, sendo de livre escolha do proprietário destinar, ou não, parte do terreno para aplicação de revestimento permeável no solo de sua propriedade (MACEIÓ, 2007). Portanto, parte considerável do solo da cidade tem a possibilidade de ser totalmente impermeabilizado, podendo sofrer consequências quanto ao aumento da temperatura do ar no ambiente urbano.

Em alguns bairros da cidade, o revestimento de solo impermeável predomina, principalmente nos bairros mais antigos, como o Centro; nos bairros históricos, como o Jaraguá, e nos verticalizados, como o bairro Ponta Verde (Figura 1), que se encontram, segundo o plano diretor vigente, na macrozona de adensamento controlado (Anexo A) que incentiva à ocupação dos vazios urbanos em áreas com infraestrutura urbana. Nesses bairros, as áreas permeáveis estão presentes em alguns terrenos baldios, nos poucos canteiros centrais de avenidas, em algumas calçadas e praças, representando uma pequena parcela da área total do bairro.

Figura 1 – Área edificada no bairro de Ponta Verde evidenciando a predominância de áreas impermeáveis



Fonte: *Google Earth Pro*⁴.

³ Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Publicado no Diário Oficial do município de Maceió, em 9 de fevereiro de 2007.

⁴ Programa computacional que disponibiliza imagens satélites de qualquer localidade do Planeta Terra; permite calcular distâncias e área utilizando ferramentas de dimensões; visualizar, manipular e exportar dados SIG; usar o construtor de vídeo (Movie Maker) para produzir materiais de mídia relacionados; e acessar imagens históricas. Disponível em: google.com. Acesso em: set. 2018.

Atualmente, observa-se com frequência, a construção de novos empreendimentos em Maceió com a substituição do revestimento do solo permeável por materiais impermeáveis (Figura 2).

Figura 2 – Mudança do revestimento do solo urbano: terrenos com edificações unifamiliares e área de jardim deram lugar a um edifício comercial

a) Terreno com edificação unifamiliar em 2009



Fonte: Google Earth Pro.

b) Terreno com edificação comercial em 2018



Fonte: Da autora (2018).

No período de chuva intensa, a impermeabilização das superfícies contribui para o surgimento de áreas alagadas em diferentes pontos da cidade (Figura 3).

Figura 3 – Alagamentos em ruas de Maceió devido às chuvas

(a) Trecho da Avenida Brasil, bairro do Poço



Fonte: g1.globo.com⁵.

(b) Rua Álvaro Otacílio, bairro de Ponta Verde



Fonte: Alagoas 24 horas⁶.

⁵ Imagem oriunda da reportagem *Chuvas em Maceió provocam pontos de alagamento no trânsito*, publicada em 19/02/2018 e disponível em: <https://alagoasalerta.com.br/noicias/maceio/chuvas-em-maceio-provoca-pontos-de-alagamento-no-transito>. Acesso em: out. 2018.

⁶ Imagem oriunda da reportagem *Chuva provoca alagamentos em vários pontos de Maceió*, publicada em 25/12/2015 e disponível em: <http://www.alagoas24horas.com.br/942475/chuva-provoca-alagamentos-em-varios-pontos-de-maceio/>. Acesso em: out. 2018.

Duarte (2000) já afirmava a importância da existência de instrumentos de intervenção que podem resultar em melhoria das condições de conforto térmico urbano em cidades brasileiras, e sugeriu a obrigatoriedade de uma taxa mínima de permeabilidade do terreno como um deles.

Diante da importância da permeabilidade do solo para o planejamento urbano, este trabalho analisa a influência deste parâmetro para o condicionamento térmico nos espaços intralotes, relacionando-o com as variáveis microclimáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média, temperatura da superfície, albedo da superfície e umidade da superfície. Esta tese está baseada em dois questionamentos principais: a) como a permeabilidade do solo urbano interfere no microclima? b) Como o percentual de área permeável do solo urbano está representado nas leis urbanísticas?

1.1 Objetivos

Este trabalho objetiva estabelecer a relação entre o percentual de permeabilidade do solo e o microclima, tendo como objeto de estudo espaços intralotes de uma fração urbana na cidade de Maceió-AL.

Os objetos específicos definidos foram:

- Compreender como o revestimento permeável do solo urbano interfere no microclima;
- Identificar parâmetros referentes à permeabilidade do solo em instrumentos do planejamento urbano de diferentes cidades;
- Verificar o comportamento das variáveis temperaturas de superfície e o albedo de superfície nos diferentes tipos de revestimento do solo urbano (solo nu, vegetado, cimentado e asfaltado).
- Averiguar o comportamento das variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média, temperatura da superfície, albedo de superfície e umidade da superfície nos diferentes percentuais de permeabilidade intralotes.

1.2 Hipótese

A hipótese norteadora deste trabalho consiste em afirmar que o aumento do percentual de solo permeável em áreas intralotes contribui na redução da temperatura do ar urbano.

1.3 Estrutura da tese

Nesta tese foi adotada uma estrutura com cinco seções:

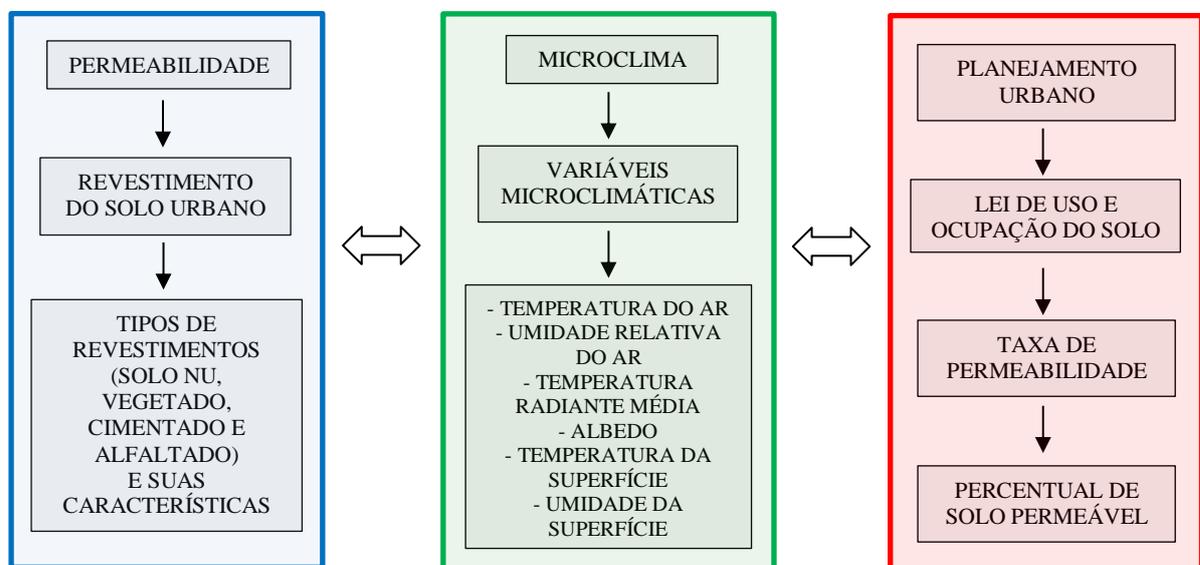
- A primeira seção introduz o tema e apresenta os objetivos, hipótese e estrutura da tese. Tomou-se como base estudos que referenciam a temática, mostrando sua importância para o planejamento urbano e a qualidade térmica dos espaços externos.
- A segunda seção elenca, primeiramente, os elementos que revestem o solo urbano, permeáveis e impermeáveis, suas características e propriedades térmicas. Em continuidade, apresenta a relação do ambiente urbano com os elementos climáticos, identificando as variáveis que interferem no condicionamento térmico microclimático urbano. Em seguida, engloba os parâmetros urbanísticos referentes à cobertura do solo urbano, com indicação de conceitos e leis. São abordados os parâmetros que definem as áreas permeáveis mínima para diferentes cidades brasileiras e de outros países, relacionando-os com a taxa de permeabilidade indicada pelo Código de urbanismo e edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007).
- A terceira seção consiste nos procedimentos metodológicos definidos para o desenvolvimento da tese, envolvendo os métodos e os materiais utilizados. Foram apresentadas as características climáticas da cidade de Maceió e a área de estudo escolhida; os procedimentos para coleta de dados; cálculo dos percentuais de áreas permeáveis e impermeáveis da área de estudo; os procedimentos para construção dos mapas de albedo e temperatura de superfície desenvolvidos a partir de imagens satélites; e o modelo computacional utilizado nas simulações.
- A quarta seção apresenta as análises e discussões dos resultados alcançados. Está dividido em duas partes: a primeira consiste nos resultados obtidos a partir das análises dos mapas de albedo e temperatura de superfície; a segunda corresponde aos resultados das simulações computacionais envolvendo os percentuais das áreas permeáveis e as variáveis microclimáticas estudadas.
- A quinta seção aborda as conclusões do estudo, apontando novas vertentes de pesquisas e reforçando a necessidade de incorporar as questões do clima urbano no planejamento das cidades.

2 QUADRO TEÓRICO CONCEITUAL

Nesta seção é apresentado um quadro teórico conceitual que contribuiu para a compreensão de como a permeabilidade do solo está inserida no planejamento urbano e qual a sua atuação no microclima.

A Figura 4 apresenta a estrutura norteadora da presente tese, acerca dos tipos e propriedades dos materiais encontrados no revestimento das superfícies urbanas e sua relação com o condicionamento térmico; das características microclimáticas urbanas; e dos parâmetros urbanísticos que determinam o revestimento do solo nas capitais brasileiras e suas respectivas taxas de permeabilidade.

Figura 4 – Estrutura para a formação do quadro teórico referencial



Fonte: Elaborada pela autora.

A identificação dos tipos e das características dos revestimentos do solo permitiu a escolha dos materiais a serem estudados. De acordo com as propriedades dos materiais que revestem o solo urbano e sua interferência no microclima, foram determinadas as variáveis microclimáticas para as análises.

Nos espaços da cidade, as áreas permeáveis são mantidas a partir da definição de um determinado percentual que varia segundo a legislação vigente. O conhecimento dessas leis contribuiu para a definição dos percentuais de área permeável para o estudo.

2.1 Revestimento do solo urbano: (im)permeável

Os revestimentos do solo urbano podem ser classificados como permeáveis e impermeáveis, apresentando diferentes características quanto ao acúmulo de calor e água nas superfícies.

Os materiais que revestem o solo urbano variam segundo as atividades a serem desenvolvidas na cidade. Parte das superfícies urbanas são revestidas com materiais artificiais impermeáveis, como cimento, asfalto e cerâmica, que são encontradas em calçadas, ruas, avenidas, praças, interior de lotes, entre outros. Os revestimentos naturais permeáveis, como areia, argila e vegetação, são geralmente encontrados em praças, parques, passeios públicos, áreas de preservação ambiental, encostas, espaços particulares, entre outros. Além disso, em algumas áreas são utilizados materiais artificiais permeáveis, como os blocos de concreto vazados e pisos intertravados.

Parte do solo urbano não edificado é constituído de revestimentos permeáveis, que lhe confere a capacidade de absorção total ou parcial da água proveniente das chuvas e de outras fontes. Segundo Justino *et al.* (2011, p. 18), “quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação” e do escoamento superficial, prevenindo desastres urbanos, como inundações, enchentes, deslizamento de terra, entre outros.

A redução da permeabilidade do solo pelo uso de materiais impermeáveis contribui para a modificação da condição climática local e de drenagem urbana, sendo importante a implantação de medidas para mitigação desses efeitos.

Na Europa, a ampliação das áreas impermeáveis no solo gerou um documento, finalizado em 2012, no qual foram sugeridas algumas medidas para limitação, atenuação ou compensação das áreas impermeáveis (COMISSÃO EUROPEIA, 2012), visando uma melhor gestão dos solos, para assegurar suas funções ou parte delas (Quadro 1).

Quadro 1 – Medidas para redução e controle da impermeabilização no solo urbano

MEDIDA	QUANDO UTILIZAR	AÇÃO
Limitação	Quando existe a necessidade de se evitar a conversão de zonas verdes em solos urbanos total ou parcialmente impermeabilizados.	Incentivar o arrendamento de áreas desocupadas na cidade ou arredores que já possua área impermeabilizada e que dificilmente será recomposta.
Atenuação	Nos casos onde é inevitável a mudança de revestimento do solo devido à expansão urbana.	Utilizar materiais permeáveis em substituição ao cimento ou asfalto. Manter algumas das funções do solo e reduzir os eventuais efeitos negativos, diretos e indiretos, que afetam o ambiente e o bem-estar humano.
Compensação	Quando as medidas de atenuação são consideradas insuficientes, para manter ou restabelecer a capacidade global dos solos em uma determinada área e assegurar as suas funções ou parte delas.	Reutilização da camada superficial do solo retirada do terreno em outro local; desimpermeabilização ⁷ de áreas e recuperação dos solos; pagamento de taxa de impermeabilização dos solos à autoridade ambiental competente; ecocontas ⁸ e comércio de certificados de desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de Comissão Europeia (2012).

Dessa forma, verifica-se que inúmeras medidas para limitação, atenuação ou compensação da impermeabilização do solo urbano podem e devem ser exploradas. Áreas desocupadas de obras incompletas, terrenos abandonados, entre outros espaços, devem ter o seu uso estimulado, para reduzir o desmatamento de áreas verdes ou, até mesmo, possibilitar a implantação de novas áreas vegetadas na cidade. Em Maceió, assim como em muitas cidades brasileiras, observa-se a existência de vazios urbanos e terrenos com edificações inacabadas cuja utilização contribuiria para uma ocupação consciente, sem degradação do meio ambiente natural e com o aproveitamento da infraestrutura urbana existente, mas que não acontece, permanecendo na mesma condição por vários anos ou até mesmo décadas.

A implantação de taxas de impermeabilização pode ser um inibidor para utilização exacerbada das áreas urbanas. Além disso, a obrigatoriedade de implantação de uma área verde, com a mesma dimensão da área impermeabilizada, é uma importante medida compensatória, contribuindo para o controle da ocupação do solo. Entretanto, a fiscalização dessas medidas é um fator relevante para um desenvolvimento efetivo e contínuo no processo de urbanização, sendo, portanto, imprescindível.

⁷ Desimpermeabilização consiste em remover as camadas impermeáveis, como asfalto ou concreto, soltando o solo subjacente, com o objetivo de restabelecer uma ligação efetiva com o subsolo natural (COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

⁸ Ecocontas é um sistema que acrescenta os custos ambientais da impermeabilização dos solos na ocupação do mesmo, principalmente em áreas de solo fértil, devendo ser realizadas medidas de compensação de igual valor em outra área (COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

A maioria dos espaços das cidades integram diferentes revestimentos em sua composição. As áreas seminaturais, como parques, contribuem para a qualidade de vida nas cidades, enriquecem a vida humana, proporcionam benefícios sociais, psicológicos (VRSVAJ, B. *et al.*, 2008) e ambientais, devido à utilização de vegetação urbana (FEYISA *et al.*, 2014).

2.1.1 REVESTIMENTO PERMEÁVEL NATURAL

As espécies vegetais, o solo arenoso e argiloso são revestimentos naturais encontrados nas cidades que permitem a infiltração de água no solo e, por isso, são chamados permeáveis. A água absorvida torna o solo mais produtivo e reduz o aquecimento nas áreas urbanas através da dissipação do calor por evaporação. Entretanto, a absorção da água pelo solo depende do tipo de revestimento natural existente.

A vegetação urbana (Figura 5) é representada por espécies gramíneas, arbustivas e arbóreas que variam de tamanho, folhagem, adaptação ao clima regional, entre outras características. Favorece na composição de microclimas com temperaturas mais amenas, modificando as características climáticas provocadas pela urbanização. Quanto maior e mais densa for a cobertura vegetal, maior é a sua interferência no condicionamento térmico urbano e, conseqüentemente, no conforto térmico humano. Em regiões de clima tropical, as reservas florestais contribuem para a diminuição da temperatura do ar local e da amplitude térmica, reduzindo a absorção de calor e aumentando a umidade relativa do ar.

Figura 5 – Vegetação urbana

a) Gramínea – Praça Tenente Madalena, Maceió/AL, Brasil.



b) Arbustiva e arbórea – Praça do Centenário, Maceió/AL, Brasil.



Fonte: Da autora (2015).

As plantas apresentam baixa capacidade calorífica e reduzida condutividade térmica, que acontecem por causa da elevada capacidade de absorção da radiação solar incidente sobre elas para o desenvolvimento de suas funções vitais, como a fotossíntese. O restante da radiação consegue penetrar entre os galhos e as folhas, em maior ou menor quantidade, dependendo da densidade da espécie.

A ação da vegetação é significativa em impedir o aquecimento do solo, pois intercepta grande parte da radiação incidente, que permite o seu resfriamento por meio da evapotranspiração, uma vez que as temperaturas elevadas provocam o fechamento dos estômatos nos vegetais, evitando que as folhas percam água para o ambiente (MODNA; VECCHIA, 2003).

As espécies vegetais podem filtrar a poeira e contaminantes, além de permitir o maior controle dos gases nocivos aos seres humanos e aumentar a quantidade de oxigênio no ar. A sua utilização nas áreas urbanas reduz os efeitos da ilha de calor e da poluição urbana, contribuindo na formação de cidades com melhor ambiência urbana (FEYISA *et al.*, 2014).

As vegetações arbustiva e arbórea podem modificar a direção e velocidade do vento, causando efeitos diferenciados, como a canalização, a deflexão, a obstrução e a filtragem⁹ do vento. As características quanto à altura, dimensionamento da copa, folhagem e quantidade de espécies aplicadas no ambiente urbano podem interferir diretamente no condicionamento térmico no nível do pedestre.

Devido à variedade de espécie, a vegetação possui grande aplicabilidade como elemento da paisagem, permitindo a integração entre o espaço construído e o meio ambiente natural. Além disso, ajuda a manter o equilíbrio do ecossistema urbano, se adaptando e protegendo os espaços abertos e a fauna local.

Alguns instrumentos do planejamento urbano incentivam o emprego de espécies vegetais na cidade como, por exemplo, a Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife-PE (RECIFE; 1996), que além de destinar áreas a permanecer com revestimento de solo permeável, indicam que estas devem ser tratadas com vegetação, considerando-a como um elemento regulador térmico, hídrico e ambiental. A Lei de ordenamento do uso e da ocupação

⁹ A vegetação é utilizada como canalizadora do vento quando disposta em fileiras paralelas, formando um corredor com largura 2,5 vezes menor que a altura média da vegetação. Entretanto, esse efeito apenas acontece quando a vegetação possui copa fechada desde o nível do solo. Funciona como defletora redirecionando a ventilação para a direção mais conveniente. Trabalha como barreira quando obstrui a passagem do vento. A filtragem acontece quando a vegetação permite a passagem do vento com baixa velocidade e bloqueia os resíduos transportados por ele (MASCARÓ; MASCARÓ, 2002).

do solo do município de Salvador-BA (SALVADOR, 2016) indica a ampliação da vegetação como um dos principais objetivos para promover a qualidade ambiental através da aplicação da taxa de permeabilidade.

Outro tipo de solo permeável natural é o solo arenoso (Figura 6), que é composto, primordialmente, por areia (aproximadamente 70%). O solo arenoso é um tipo de solo não coesivo e não plástico, formado por minerais ou partículas de rochas pela ação de agentes físicos e/ou químicos. Pode apresentar altos teores de quartzo na sua composição. Possui granulometria que varia entre 0,06 e 2mm, segundo as normas da NBR 6502 (ABNT, 1995). Apresenta excelente característica de drenagem da água, por ser granulosa, e reflexão da radiação solar direta devido à sua coloração clara.

Figura 6 – Solo arenoso – Praia de Pajuçara, Maceió-AL



Fonte: Da autora (2018).

As principais características do solo arenoso são a consistência granulosa (grãos grossos, médios e finos); alta porosidade e permeabilidade; pouca umidade; seca rapidamente; pobre em nutrientes e água; deficiência em cálcio; pH ácido e baixo teor de matéria orgânica; presença de grandes poros (macroporos) entre os grãos de areia; dificulta a sobrevivência de plantas e organismos; altamente suscetíveis à erosão. Em Maceió, esse tipo de solo está concentrado ao longo da orla marítima, numa faixa de terra próxima ao mar (Anexo G).

2.1.2 REVESTIMENTO PERMEÁVEL INDUSTRIAL

Nem sempre as áreas livres de pavimentação possuem grande capacidade de percolação de água, pois as camadas mais profundas do solo podem estar com alto grau de compactação. Nesse caso, a absorção d'água pelo solo pode ocorrer com o uso de revestimentos permeáveis industrializados na pavimentação, integrados a reservatórios de coleta de água, normalmente empregados em áreas urbanizadas de uso público.

O revestimento permeável industrial, também chamado pavimento permeável, é um dispositivo de infiltração que permite que o escoamento superficial da água seja direcionado para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (URBONAS; STAHRÉ, 1993). Quando atingida a capacidade máxima do reservatório, o escoamento restante poderá infiltrar no subsolo, de acordo com a capacidade do mesmo.

Existem duas classificações, mediante a principal função do dispositivo: infiltrantes e de retenção. Ambos devem possuir extravasores¹⁰ conectados à rede de microdrenagem local, caso ocorram chuvas com intensidade superior à projetada. A ausência desses extravasores inviabiliza o uso dos dispositivos. Segundo Mota (2013), a instalação de pavimento permeável requer algumas observações sobre a área onde será implantado o revestimento, como o tipo do solo; a inclinação do terreno; a existência de redes subterrâneas no local; e o nível do lençol freático:

➤ Os pavimentos permeáveis devem ser aplicados em solo com capacidade de infiltração entre 7 e 200mm/h. O tipo de solo que receberá essa pavimentação é muito importante, pois alguns tipos podem perder suas características e sofrer desestruturação, devido à presença constante de água, tornando o fundo da estrutura muito barrenta. Além disso, não é recomendado o uso desse material em terrenos íngremes.

➤ Quando o subsolo não apresentar solo permeável, é indicado o uso de pavimento permeável de retenção com fundo impermeabilizado, não sendo recomendado a utilização de pavimento infiltrante.

➤ Havendo a interferência de redes subterrâneas como água, esgoto, luz ou telefone, no lugar onde será implantado o pavimento permeável, estas deverão ser realocadas ou o projeto de pavimentação alterado.

¹⁰ Extravasor é uma tubulação responsável por escoar eventuais excessos de água, evitando o transbordamento (SINDUSCON/NH, 2017).

➤ Além da água, os pavimentos permeáveis infiltrantes permitem a penetração de poluentes e esgoto carregados pelas águas pluviais, podendo poluir bacias e aquíferos próximos. Nesse caso, o uso de pavimentos permeáveis de retenção com fundo impermeabilizado pode ser utilizado.

➤ O nível do lençol freático também tem influência no desempenho dos dispositivos de infiltração, devendo estar, no mínimo, 1m abaixo do fundo do mesmo. Caso essa distância seja menor que 1m, o pavimento permeável a ser utilizado deverá ter fundo impermeável.

O pavimento permeável pode ser utilizado no revestimento de áreas urbanas como vias de tráfego leve, calçadas, praças, pátios e estacionamentos, entre outros, favorecendo a drenagem da superfície e a passagem dos nutrientes ao solo. Dessa forma, podem contribuir com o abastecimento de bacias e aquíferos, com a diminuição do escoamento superficial que gera inundações e com o reuso da água armazenada (MOTA, 2013).

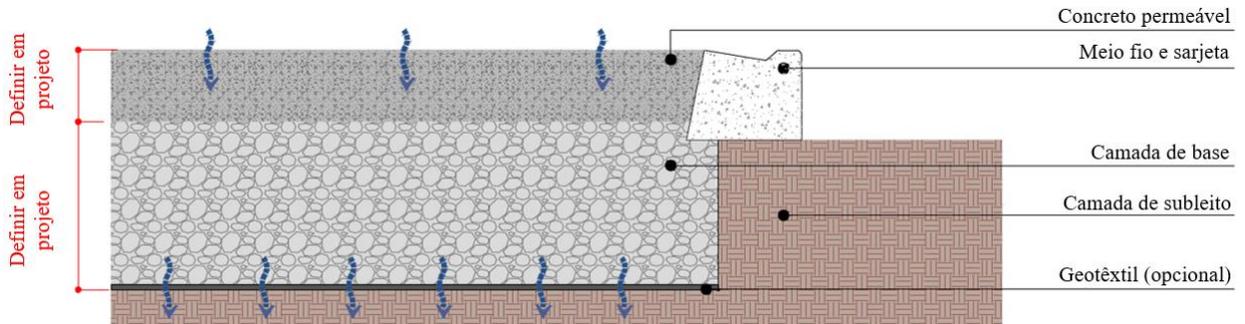
Apesar do seu uso ser mais reconhecido em áreas públicas, alguns parâmetros urbanísticos permitem que parte do solo permeável intralotes seja revestido com materiais permeáveis industrializados, como é o caso da Lei de ordenamento, do uso e da ocupação do solo do município de Salvador (SALVADOR, 2016), que indica a possibilidade de uso do revestimento permeável objetivando a absorção das águas pluviais pelo solo ou coletada por reservatório para o reuso. Essa abordagem certifica a importância da permeabilidade para a drenagem urbana, deixando menos evidente a sua atuação para o condicionamento térmico dos espaços.

Os pavimentos permeáveis são classificados em três tipos: pavimento de concreto ou asfalto poroso, pavimento de placas drenantes de concreto poroso (piso intertravado) e pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular, como areia, ou vegetação rasteira, como grama (URBONAS; STAHR, 1993).

Os pavimentos de asfalto poroso e concreto poroso se diferenciam pelo tipo do material (asfalto ou concreto) que compõe a camada permeável superficial, sequenciada por duas camadas de agregados (uma com agregado fino ou médio e outra com agregado graúdo). A água penetra na camada permeável, com espessura de 5cm a 10cm, passa por um filtro de agregado com 1,25cm de diâmetro e espessura de 2,5cm, chegando à última camada ou reservatório de pedras. Do reservatório, a água pode ser infiltrada para o subsolo ou ser coletada por tubos de drenagem e transportada para uma saída (ARAÚJO *et al.*, 2000; MARCHIOLI; SILVA, 2010). A Figura 7 mostra um corte esquemático para instalação de pavimento de

concreto permeável com infiltração total no solo. Outros cortes esquemáticos estão disponíveis no Anexo A.

Figura 7 – Corte esquemático para instalação de pavimento de concreto permeável com infiltração total no solo



Fonte: Mota (2013).

Esses pavimentos apresentam diferentes comportamentos para o condicionamento térmico das áreas urbanas, devido aos materiais (asfalto ou concreto) empregados na sua confecção e a variação de formatos.

O pavimento de concreto permeável, para Silva *et al.* (2014), “apresenta boa percolação da água e conduz menos energia do que o concreto convencional, proporcionando menor estoque de energia no meio urbano”, por causa da evaporação da água acumulada ou pelo isolamento do calor nos espaços vazios no interior do material. A alta porosidade é devido à sua composição, pois é constituído de pasta cimentícia que envolve os agregados e possui baixo teor de materiais finos ou a ausência destes. Possui entre 15% e 25% de espaços vazios e seu coeficiente de permeabilidade é de aproximadamente 0,34cm/s (MOTA, 2013). A Tabela 1 identifica os valores de algumas propriedades físicas e mecânicas referente a este material.

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas do concreto permeável

PROPRIEDADE	Concreto permeável	Concreto comum
Resistência média a compressão	11,50 MPa	17 MPa
Permeabilidade	0,2 a 1,0 cm/s	10^{-2} cm/s
Transmitância	$3,49 \leq UT \leq 4,01$ W/(m ² K)	5,04 W/(m ² K)
Condutividade térmica	$0,60 \leq \lambda \leq 0,88$ W/(m K)	1,75 W/(m K)

Fonte: Silva *et al.* (2014); Haselback *et al.* (2006).

O piso intertravado é um tipo de pavimento permeável composto de peças de concreto pré-moldados cuja relação comprimento/espessura < 4, atendendo à NBR 9781 (ABNT, 1987).

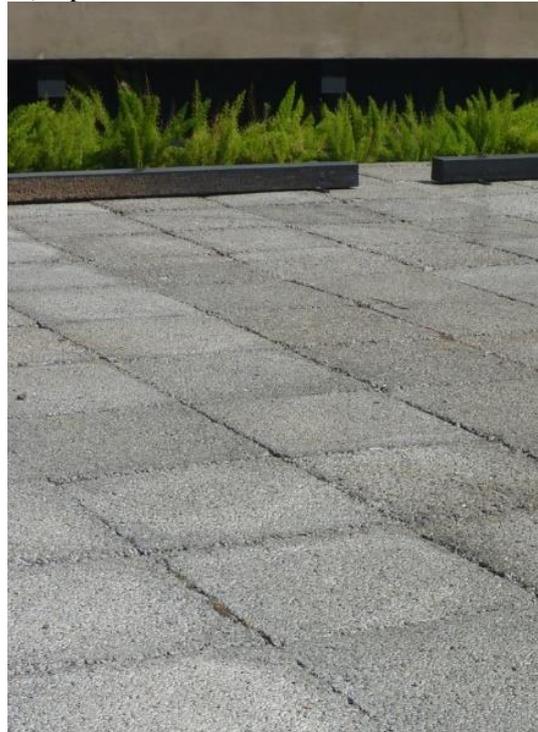
A colocação das peças dispensa a necessidade de acabamento, por isso, a infiltração de água acontece através do espaçamento entre as peças ou pelo interior da mesma quando constituída de concreto permeável. A Figura 8 (a) mostra a absorção da água por uma placa drenante de concreto poroso e a saída da mesma pelo fundo da placa. A Figura 8 (b) mostra um espaço externo revestido com este material.

Figura 8 – Piso intertravado permeável feito com placa drenante de concreto poroso

a) Absorção d'água na placa



b) Aplicado em ambiente externo

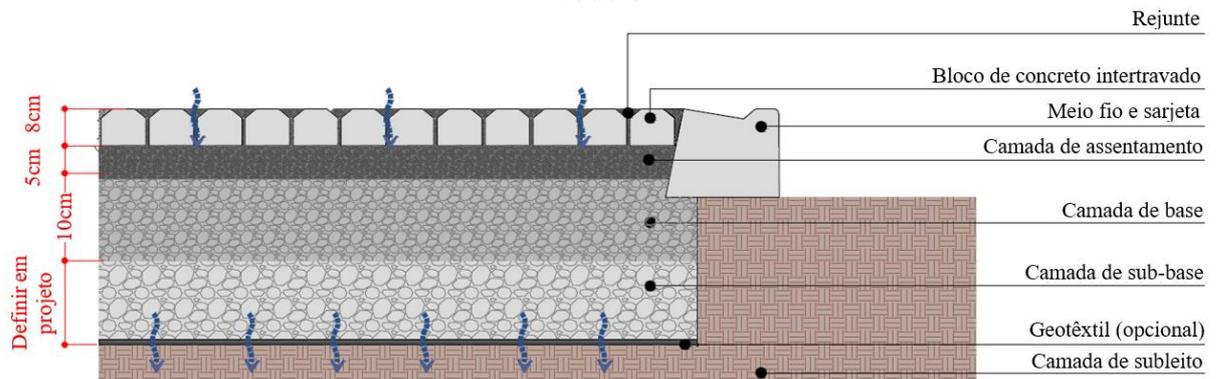


Fonte: Rhino Pisos (2017)¹¹.

A Figura 9 indica o corte esquemático das diferentes camadas de materiais utilizadas para a instalação de pavimento intertravado com infiltração total da água no solo. Outros cortes podem ser encontrados no Anexo B.

¹¹ Indústria, comércio, serviço e representação de pisos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento em geral, pisos intertravados e industriais. Disponível em: http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/18/placa_drenante_piso_drenante_. Acesso em: janeiro de 2017.

Figura 9 – Corte esquemático para instalação de pavimento intertravado com infiltração total no solo



Fonte: Mota (2013).

Mota (2013) define algumas recomendações para a aplicação de pavimento intertravado:

- A escolha entre os tipos de infiltração varia em função das condições locais do solo, risco de contaminação e distância do lençol freático. A estrutura do pavimento pode permanecer saturada por no máximo 24h.
- O rejunte e a camada de assentamento devem ser constituídos de agregado graúdo com $d_{máx} = 9,5\text{mm}$, não devendo ser utilizado pó de pedra ou areia.
- As camadas de base e sub-base devem ser dimensionadas para funcionarem como reservatório e suportar a carga solicitada. A altura das camadas varia em função do tipo de tráfego, tipo de solo e regime de chuvas da região. É importante a utilização na base de um agregado com volume de vazios superior a 40%.

O pavimento de blocos de concreto vazado (Figura 10) é caracterizado pela existência de um orifício no centro de cada bloco ou espaços livres entre eles, que permite o plantio e crescimento da grama, protegendo-a do esmagamento por pedestres, animais e automóveis.

Figura 10 – Pavimento de blocos de concreto vazado

a) Aplicação

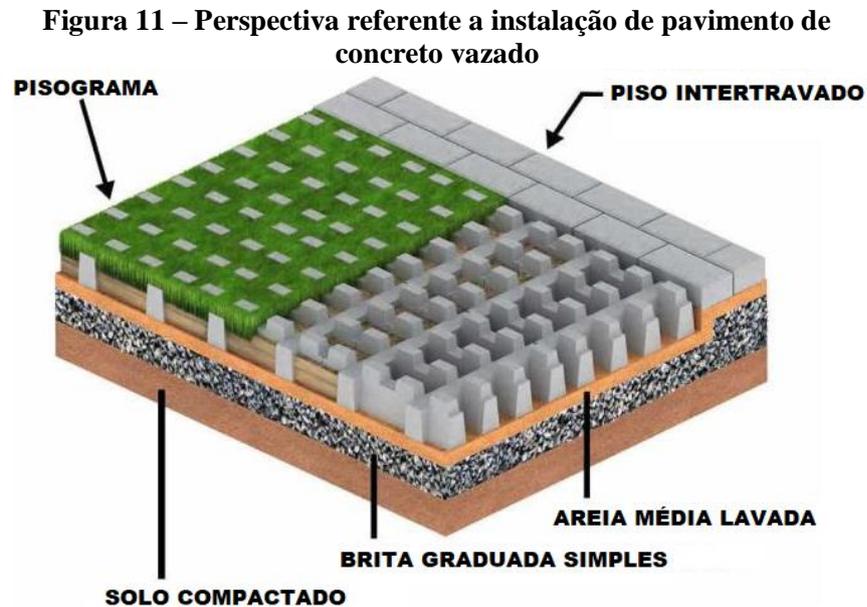


b) com vegetação rasteira



Fonte: Rhino Pisos (2017)¹.

Recebe também a denominação de pisograma ou concregrama e possibilita a criação de uma solução com menor absorção e emissão de calor, devido às propriedades da vegetação referente a absorção da radiação solar, sendo, portanto, o revestimento permeável industrial que mais contribuições pode trazer para a qualidade térmica dos espaços urbanos (Figura 11).



Fonte: Pav Brasil¹² (2017).

2.1.3 REVESTIMENTO IMPERMEÁVEL

A urbanização das cidades contribui para o crescimento de áreas revestidas com materiais impermeáveis. A impermeabilização de alguns materiais, como as pedras naturais, acontece no acabamento de sua superfície. Os revestimentos impermeáveis, principalmente os industrializados, apresentam reduzida capacidade de absorção de água e, por isso, dificultam a penetração da água no solo. Segundo Marchioni e Silva (2010), as áreas com cobertura florestal possibilitam a infiltração de 95% da água da chuva no solo, enquanto nas áreas urbanas esse percentual é reduzido para 5%, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais, além do aumento no volume e constância das enchentes.

Existe um grande número de materiais impermeáveis, porém este trabalho se limitou aos materiais encontrados no revestimento do solo urbano como asfalto, revestimentos cimentícios, pedras, solo argiloso e revestimentos cerâmicos.

¹² Disponível em: <http://www.pavbrasil.com.br/concregrama-pisograma/>.

O asfalto é utilizado predominantemente na pavimentação das vias urbanas. Os pavimentos representam o maior percentual das superfícies urbanas, cerca de 40%, seguidos dos telhados que constitui entre 20 e 25% (AKIBARI; MENON; ROSENFELD, 2009). Sua matéria prima é o petróleo, que destilado e misturado a diversos materiais, forma diferentes tipos de asfaltos. De coloração escura, a superfície desse material tende a esquentar no período diurno e aquecer a temperatura do ar adjacente.

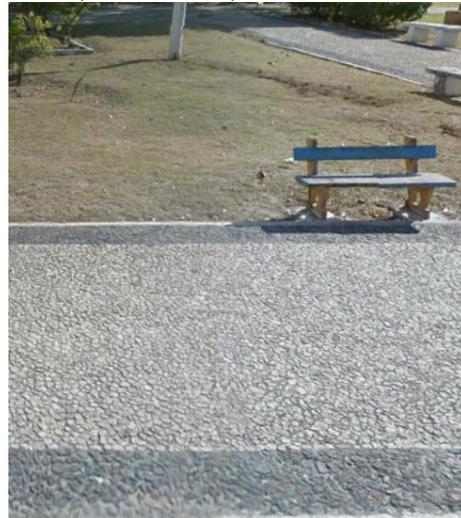
As pedras naturais, como granito, pedras portuguesas, basalto e ardósia, são extraídas do solo e passam por etapas processuais características para cada tipo e função da pedra. Após o corte, passam por processos físico-químicos para aumentar a resistência e dar acabamento à superfície. Na sequência, são aplicados nos ambientes na forma de blocos modulados, lajotas, paralelepípedos ou ladrilhos, com uma grande variedade de tamanhos, cores e formas. Suas propriedades variam de acordo com o material, entretanto, elas são normalmente duráveis, de alta qualidade e oriundas de fontes não renováveis (BROWN; FARRELLY, 2014). Alguns tipos de pedras naturais são muito encontrados em ambientes externos, como as pedras portuguesas, cuja matéria prima é o calcário, que estão presentes em praças, parques e espaços públicos, assim como os paralelepípedos de basalto, granito, arenito e outros tipos de rochas, encontrados no calçamento de ruas (Figura 12).

Figura 12 – Alguns tipos de revestimento do solo urbano

a) Asfalto – Avenida Josefa de Melo, Maceió/AL, Brasil



b) Pedra portuguesa – Praça Muniz Falcão, Maceió/AL, Brasil



c) Paralelepípedo – Estacionamento da FAU – UFAL, Maceió/AL, Brasil



Fonte: Da autora (2016).

Nas cidades, algumas áreas podem apresentar solo exposto sem a presença de vegetação, como por exemplo, em terrenos desocupados e ruas não pavimentadas. O solo exposto pode ser um solo argiloso (Figura 13). O solo argiloso possui em média 30% de argila na sua composição de grãos. Possui consistência fina com a presença de microporos, que contribuem para a retenção de água, podendo ficar encharcado no período chuvoso. No período seco, sua porosidade diminui, formando uma superfície rígida e propícia ao surgimento de rachaduras. O tráfego nessas áreas pode modificar as condições naturais de infiltração de água no solo, recebendo a nomenclatura de solo compactado (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000). Por esse motivo pode ser considerado um solo impermeável. A umidade reduzida no solo argiloso diminui a capacidade do mesmo de evaporação da água para a atmosfera. A coloração mais escura da superfície amplia a capacidade de absorção da radiação no solo, podendo contribuir para o aumento da temperatura da superfície e, por consequência, do ar externo.

Figura 13 – Solo argiloso – Bairro de Cruz das Almas, Maceió-AL



Fonte: Da autora (2018).

A argila é um material que possibilita a criação de vários produtos, entre eles, os revestimentos cerâmicos (Figura 14a), muito utilizados no revestimento de calçadas, garagens, quintais, terraços, entre outros ambientes. No processo de fabricação podem ser: extrudado, trançado, moldado ou formado; e queimado em temperatura elevada. São resistentes à umidade, ao desgaste por abrasão superficial e às altas temperaturas. Possuem um alto grau de dureza, entretanto, são quebradiços. As cerâmicas podem apresentar diferentes características, como serem “texturizadas ou lisas, antideslizantes e resistentes ao congelamento, pigmentadas e pintadas ou mesmo esmaltadas durante o processo de cozimento” (BROWN; FARRELLY, 2014). Sua principal matéria prima é a argila oriunda dos solos. Os solos que possuem maior teor de argila, em comparação com os arenosos, apresentam maior capacidade de retenção de água, porém, com índice de infiltração baixo (COMISSÃO EUROPEIA, 2012). Nos ambientes com revestimentos cerâmicos, a impermeabilização acontece principalmente devido à esmaltação dos mesmos, que forma uma camada protetora e impede a infiltração dos líquidos.

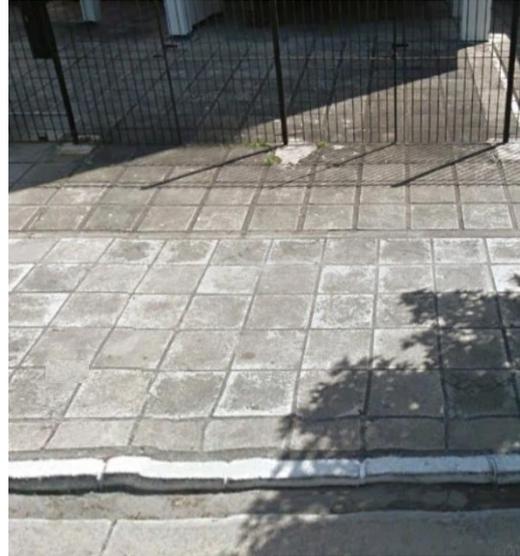
Os revestimentos cimentícios (Figura 14b) são materiais artificiais cuja principal matéria-prima para fabricação é o cimento. Pode apresentar acabamento liso ou rústico e são largamente utilizados nos espaços externos, pois apresentam grande resistência a intempéries, abrasão e tráfego de pessoas. Pode ser um produto industrializado ou moldado de forma artesanal no próprio ambiente. Quando industrializado, a variedade de formas, tamanhos e cores é grande.

Figura 14 – Revestimentos cerâmico (a) e cimentício (b) utilizados em áreas externas de calçadas

a) Rua Profa. Hígia Vasconcelos, Maceió/AL, Brasil



b) Rua Silvio Carlos LunnaVianna, Maceió/AL, Brasil



Fonte: Da autora (2016).

A zona rural se diferencia da zona urbana pela maior extensão de área revestida com materiais permeáveis. A observação das diferenças entre os meios rural e urbano contribuiu para formação da climatologia urbana, responsável por entender e explicar as causas e consequências das mudanças climáticas geradas pela urbanização.

2.2 A permeabilidade do solo no clima urbano

A interação do meio ambiente urbano às condições climáticas é um tema encontrado em várias pesquisas de instituições, como a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization/WMO*) (DUARTE, 2000). A WMO é uma agência especializada das Nações Unidas, com membros de várias nacionalidades, que busca, através do conhecimento das mudanças climáticas antropogênicas¹³, estabelecer parâmetros que possam minimizar os efeitos dessas mudanças e disseminar o conhecimento¹⁴. Os balanços sobre os

¹³ Faz-se importante salientar que existem divergências sobre a teoria das mudanças climáticas globais. Molion (2008, p. 7) argumenta que “a influência humana no clima, se existir, seja muito pequena e impossível de ser detectada em face de sua grande variabilidade natural. Considerando essa variabilidade, é muito provável que ocorra um resfriamento global nos próximos 20 anos ao invés de um aquecimento”.

¹⁴ Disponível em: https://www.wmo.int/pages/index_en.html.

estudos de climatologia urbana, produzidos pela WMO nos relatórios técnicos de seus simpósios especiais, indicam um crescente interesse pela temática (MONTEIRO, 2003).

O uso de revestimento permeável no solo urbano é uma estratégia que pode ser utilizada no controle higratérmico das áreas urbanas, assegurando a absorção da água pelo solo. Em alguns países, uma abordagem conhecida como WSUD (*Water Sensitive Urban Design* – Desenho Urbano Sensível ao Ciclo da Água) está presente em instrumentos legais visando o manejo, proteção e preservação do ciclo da água em ambientes urbanos, devido à sua comprovada eficiência na mitigação dos efeitos gerados pela urbanização, como a formação de ilhas de calor e o aumento da frequência de eventos extremos de precipitação atmosférica. Apesar dos esforços brasileiros de implantar fatores relacionados ao desenvolvimento sustentável em legislações ambientais, essa abordagem tem sido pouco utilizada (DE MARCO; ASSIS, 2013).

Embora o reconhecimento de que a climatologia é um importante elemento para o planejamento urbano, com a intenção de preservação da qualidade ambiental, sua atuação nas atividades de planejamento e projeto das cidades é considerada limitada. Assis (2005) diagnosticou algumas causas dessa limitação: abordagem fragmentada e desintegrada entre os diversos campos do conhecimento envolvidos; a grande maioria dos trabalhos nessa área são descritivos e com resultados restritos ao estudo de caso; em boa parte da literatura especializada, as recomendações para o planejamento e projeto urbano climaticamente responsáveis são muito genéricas. Segundo Barbirato *et al.* (2011, p. 75), “no Brasil, os dados sobre o clima urbano são, geralmente, de difícil acesso e, quando disponíveis, não são tratados para uso em projetos de arquitetura ou em planejamento das cidades”, mostrando a necessidade de integração entre essas áreas.

Apesar do grande avanço nas pesquisas sobre climatologia e da consciência da comunidade científica referente a sua aplicabilidade no planejamento urbano, verifica-se a ausência efetiva das questões climáticas na formação das cidades brasileiras, demonstradas nas inúmeras pesquisas que estudam os problemas existentes para propor as soluções de forma imediata.

Nos instrumentos do planejamento, como os planos diretores, os condicionantes ambientais são mencionados como um dos principais objetivos a serem alcançados, porém é observado que as leis disponíveis apresentam resultados limitados quanto a esta questão, principalmente no que se refere a permeabilidade do solo.

A qualidade térmica nas áreas urbanas está relacionada com a existência de melhores condições térmicas dos espaços da cidade, favoráveis ao bem-estar dos seus habitantes. As variáveis normalmente utilizadas como indicadores da qualidade térmica das áreas externas são a temperatura do ar, por ser uma medida da energia térmica, e umidade do ar, por representar o estado da água da atmosfera (OKE, 2002). O aumento da temperatura do ar na cidade interfere na frequência de precipitações e na nebulosidade, gerando o crescimento destas. A precipitação contribui para a deposição de poluentes. Portanto, o uso de estratégias para diminuição da temperatura do ar em áreas urbanas contribui para a melhoria da qualidade do ar nessas áreas (TOUCHAEI *et al.*, 2016).

Diante dessa abordagem, o planejamento das cidades não pode desconsiderar o desenvolvimento sustentável, prevendo os impactos gerados no meio ambiente e no consumo energético. Alguns critérios são utilizados para a elaboração das normas que compõem os instrumentos do planejamento, cujos principais são: a preservação dos principais canais da ventilação; a eficiência energética no ordenamento do uso e ocupação do solo; a manutenção das condições adequadas de umidade; e estratégias bioclimáticas para cada domínio climático que se estende à escala do edifício (TORRES *et al.*, 2013b). Para Torres *et al.* (2013a, p. 3) “a abordagem multidisciplinar deve incorporar as estratégias, enfocando os escopos da sustentabilidade, como a melhoria da qualidade de vida e o equilíbrio ambiental”, onde o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades nas gerações atuais, sem comprometer as futuras gerações.

Inúmeras questões são discutidas pelos planejadores urbanos sobre quais estratégias devem ser adotadas, que permitam o crescimento das cidades agregado à qualidade ambiental, climática e de vida da população (BITAN, 1992). Segundo Evans e Schinller (1996), os planejadores buscam respostas para uma combinação complexa de questões: quais características do microclima existente devem ser preservadas quando o crescimento urbano é necessário? Quais as modificações microclimáticas desejadas e possíveis de alcançar através do crescimento urbano planejado? E como o meio ambiente térmico urbano pode ser protegido e melhorado dentro dos limites impostos pelas restrições políticas, econômicas, sociais e legais; entre outras questões.

O clima¹⁵ é modificado pela formação dos aglomerados urbanos, e estes sofrem as consequências das mudanças climáticas locais, havendo uma interdependência entre eles. Segundo Futcher *et al.* (2013, p. 112):

o efeito do clima urbano resulta tanto de mudanças na superfície da Terra que alteram o balanço energético natural quanto da concentração de atividades, as emissões de gases residuais, líquidos e partículas que alteram a composição da atmosfera. Muitos desses efeitos são o resultado de decisões sobre a forma de construção (a forma do envelope e os materiais usados na construção) e sobre as funções de construção (a natureza da ocupação), que são frequentemente feitas no contexto de diretrizes de planejamento de escala de vizinhança. Em outras palavras, o clima urbano é parcialmente o resultado agregado de decisões tomadas na escala de edifícios individuais e, embora isso afete o desempenho desses edifícios, não está incluído na avaliação dos edifícios.

Não há precisão sobre o grau de urbanização ou que características geomorfológicas locais podem intervir para a caracterização do clima urbano. Segundo Landsberg (1981), qualquer forma, edificação ou rua causa um novo microclima. Os microclimas particulares podem afetar diretamente os usuários dos espaços e dependem de inúmeros fatores. Masiero (2014, p. 14) explica que:

a qualidade ambiental urbana, considerada sob o ponto de vista das condições de conforto ambiental, consumo energético e saúde dos habitantes de uma cidade, está fortemente ligada aos padrões de ocupação e à natureza geográfica de uma determinada região. As diversas formas de ocupação do território podem influenciar padrões de comportamento atmosférico, atuando principalmente na alteração dos índices de temperatura, umidade do ar e dispersão de poluentes.

Desde o século XIX, pesquisas abordam as causas e os efeitos das mudanças climáticas, visando melhorar o condicionamento ambiental para o planejamento futuro. Elas estão relacionadas com a rugosidade, uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade e propriedades dos materiais constituintes, entre outros fatores (OKE, 2002).

Considerado o pioneiro nos estudos do clima urbano, Luke Howard desenvolveu o primeiro estudo sobre as diferenças de temperatura do ar entre as áreas urbanas e as áreas rurais, em função das emissões atmosféricas, para a cidade de Londres e arredores (MONTEIRO, 2003). Foram registrados e tabulados dados de 1806 a 1830. Ele verificou que a cidade de Londres estava sempre mais quente que as áreas rurais circundantes. A pesquisa resultou na

¹⁵ O clima é a resposta dinâmica da integração entre fatores globais (latitude, longitude, altitude, continentalidade, massa de água e de ar, entre outros), fatores locais (topografia, revestimento do solo) e elementos climáticos (temperatura, umidade, direção e velocidade do ar). Como cada localidade geográfica possui as suas características, não existem dois climas rigorosamente iguais (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

obra *O clima de Londres deduzido por observações meteorológicas feitas na metrópole e em vários lugares do seu entorno*, publicada em 1833.

Em 1937, Albert Kratzer reuniu, em seus estudos, um abrangente referencial teórico sobre clima urbano que culminou em sua tese de doutorado em Munique, na Alemanha, denominado *The climate of cities*, apresentando concepções básicas sobre o clima das cidades e a climatologia como um todo (KRATZER, 1956).

Em continuidade ao trabalho de Howard em Londres, Tony Chandler desenvolveu *The Climate of London*, em 1965. Sua pesquisa inovou pela utilização de estações móveis para medições das variáveis climáticas acopladas a um carro que, em movimento, permitia o monitoramento da temperatura e umidade do ar de Londres em várias horas do dia e da noite (CHANDLER, 1965).

As pesquisas sobre o clima urbano se intensificaram após a Segunda Guerra Mundial, ocasionadas pela expansão e crescimento das áreas urbanas. Timothy Richard Oke¹⁶ desenvolveu inúmeros trabalhos evidenciando o armazenamento de calor em áreas urbanas. Demonstrou em seus estudos que a geometria urbana e as propriedades térmicas das superfícies são as características mais relevantes que dirigem as variáveis responsáveis pelas diferenças no balanço de energia radiante e nas taxas de resfriamento entre os meios urbano e rural (OKE *et al.*, 1981).

As escalas, denominadas escalas climatológicas, tiveram papel fundamental na tomada de decisões para o planejamento urbano, contribuindo nas decisões sobre a forma e a orientação da estrutura urbana (CLANDLER, 1976; OKE, 2006). São classificadas como macroescala, mesoescala, escala local e microescala¹⁷. A maioria das classificações utiliza a medida da distância horizontal como único critério de limite entre elas. Entretanto, o dimensionamento não apresenta um limite rígido, podendo uma determinada medida está contida em duas escalas (Quadro 2).

¹⁶ Timothy Richard Oke é professor emérito e ex-chefe do Departamento (1991 – 1996) de Geografia da *University of British Columbia*. Suas pesquisas são na área de clima urbano, nos balanços de energia e águas das cidades. (UBC, 2017). Das várias pesquisas publicadas, podemos citar: *A distinção entre o dossel e as ilhas de calor urbano da camada limite* (OKE, 1976), *Parametrização de armazenamento de calor em áreas urbanas* (OKE, 1981) e *Climas da camada limite* (OKE, 2002), entre outros.

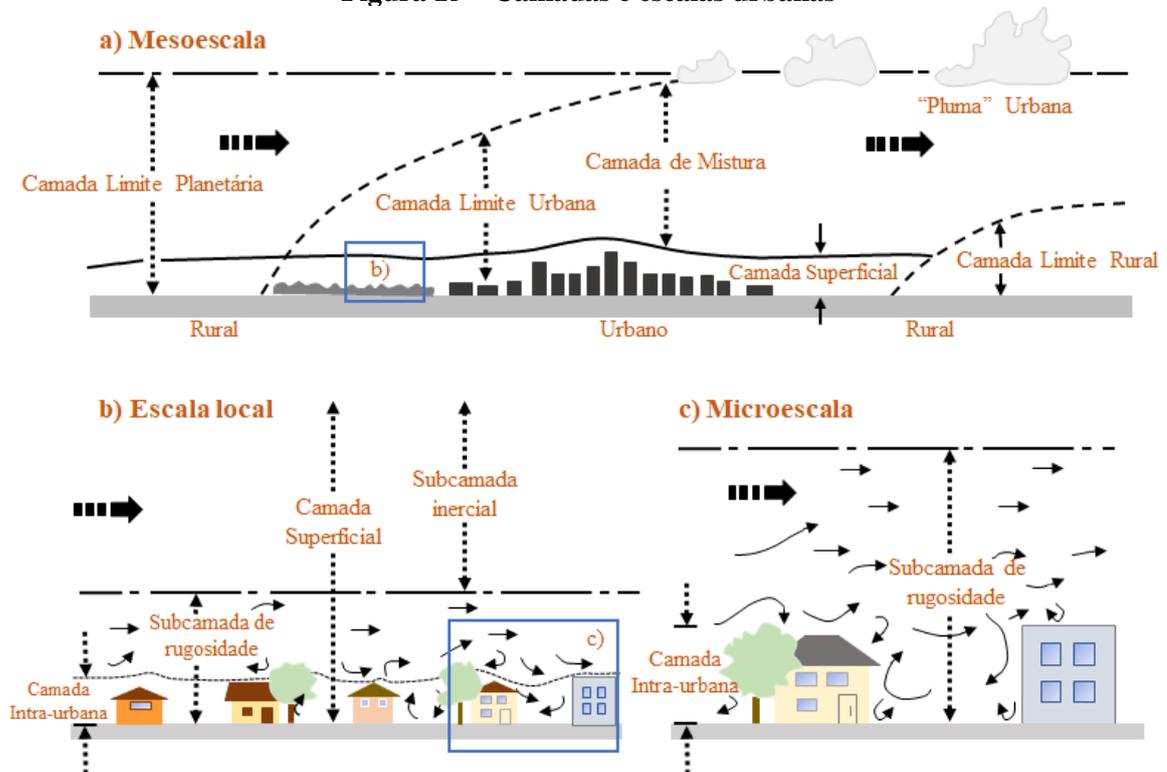
¹⁷ A mesoescala sofre a influência das mudanças de altitude a partir da orografia. Orografia é a parte da geografia física que se dedica à descrição de montanhas. Corresponde à escala da cidade como um todo e favorece ao seu planejamento. A escala regional ou macroescala está relacionada com as propriedades meteorológicas. Os dados referentes a esta escala podem contribuir para o planejamento regional. A escala local pode representar uma parcela da área urbana, incluindo características da paisagem como a topografia. É importante desconsiderar os efeitos de microescala nesse contexto. A microescala corresponde a escala das edificações. Possui a influência do entorno imediato, como edificações, árvores, ruas, jardins, entre outros (OKE, 2002).

Quadro 2 – Escalas urbanas e seus limites

Microescala	0,01m a 1000m
Escala local	100m a 50.000m
Mesoescala	10.000m a 200.000m
Macroescala	100.000m a 100.000.000m

Fonte: Adaptado de Oke (2002, p. 3).

A atmosfera urbana possui uma divisão simplificada em duas camadas verticais (Figura 15): a camada limite urbana (*urban boundary layer*) e a camada intra-urbana (*urban canopy layer*) (LOMBARDO, 1985). A camada limite urbana corresponde à escala mesoclimática. Está localizada acima da cobertura urbana e suas características sofrem a influência dos elementos da cidade. Os ventos regionais interferem nesta camada que, a sotavento, é suspensa do solo e encontra a camada limite rural, também chamada como “pluma urbana”.

Figura 15 – Camadas e escalas urbanas

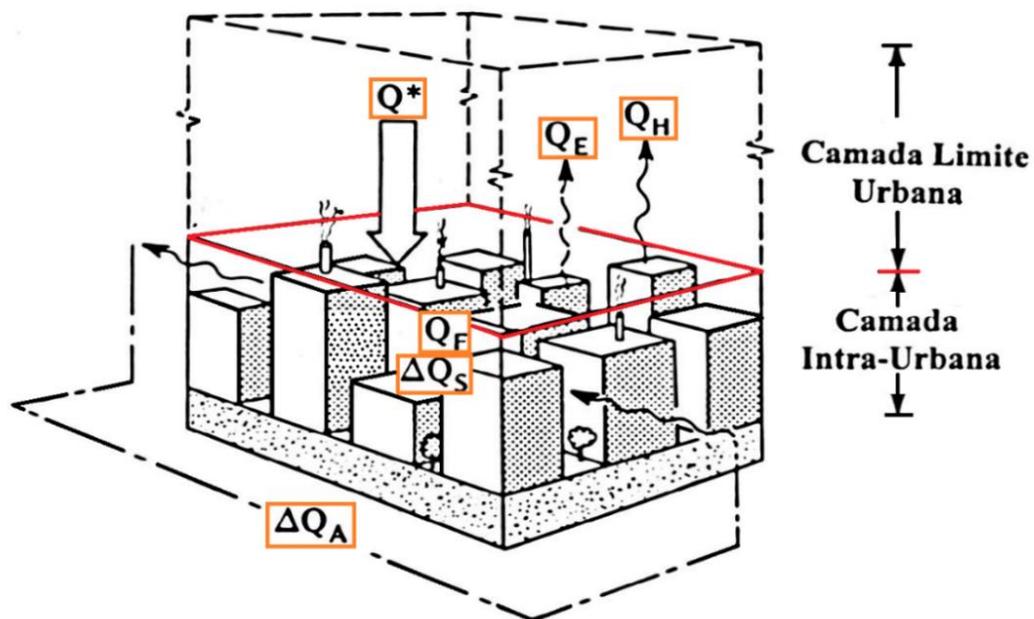
Fonte: Adaptado de Oke (2006, p. 3).

A camada intra-urbana, também conhecida como camada da cobertura urbana, corresponde às áreas entre as edificações e abrange desde a superfície do solo até o nível dos telhados. Nela, as características climáticas são influenciadas pela forma urbana, os espaços

entre as edificações, os revestimentos das superfícies, a vegetação urbana, entre outros, e a relação destes com os elementos climáticos, sendo os mais significativos a radiação solar e a ventilação. Por estar próxima à superfície e ao nível dos transeuntes, pode interferir no conforto térmico humano. Nessa camada, a diversificação de arranjos urbanos e a variedade de materiais empregados nas superfícies possibilitam a formação de diferentes microclimas urbanos.

Na escala microclimática, os materiais encontrados nos cânions urbanos, formados pelas edificações e os revestimentos do solo, podem contribuir para o aumento da carga térmica nessas áreas, devido às suas propriedades, interferindo no balanço de energia. Segundo Oke (1998), o balanço de energia consiste na separação da energia radiante absorvida na superfície da terra (Q^*), em fluxos de calor que controlam o clima da superfície: fluxos turbulentos de calor sensível (Q_H) e latente (Q_E) e o fluxo de calor sensível de condução do solo (ΔQ_S), além do fluxo de calor antropogênico (Q_F) e da advecção líquida (ΔQ_A), representados na Figura 16. Nessa escala, a influência do revestimento do solo é mais perceptível, sendo, portanto, utilizada como referência para este trabalho.

Figura 16 – Representação esquemática dos fluxos envolvidos no balanço de energia da superfície urbana

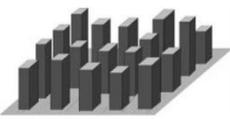
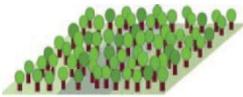


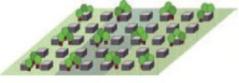
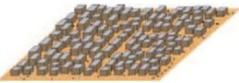
Fonte: Adaptado de Oke (1998, p. 275).

As cidades são formadas por diferentes arranjos urbanos. A composição da forma das edificações com a diversidade de materiais empregados nas superfícies possibilita inúmeras variações de arranjos urbanos. Os elementos que contribuem para a diferenciação dos mesmos

estão relacionados com a altura do edifício, espaçamentos entre as edificações, tipos de revestimento do solo, entre outros. A partir desses elementos, Stewart e Oke (2012) indicam uma classificação simplificada de formas urbanas distintas que representam as zonas climáticas locais (*LCZ*). Elas se diferenciam por características relacionadas a densidade, número de pavimentos; espaçamento entre as edificações; presença de vegetação, corpos d'água e áreas livres; revestimentos do solo permeáveis e impermeáveis (Quadro 3).

Quadro 3 – Características da forma urbana

Tipos de edifícios		Tipos de coberturas do solo	
<p>1. Compacta de alta elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios altos de dezenas de pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo normalmente pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>A. Árvores densas</p> 	<p>Paisagem fortemente arborizada de árvores decíduas e/ou de folhas perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>2. Compacta de média elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de média elevação (3-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.</p>	<p>B. Árvores espaçadas</p> 	<p>Paisagem levemente arborizada de árvores de folha caduca e/ou perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>3. Compacta de baixa elevação</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.</p>	<p>C. Moita, Arbusto</p> 	<p>Arranjo aberto de moitas, arbustos, e árvores curtas e lenhosas. A cobertura do solo é extremamente permeável (solo nu ou areia). Função da zona é mata natural ou agricultura.</p>
<p>4. Aberto de alta elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios altos de dezenas de pavimentos. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>D. Poucas plantas</p> 	<p>Paisagem inexpressiva de grama ou cultivo de plantas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.</p>
<p>5. Aberto de média elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios de média elevação (3-9 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.</p>	<p>E. Pedra nua ou asfaltado</p> 	<p>Paisagem inexpressiva de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou plantas. Função de zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano</p>

Tipos de edifícios		Tipos de coberturas do solo	
6. Aberto de baixa elevação 	Arranjo aberto de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de madeira, tijolos, pedra, azulejo e concreto.	F. Solo nu ou areia 	Paisagem inexpressiva de cobertura de solo ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
7. Leve de baixa elevação 	Densa mistura de edifícios de pavimento único. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente bem compactado. Materiais de construção leves (madeira, metal corrugado).	G. Água 	Corpos de água grandes e abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.
8. Grande de baixa elevação 	Arranjo aberto de edifícios de baixa elevação (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.	Propriedades da cobertura do solo variável	
		Propriedades de cobertura do solo variável ou efêmera que mudam significativamente com padrões climáticos sinóticos, práticas agrícolas e/ou ciclos sazonais	
9. Edificações espaçadas 	Arranjo escasso de pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).	Árvores nuas	Árvores de folha caduca (ex. inverno). Fator de visão do céu aumentado. Albedo reduzido.
		Cobertura de neve	Cobertura de neve >10cm de profundidade. Admitância baixa. Albedo alto.
10. Industria pesada 	Estruturas industriais de baixa elevação e de médio alcance (torres, tanques, chaminés). Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura do solo é principalmente pavimentada ou bem compactada. Materiais de construção de metais, aço e concreto.	Terra seca	Solo compactado. Admitância baixa. Taxa de Bowen grande. Albedo elevado.
		Terra molhada	Solo encharcado. Admitância alta. Taxa de Bowen pequena. Albedo reduzido.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012, p. 1885).

A classificação de Stewart e Oke (2012) indica que o revestimento do solo urbano está dividido em sete categorias, considerando pedra e asfalto dentro de um mesmo tipo, assim como solo nu e arenoso. Os corpos d'água também foram considerados como um tipo de revestimento do solo. A vegetação foi dividida em quatro tipos, mostrando que as diversas composições que utilizam este elemento podem trazer diferentes consequências ao condicionamento microclimático urbano.

Para a etapa referente à análise da relação do tipo de revestimento com a carga térmica da superfície (temperatura da superfície e albedo) foram escolhidas as áreas revestidas com

grama, asfaltada, solo nu e cimentada, que são comumente encontrados nas áreas da cidade de Maceió.

No estudo que relaciona o percentual de permeabilidade com a qualidade térmica (temperatura do ar, umidade relativa do ar) foi utilizado como referência uma área que representa um arranjo aberto de baixa elevação.

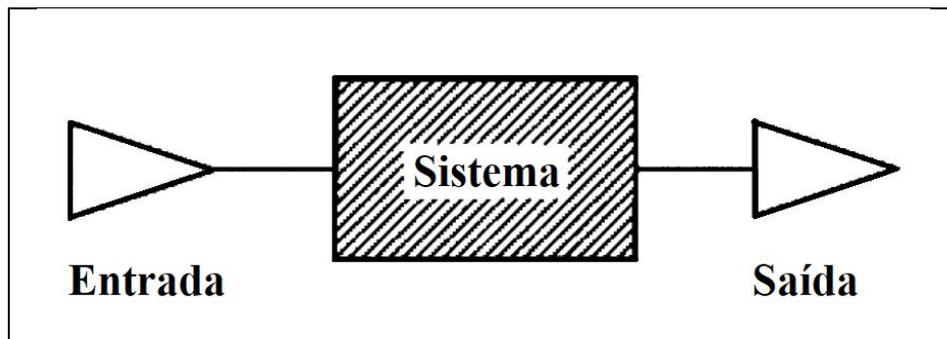
O uso de materiais impermeáveis no solo urbano exerce grande influência sobre o ambiente térmico urbano, pois os materiais impermeáveis contribuem para o incremento de calor nos cânions urbanos. Entre as consequências da impermeabilização das superfícies urbanas na formação de microclimas diferenciados estão o aumento da temperatura do ar nessas áreas; a redução da umidade do ar e da evaporação na área urbana; e o acúmulo da radiação térmica na estrutura urbana.

2.2.1 BALANÇO DE ENERGIA

A climatologia clássica da primeira metade do século XX tinha como preocupação primordial a distribuição dos principais parâmetros, como a temperatura e umidade do ar, no tempo e no espaço, por serem uma medida da energia térmica e do estado da água da atmosfera, respectivamente. A climatologia física moderna aborda o estudo dos processos pelos quais a energia é transferida, convertida e armazenada nos ciclos de energia e água do sistema Terra-Atmosfera.

O fluxo de energia no sistema Terra-Atmosfera pode ser representado de forma simplificada (Figura 17), onde a quantidade de energia que entra no sistema é igual a de saída acrescida à mudança no armazenamento de energia, pois parte dessa energia pode ficar retida no sistema por causa de um acúmulo ou esgotamento da mesma no armazenamento, como por exemplo, o acúmulo de calor pelo solo urbano que, provavelmente, implicará no aumento na temperatura do solo e/ou do ar. A quantidade de energia armazenada ou que sai do sistema depende das propriedades físicas do mesmo, como sua capacidade de absorver, transmitir, refletir e emitir radiação, sua capacidade de conduzir e convectar o calor e sua capacidade de armazenar energia (OKE, 2002).

Figura 17 – Fluxo de energia através de um sistema



Fonte: Oke (2002, p. 7).

Para a climatologia, a energia existente no sistema Terra-Atmosfera pode ser encontrada nas formas radiante, térmica, cinética e potencial, e está em constante transformação. Segundo a lei de conservação de energia, Primeira Lei da Termodinâmica, a energia não pode ser criada e nem destruída, apenas convertida de uma forma para outra. Um exemplo é que a energia de entrada pode ser totalmente radiante, mas a saída pode ser uma mistura de todas as quatro formas. Além das formas, os modos de entrada e saída do transporte de energia podem ser diferentes.

A radiação solar é a principal responsável pelo aquecimento das superfícies urbanas. Consiste em energia eletromagnética emitida pelo Sol em forma de onda curta, que é parcialmente absorvida pela atmosfera terrestre. Apresenta três escalas de classificação: infravermelha, visível e ultravioleta. A camada de ozônio que envolve o planeta, os vapores d'água e o dióxido de carbono absorvem a maior parte dos raios ultravioleta e infravermelhos. O restante da radiação solar é absorvido pela superfície terrestre e reemitido ao meio ambiente em forma de calor, devido às trocas de energia, podendo gerar o aumento da temperatura do ar. As trocas de energia

As trocas de energia no sistema Terra-Atmosfera podem acontecer por condução, convecção e radiação. A condução térmica é o processo pelo qual o calor é transmitido dentro de uma substância pela colisão de moléculas que se movem rapidamente. Geralmente é um tipo de transferência que acontece entre sólidos. Depende das propriedades térmicas do substrato, como a absorvidade (α), a resistência térmica e a condutividade térmica (k). No solo urbano, o calor acumulado na superfície é conduzido para camadas mais profundas, aumentando sua temperatura. Esse processo dura até que a energia térmica conduzida se dissipe completamente.

O processo de convecção envolve o intercâmbio vertical de massas de ar e ocorre exclusivamente com a presença de fluidos. A troca térmica por convecção permite a troca de

calor da atmosfera com as superfícies em suas formas sensível e latente. No caso do solo urbano, o ar troca calor com os materiais que revestem o solo, permitindo a mudança da temperatura da superfície através da perda ou ganho de calor. Além disso, a água presente na superfície do solo pode ser liberada para o ar em forma de vapor de água devido ao calor latente de evaporação.

O calor sensível está presente na mudança de temperatura de um corpo que recebe ou perde energia. O calor sensível é transportado de uma superfície mais quente para o ar mais frio por redemoinhos turbulentos e é liberado quando se mistura com o ar ambiente. O transporte reverso acontece quando o ar está mais quente que a superfície.

O calor latente permite que uma substância mude seu estado físico a uma determinada temperatura. Nesse caso, o calor fica armazenado dentro da substância e está disponível para liberação caso a mesma volte ao estado anterior. O transporte de calor latente depende do vapor de água. O calor latente transmitido a uma parcela de ar úmido na evaporação da água na superfície é liberado para aquecer o ar quando o vapor de água se condensa em nuvem.

A convecção pode acontecer de forma livre ou forçada. A convecção livre acontece devido à diferença de densidade entre a parcela de ar e o fluido circundante. Se uma parcela de ar estiver mais quente, ela será menos densa e tenderá a subir, permitindo que o ar frio se desloque para a área desocupada. Por outro lado, se estiver mais fria e conseqüentemente mais densa, tenderá a descer. O transporte de calor convectivo horizontal (sensível e latente) é chamado de advecção (ΔQ_A) (OKE, 2002).

A radiação é uma forma de energia que acontece devido às rápidas oscilações dos campos eletromagnéticos. Ela é transferida por fótons ou pacotes de energia que possuem propriedades semelhantes às partículas e às ondas. As oscilações podem ser consideradas ondas viajantes caracterizadas por seu comprimento de onda (λ), que é a distância entre sucessivos ciclos ondulatórios. A radiação é capaz de viajar no vácuo, e toda a radiação se move à velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$). O comprimento de onda é unicamente relacionado à energia do fóton, de modo que é possível calcular o fluxo de energia do fóton em qualquer comprimento de onda ou faixa de onda (OKE, 2002).

A radiação de comprimento de onda incidente sobre uma substância deve ser transmitida através dela ou ser refletida de sua superfície, ou ser absorvida. As propriedades¹⁸ que definem a distribuição da radiação na substância são a transmissividade (ψ), a refletividade (ζ) e a

¹⁸ As propriedades radiativas dos materiais são expressas com valores adimensionais entre zero e unidade (OKE, 2002).

absortividade (α), onde o somatório destas deve ser igual a um (Equação 3) para um mesmo comprimento de onda, demonstrando a conservação de energia.

$$\psi + \alpha + \zeta = 1 \quad \text{Equação (1)}$$

Para uma mesma radiação incidente, o valor medido da absortividade (α) pode corresponder ao valor da emissividade (ε), pois, segundo a Lei de Kirchhoff, numa mesma temperatura e comprimento de onda, os bons absorvedores são bons emissores.

Todos os corpos com temperatura acima de zero absoluto ($0\text{K} = -273,2^\circ\text{C}$) emitem energia. Um corpo a uma determinada temperatura que emite a quantidade máxima possível de radiação por unidade de sua área de superfície em unidade de tempo é chamado de corpo negro e possui emissividade de superfície (ε) igual à unidade. A relação entre a energia da radiação emitida por um corpo negro e a frequência de oscilações de onda dessa radiação a uma determinada temperatura é definida pela lei de Planck (Equação 4).

$$E = n \cdot h \cdot f \quad \text{Equação (2)}$$

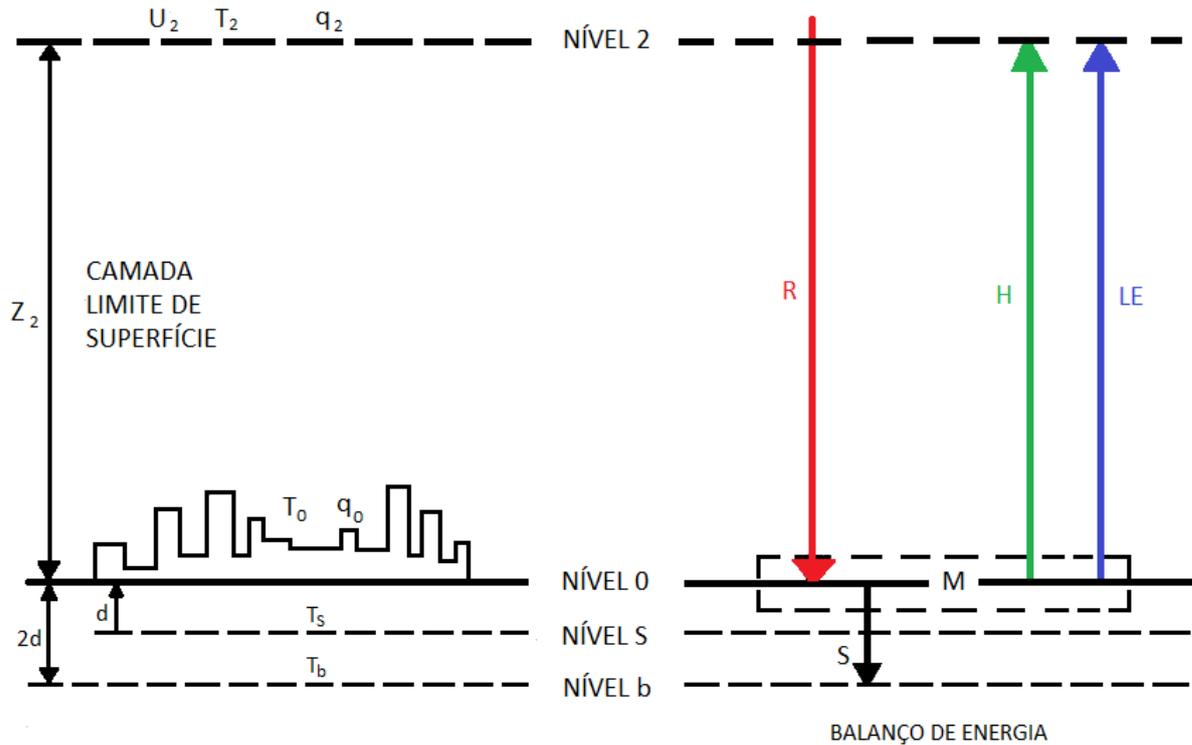
Onde E é energia quantizada, n é um número inteiro positivo, h é a constante de Planck ($6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s) e f é a frequência.

Os fluxos de energia através de um volume solo/construção/ar representam o balanço de energia de uma superfície urbana, que se estendem até uma altura onde as trocas verticais líquidas de calor são consideradas desprezíveis. O modelo da equação do balanço de energia urbano, desenvolvido por Tso *et al.* (1990), é representado pela Equação 5.

$$M = R - H - LE - S \quad \text{Equação (3)}$$

Onde M representa o armazenamento de energia; R é o fluxo de radiação líquida; H é o fluxo de calor sensível para o ar; LE é o fluxo de calor latente e S é o fluxo de calor da superfície para o solo, demonstrado na Figura 18.

Figura 18 – Balanço de energia urbano



Fonte: Adaptado de TSO *et al.* (1990, p. 144).

Os fluxos turbulentos de calor sensível H e latente LE são expressos pelas equações de diferenças finitas 1 e 2, respectivamente (TSO *et al.*, 1990).

$$H = \frac{-\rho_a C_a K^2 U_2}{[\ln(Z_2/Z_0)]^2} (T_2 - T_0) \quad \text{Equação (4)}$$

$$LE = \frac{-\rho_a L K^2 U_2}{[\ln(Z_2/Z_0)]^2} (q_2 - q_0) \quad \text{Equação (5)}$$

Onde ρ_a é a densidade do ar; C_a representa o calor específico do ar a pressão constante; q_0 e q_2 são as umidades específicas nos níveis 0 e 2 (do solo e da camada limite da superfície respectivamente), respectivamente; K é a constante von Kármán¹⁹; U_2 é a velocidade do vento no nível 2; Z_2 é a altura da camada limite da superfície (m); Z_0 é a rugosidade da superfície (m); T_0 e T_2 são as temperaturas do ar (°C) nos níveis 0 e 2, respectivamente.

¹⁹ A constante de von Kármán é uma constante do perfil do vento logarítmico na cada superficial. Caracteriza o cisalhamento do vento adimensional para condições estaticamente neutras (AMS, 2019).

Na formulação deste modelo, outros parâmetros foram adotados, como a homogeneidade horizontal que é assumida em todos os parâmetros meteorológicos e do solo; as difusividades turbulentas para calor e vapor de água que são dadas pelo valor quase neutro para o momento; os fluxos turbulentos de calor e vapor de água que são assumidos como constantes entre Z_0 e Z_2 ; o dossel é caracterizado unicamente pelo comprimento de rugosidade Z_0 ; e a temperatura, a velocidade do vento e a umidade específica são constantes na altura Z_2 (TSO *et al.*, 1990).

O fluxo de calor no solo (W/m^2) é calculado através da lei simples de Fourier, demonstrado na Equação 6.

$$S = -(k_s/d)(T_s - T_0) \quad \text{Equação (6)}$$

Onde k_s consiste na condutividade térmica do solo ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$); d é a profundidade do solo no nível S (m); e T_s é a temperatura do solo no nível S ($^\circ\text{C}$).

Tso *et al.* (1990) indicam que “a forma de diferença finita da equação de condução de calor é empregada para unir as temperaturas do solo nos níveis 0, S , b , onde a temperatura no nível b , T_b , é tomada como constante” (Equação 7). Nessa equação, Δt representa a variação do tempo (s); ρ_s é a densidade do solo (kg/m^3); C_s é a capacidade de calor específico do solo ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$); e T_s^0 é a temperatura do solo inicial no nível S ($^\circ\text{C}$).

$$T_s = T_s^0 + \frac{k_s}{\rho_s C_s d^2} (T_b - 2T_s + T_0)\Delta t \quad \text{Equação (7)}$$

O cálculo de diferença finita referente ao armazenamento do calor (W/m^2) é indicado na Equação 8.

$$M = m_c C_c (T_0 - T_0')/\Delta t \quad \text{Equação (8)}$$

Onde m_c representa a massa do edifício por unidade de área superficial (kg/m^2), C_c é o calor específico da massa do edifício ($\text{J/Kg } ^\circ\text{C}$), T_0 é a temperatura do ar final ($^\circ\text{C}$), T_0' é a temperatura do ar inicial no nível 0 ($^\circ\text{C}$), em um intervalo de tempo Δt (s).

O cálculo da umidade específica da atmosfera q_0 (g/g) é indicada na Equação 9.

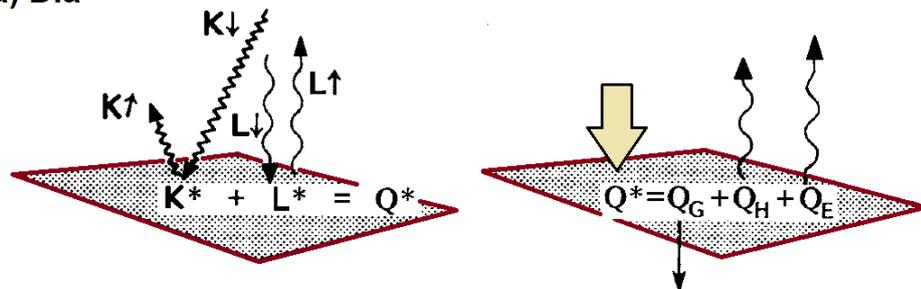
$$q_0 = E_f [3,74 + 2,64(T_0/10)^2] \times 10^{-3} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde E_f é a fração de evaporação (%), uma interpretação da umidade relativa como a fração da área total ocupada por superfícies livremente evapotranspirantes (TSO *et al.*, 1990).

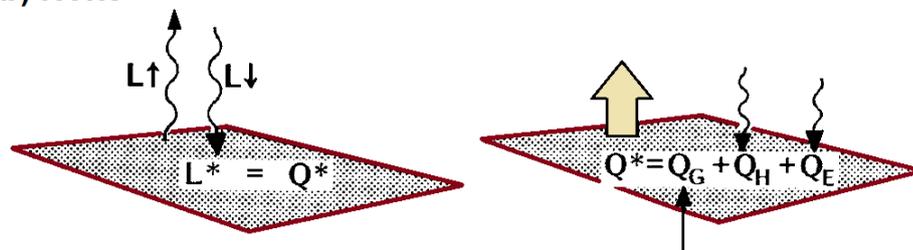
Os fluxos de calor de uma superfície acontecem de forma diferente nos períodos diurnos e noturnos, devido à presença da radiação solar. A Figura 19 mostra um resumo esquemático dos fluxos envolvidos no balanço da radiação e no balanço energético de um local “ideal” no período do dia e da noite. Para Oke (2002), o local “ideal” consiste em uma área horizontal, homogênea e extensa. Essas restrições garantem que os fluxos da superfície/atmosfera sejam espacialmente uniformes e confinados na direção vertical. Para minimizar as flutuações no domínio do tempo, foi considerado a condição de céu sem núvens, de modo que permita a entrada solar como uma onda suave. Para a superfície foi determinado um solo plano, úmido e nu (ou grama curta) localizado nas latitudes médias na estação quente.

Figura 19 – Fluxos envolvidos nos balanços de radiação e energético de um local “ideal” no período diurno (a) e noturno (b)

a) Dia



b) Noite



Fonte: Oke (2002).

A radiação de onda curta refletida da superfície ($K \uparrow$) depende da quantidade de radiação incidente ($K \downarrow$) e do albedo da superfície (que possui o mesmo significado da refletividade ζ), como indicado na Equação 10:

$$K \downarrow = K \uparrow (\zeta) \quad \text{Equação (10)}$$

Sendo uma superfície opaca à radiação de onda curta, a porção de $K \downarrow$ que não é refletida é absorvida, então a radiação líquida de onda curta (K^*) pode ser indicada pela Equação 11:

$$K^* = K \downarrow (1 - \alpha) \quad \text{Equação (11)}$$

A radiação de entrada de onda longa emitida pela atmosfera ($L \downarrow$) na ausência de nuvens depende da temperatura atmosférica e da emissividade (que depende das distribuições de temperatura, vapor de água e dióxido de carbono). Como a variação dessas propriedades acontece de forma lenta ao longo do dia, $L \downarrow$ pode ser considerada quase constante. Portanto, a diferença entre os dois fluxos de onda longa é o cálculo líquido de radiação de onda longa (L^*):

$$L^* = L \downarrow - L \uparrow \quad \text{Equação (12)}$$

A radiação de onda longa de saída da superfície ($L \uparrow$) é governada de maneira semelhante pela sua temperatura e emissividade. Se a superfície for um corpo negro ($\varepsilon_0 = 1$), a saída é dada pela Equação 13, mas se ε_0 for menor que a unidade, a Equação utilizada é a 14:

$$L \uparrow = \sigma T_0^4 \quad \text{Equação (13)}$$

$$L \uparrow = \varepsilon_0 \sigma T_0^4 + (1 - \varepsilon_0) L \downarrow \quad \text{Equação (14)}$$

Segundo Oke (2002), quando as temperaturas da superfície e do ar apresentam valores semelhantes, o valor de L^* é geralmente negativo e relativamente pequeno (entre 75 e 125 W m^{-2}). Se a superfície é consideravelmente mais quente que o ar, L^* pode ser muito maior. O curso de L^* no período diurno está geralmente relacionado com $L \uparrow$.

A radiação líquida de todas as ondas (Q^*) é a troca de energia mais importante porque, para a maioria dos sistemas, representa o limite para a fonte de energia disponível ou reduzida. O cálculo de superfície diurno é a soma dos fluxos individuais de ondas curtas e longas, como demonstrado na Equação 15. À noite, a radiação solar está ausente, de modo que a radiação líquida de todas as ondas pode ser indicada pela Equação 16:

$$Q^* = K^* + L^* \quad \text{Equação (15)}$$

$$Q^* = L^*$$

Equação (16)

No período diurno, a radiação líquida de todas as ondas (Q^*) pode apresentar um excedente de energia radiante de superfície, favorecendo para o aumento da temperatura da superfície, enquanto no período noturno pode ocorrer uma perda de energia, por não haver entrada de radiação líquida de onda curta (K^*), como esclarece Oke (2002):

Assim, o curso diurno típico de Q^* envolve um excedente radiante de superfície diurno quando o ganho líquido de onda curta excede a perda líquida de onda longa; e uma perda superficial noturna quando a perda líquida de onda longa não faz oposição à entrada da radiação solar. Em um determinado local, é improvável que os termos K_{\downarrow} e L_{\downarrow} mostrem uma variabilidade espacial significativa, porque são governados por relações geométricas em grande escala atmosféricas ou Terra-Sol. Por outro lado, K_{\uparrow} e L_{\uparrow} são governados por fatores específicos sensíveis ao lugar (ou seja, K_{\uparrow} pelo α ; L_{\uparrow} por T_0 e ϵ_0). Assim, são esses termos que governam as diferenças no cálculo da radiação (Q^*) entre as superfícies de uma mesma localidade. Em conclusão, deve-se notar que o intervalo de valores Q^* em diferentes superfícies é um pouco amortecido por um mecanismo de retorno negativo embutido. O intervalo do valor da ϵ_0 da superfície natural é pequeno e, portanto, as diferenças em Q^* dependem efetivamente dos valores do α e T_0 . Uma superfície com um albedo baixo absorverá bem, mas a menos que possua canais para rápida dissipação de calor, isso resultará em uma alta temperatura superficial. Assim, o grande ganho de K^* será igualado, pelo menos em parte, por uma grande perda de L^* .

Diante disso, verifica-se a importância das propriedades térmicas dos materiais que revestem o solo urbano, contribuindo com as perdas e ganhos de calor da superfície e para a atmosfera urbana.

2.2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS REVESTIMENTOS

A variedade de materiais que revestem os solos urbanos contribui para as modificações atmosféricas que originam as mudanças microclimáticas, pois os diferentes materiais apresentam características e propriedades térmicas distintas. Segundo Oke (2002), as propriedades térmicas mais importantes são:

o albedo do solo (controlando a absorção de radiação de onda curta); a textura do solo (determinando a porosidade e, portanto, os possíveis teores de solo, ar e água, que, por sua vez, controlam as propriedades térmicas do solo); e disponibilidade de umidade do solo (que rege a separação do calor sensível e latente e a resposta térmica do solo) (OKE, 2002, p. 79).

A radiação solar é a principal responsável pelo aquecimento das superfícies e o consequente aumento da temperatura do ar nas cidades, principalmente em regiões de clima quente e úmido, e a sua ação depende de algumas propriedades termodinâmicas dos materiais.

O albedo²⁰, a absorvância²¹ e a emitância²² são as principais responsáveis pela temperatura superficial dos materiais, pois as duas primeiras controlam os ganhos de calor por radiação e a última, as perdas de calor por emissão.

O albedo (refletância) tem sua atuação no período diurno, devido à incidência da radiação solar nas superfícies, enquanto a emitância se torna o fator predominante no período noturno. Os revestimentos frios, que apresentam altos valores de refletância solar e emitância térmica, tendem a apresentar temperaturas superficiais mais baixas.

Segundo Silva *et al.* (2013, p. 7.468):

o albedo varia principalmente em função das características físico-químicas da superfície, da cor, do ângulo zenital solar, dentre outros. Por isso, cada tipo de cobertura terrestre há uma resposta espectral diferenciada, ou seja, o albedo de um solo descoberto, por exemplo, é diferente de um mesmo solo com cobertura vegetal.

Os diferentes tipos de revestimentos e materiais urbanos possuem albedos diversos e, por isso, a especificação dos mesmos é tão relevante. As superfícies construídas, assim como as áreas revestidas com solo nu exposto, possuem alto poder de refletividade em comparação com as áreas vegetadas, devido à pouca umidade existente nessas áreas, gerando o aumento do albedo. Entretanto, a capacidade de reflexão do material depende também do estado de limpeza da superfície, visto que a capacidade de refletir é maior em uma superfície limpa.

A cor das superfícies é um fator determinante no albedo do material. Cores mais claras e mais brilhantes possuem maior capacidade de refletir a radiação incidente, reduzindo o percentual a ser absorvido. Já as cores mais escuras e opacas possuem maior absorvância (GIVONI, 1998). O valor de albedo (ζ) do asfalto, por exemplo, está entre 0,05 e 0,20, dependendo da sua composição. Constata-se que esse material reflete, no máximo, 20% da radiação recebida pelo Sol. O restante da radiação é absorvido pela superfície opaca do material

²⁰ Albedo, denominado também como refletância solar ou coeficiente de reflexão, é a medida quantitativa da refletividade solar total de uma superfície, isto é, a razão entre a luz solar refletida pela superfície e a incidente sobre ela. Pode ser classificado de 0 a 1, representando uma superfície não refletiva e uma superfície refletiva perfeita respectivamente (OKE, 2002).

²¹ Absortividade ou coeficiente de absorvância (α) consiste na capacidade de um material absorver parte da radiação incidente em sua superfície (GIVONI, 1998).

²² Emitância é a radiação emitida, ou seja, produzida pelo corpo por efeito térmico. Os metais apresentam menores valores de emissividade em comparação com os não metais (PEREIRA et. al, 2013).

e emitido em forma de calor para o exterior, sendo representado pelo valor de emitância do material que, no caso do asfalto, é de 95%. Portanto, os pavimentos reflexivos podem contribuir para a redução da temperatura das superfícies e do ar urbano.

Por outro lado, a utilização de revestimentos com albedo elevado em áreas externas deve ser cautelosa, exigindo a observação de outros fatores, como existência de aberturas nas edificações do seu entorno imediato, assim como sua interferência no conforto térmico humano. Segundo Yaghoobian e Kleissl (2012), em um estudo de caso em Phoenix, Arizona, o aumento da refletividade solar de 0,1 para 0,5 de um revestimento do solo, ampliou em até 11% os gastos anuais com refrigeração das edificações do entorno (33,1 kWh/m⁻²), devido à entrada da radiação refletida no interior dos edifícios através das aberturas (janelas e portas), que contribuiu para a ampliação da carga térmica interna.

Outras questões discutidas são o ofuscamento visual e o conforto térmico dos pedestres. Krüger e Gonzalez (2016), ao estudar o impacto da alteração do albedo dos revestimentos de superfícies sobre a temperatura do ar de cânions urbanos e sobre o grau de conforto térmico no nível do pedestre, verificaram que o aumento do albedo das superfícies gerou um impacto reduzido na temperatura do ar e uma piora nos níveis de conforto térmico para o pedestre, podendo também criar situações de ofuscamento visual de transeuntes e motoristas. Os autores concluíram que:

o uso de albedos altos não deve ser prescrito a todas as superfícies de cânions urbanos indiscriminadamente, exigindo avaliação das condições locais de modo a identificar as superfícies em que haja suficiente exposição solar para que o uso de albedos altos seja efetivo, de modo que isso não implique em prejuízo significativo para o conforto térmico de pedestres (KRÜGER; GONZALEZ, 2016, p. 89).

A reflexão da radiação solar por espécies vegetais depende da morfologia e das características físicas das plantas, mais especificamente do albedo da superfície foliar, que corresponde a 30% da superfície total aproximadamente. O restante é absorvido pela planta para utilização em suas funções vitais. Na vegetação, o albedo está diretamente relacionado ao saldo de energia disponível (R_n), principal fonte de energia do processo evapotranspirativo (GOMES *et al.*, 2009). Quanto mais escura for a vegetação, menor será a refletividade dos raios solares incidentes, resultando numa maior absorção e, conseqüentemente, maior saldo de energia disponível à superfície da folha (PEREIRA *et al.*, 2002).

A emissividade é determinada pela relação entre a energia irradiada por um determinado material e a energia irradiada por um corpo negro com igual temperatura. A Tabela 2 indica o albedo e a emissividade de algumas superfícies que podem ser encontradas nas cidades.

Tabela 2 – Propriedades das superfícies – albedo e emissividade

SUPERFÍCIE	OBSERVAÇÕES	ALBEDO (ζ)	EMISSIVIDADE (ϵ)
Solo	Escuro	0,05 –	0,98 –
	Claro	0,40	0,90
Deserto		0,20 – 0,45	0,84 – 0,91
Grama	Longa (1,0 m)	0,16 –	0,90 –
	Curta (0,02 m)	0,26	0,95
Tundra	-	0,18 – 0,25	0,90 – 0,99
Pomar	-	0,15 – 0,20	-
Floresta (decíduas)	Nua	0,15 –	0,97 –
	Frondosa	0,20	0,98
Floresta (coníferas)	-	0,05 – 0,15	0,97 – 0,99
Água	Ângulo zenital pequeno	0,03 – 0,10	0,92 – 0,97
	Ângulo zenital grande	0,10 – 1,00	0,92 – 0,97
Neve	Antiga	0,40 –	0,82 –
	Fresca	0,95	0,99
Gelo	Marítimo	0,30 – 0,45	0,92 – 0,97
	Glacial	0,20 – 0,40	-

Fonte: Oke (2002).

Os materiais empregados nas áreas urbanas possuem capacidade térmica²³ mais elevada que os materiais de áreas periféricas menos adensadas e são melhores condutores, sendo capazes de provocar alterações na composição da atmosfera (LOMBARDO, 1985).

Parte do calor armazenado nas superfícies será transferida para outras superfícies. Essa propriedade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo é representada pelo coeficiente de condutividade térmica (k) e depende da densidade do material. Quanto maior o valor da condutividade térmica, maior é a quantidade de calor transferida entre os corpos.

A Tabela 3 mostra algumas propriedades térmicas dos materiais encontrados nas superfícies urbanas.

²³ Capacidade térmica consiste na capacidade do material de armazenar calor. Essa característica depende da espessura da massa térmica do material (LOMBARDO, 1985).

Tabela 3 – Propriedades térmicas dos materiais naturais que podem revestir a superfície urbana

Material	Observação	Densidade (ρ)	Calor específico (c)	Capacidade de calor (C)	Condutividade térmica (k)	Difusividade térmica (α)	Admitância (μ)
Solo arenoso	seco	1,6	0,80	1,28	0,3	0,24	620
	saturado	2,0	1,48	2,96	2,2	0,74	2550
Solo argiloso	seco	1,6	0,89	1,42	0,25	0,18	600
	saturado	2,0	1,55	3,1	1,58	0,51	2210
Solo de turfa	seco	0,3	1,92	0,58	0,06	0,1	190
	saturado	1,1	3,65	4,02	0,5	0,12	1420
neve	fresca	0,1	2,09	0,21	0,08	0,1	130
	velha	0,48	2,09	0,84	0,42	0,4	595
gelo	0°C	0,92	2,10	1,93	2,24	1,16	2080
água	4°C	1,0	4,18	4,18	0,57	0,14	1545
ar	10°C	0,0012	1,01	0,0012	0,025	21,5	5
	turbulento	0,0012	1,01	0,0012	125	~10x10 ⁶	~390

Fonte: Oke (2002, p. 44).

A absorção da água pelo solo é uma propriedade relevante ao condicionamento térmico da cidade e acontece com a utilização de revestimentos permeáveis, como a vegetação urbana. A redução da umidade do solo, devido ao uso de revestimentos impermeáveis, provoca a diminuição do fluxo de calor latente por evaporação e o aumento de calor sensível, contribuindo para o incremento da temperatura do ar e causando alterações na umidade do ar e pluviosidade locais.

Além das propriedades dos materiais, a morfologia urbana interfere nas variações climáticas locais. A observação das diferenças entre os meios rural e urbano contribuiu para formação da climatologia urbana, responsável por entender e explicar as causas e consequências das mudanças climáticas geradas pela urbanização.

2.2.3 ESTUDOS RECENTES SOBRE REVESTIMENTO DO SOLO URBANO

O uso da vegetação e de revestimentos frios nas superfícies foram ressaltados nas pesquisas de Wong e Yu (2005), Hong *et al.* (2012), Shahidan *et al.* (2012), entre outros, devido à sua contribuição na redução do calor urbano e, conseqüentemente, no microclima local.

Em Singapura, Wong e Yu (2005) realizaram uma pesquisa para observar os impactos de refrigeração das áreas verdes, em nível macro, na mitigação dos efeitos da Ilha de Calor Urbano. A distribuição de temperatura do ar em toda a ilha foi mapeada com base em dados de medições móveis. Esse estudo indicou uma forte correlação entre a diminuição da temperatura do ar e a existência de áreas verdes na cidade, sendo observada uma diferença de 4°C na temperatura máxima do ar entre as áreas.

Em Lisboa, Oliveira *et al.* (2011) analisaram o desempenho térmico de um espaço vegetado (0,24ha) e sua influência no entorno circundante densamente urbanizado, através de medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e infravermelha, realizadas ao longo de um caminho selecionado, desde o interior da área verde até as ruas circundantes com diferentes orientações e exposição solar. O estudo mostrou que as áreas vegetadas estavam mais frias que os arredores, principalmente nos dias mais quentes. A maior diferença encontrada foi de 6,9°C em relação à temperatura do ar e 39,2°C em relação à temperatura radiante média, entre a área vegetada e a área impermeabilizada localizada em uma rua com orientação leste-oeste. Atribuíram o resultado à exposição ao sol, à baixa velocidade do vento e à geometria urbana da área estudada. Medidas adicionais relacionadas às características de cada cidade devem ser adotadas para que o efeito de resfriamento das áreas verdes possa atingir o entorno circundante.

Hong *et al.* (2012) estudaram o efeito da vegetação na ventilação em um distrito residencial combinando simulação e pesquisa de campo, em Pequim, capital da China. Verificaram a influência de áreas com e sem vegetação e dos tipos de espécies locais na velocidade do vento, no verão e inverno. O estudo mostrou que a redução da velocidade do vento pela vegetação proporcionou maior percentual de conforto térmico ao ar livre nas duas estações e que a ventilação na área estudada pode ser melhorada consideravelmente pela escolha do arranjo e do tipo da vegetação.

Shahidan *et al.* (2012) estudaram o efeito do resfriamento gerado pela utilização de vegetação e de materiais frios nas superfícies, para mitigação da Ilha de Calor Urbano e os benefícios à performance energética da construção para regiões de clima tropical. Teve como foco as propriedades físicas de ambos: densidade da vegetação, incluindo a copa das espécies arbóreas, e o valor do albedo dos materiais do solo, aplicadas em quatro modelos, sendo um deles a área de estudo existente, em Putrajaya, Malásia, e os demais, com diferentes composições de vegetação e materiais superficiais frios. Fizeram medições no local e simulações computacionais com a utilização do Programa ENVI-met®. Concluíram que, nos espaços externos, a maior quantidade de espécies arbóreas, combinada à alta densidade da copa (Índice de área foliar = 9,7) e o uso de revestimentos frios (albedo superior a 0,8), reduzem consideravelmente o consumo energético pelas edificações, pois os resultados apresentaram uma diminuição aproximada de 2,7°C na temperatura do ar. Definiram que os três fatores devem ser considerados em combinação, a fim de otimizar o efeito de arrefecimento na área urbana ao nível da rua.

Carnielo e Zinzi (2013), na Itália, avaliaram a potencialidade do asfalto frio colorido em relação à temperatura do ar urbano e ao consumo energético na edificação. Utilizaram um produto em pó pré-fabricado à base de dióxido de titânio, conhecido como cimento fotocatalítico, para a fabricação de um asfalto pigmentado, nas cores branco gelo, cinza, verde, vermelho e azul, para ser utilizado como revestimento sobre o asfalto existente numa camada fina e uniforme. Foram elaboradas medições em laboratório e ao ar livre para identificar a reflexão térmica e a emissividade dos produtos desenvolvidos, assim como simulações com o programa ENVI-met® (BRUSE, 2015), para comparar o desempenho térmico dos asfaltos coloridos e do existente. Verificaram que a área revestida com asfalto frio na cor branco gelo, que possui albedo elevado, apresentou redução de 5,5°C na temperatura do ar em comparação com o asfalto convencional, mesmo tendo alta emissividade. Concluíram, então, que a utilização de tecnologia inovadora, agregada ao aumento de áreas verdes, contribui para a redução do calor urbano.

Skoulika *et al.* (2014) realizaram medições de variáveis climáticas, durante o verão, ao redor de um parque urbano de médio porte localizado na parte ocidental de Atenas, Grécia. Dados de temperatura adicionais de 15 estações urbanas e suburbanas foram utilizados para realizar análises comparativas no nível da cidade. Eles observaram que o parque estava mais quente do que as estações urbanas para temperaturas ambiente inferiores a 34°C, enquanto que para temperaturas urbanas mais elevadas, o parque estava mais frio. O estudo verificou que a intensidade do resfriamento do parque apresentou uma forte correlação com a velocidade do vento para valores superiores a 5m/s e que a influência climática do parque foi estendida até 300m das fronteiras do mesmo.

Nas pesquisas nacionais, a vegetação urbana é uma temática abordada sob diversos aspectos: quanto à influência no conforto térmico em edificações; quanto a sua atuação em áreas livres de uso comum; quanto à sustentabilidade e consumo energético; quanto a tipologias e características, entre outros. Alguns estudos indicam a utilização de estruturas vegetadas como estratégia bioclimática urbana para a redução da temperatura do ar urbano, como em Jacintho *et al.* (2009); Cavalcante *et al.* (2005) e Barbosa *et al.* (2003), buscando meios de incentivar a aplicação da mesma no planejamento urbano.

Oliveira Filho *et al.* (2013) mapearam os espaços verdes e as áreas com vegetação arbóreas do município de Irati, região centro sul do Paraná, e encontraram o percentual de 60,34% de área verde urbana. Verificaram a alta concentração de construções na região central

da cidade, semelhante ao que acontece nas cidades de médio e grande porte, mesmo sendo Irati uma cidade de pequeno porte.

Abreu (2012) desenvolveu um estudo sobre as contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais, utilizando a cidade de Campinas-SP, como estudo de caso. A promoção de sombreamento nas áreas urbanas e o aproveitamento da ventilação foram indicados como as principais estratégias para melhorar o bioma térmico das cidades tropicais.

Jacinto *et al.* (2009) desenvolveram um método de estimativa da impermeabilização do solo urbano a partir de dados de sensoriamento remoto, explorando o comportamento espectral da vegetação e considerando a correlação entre presença de vegetação e permeabilidade do solo. Chegaram à conclusão de que, apesar das limitações encontradas, a combinação de dados de densidade demográfica com as imagens da vegetação de sensoriamento remoto pode ser considerada um importante método de análise ambiental urbana para o cálculo das taxas de permeabilidade do solo.

Cavalcante *et al.* (2005) estudaram o comportamento de variáveis climáticas em recintos urbanos em Maceió-AL, na forma de praças, quantificando o efeito microclimático benéfico da presença de vegetação nesses recintos, a partir de medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar, em pontos localizados ao longo de transeptos longitudinal e transversal em duas praças da cidade. Encontraram uma redução de temperatura média do ar de 3,4°C e de 7,7°C em valores absolutos nos espaços sombreados por vegetação, além do aumento da umidade relativa do ar nas áreas sombreadas por vegetação.

Barbosa *et al.* (2003) analisaram o ambiente urbano de Maceió-AL, com enfoque na importância da vegetação urbana no processo de redução do consumo energético e como modificador das condições iniciais do clima, a partir de medições de variáveis climáticas em áreas verdes urbanizadas e em áreas desprovidas de vegetação, considerando os atributos da forma urbana e as características das espécies arbóreas. Constataram que a presença de vegetação influenciou os valores da temperatura e da umidade relativa do ar, da direção dos fluxos de ventos, de modo a determinar microclimas favoráveis ao conforto na malha urbana, sendo ressaltada a importância da utilização de espaços verdes como elemento amenizador dos efeitos térmicos provocados pela urbanização.

Os revestimentos do solo urbano que podem interferir na qualidade climática dos espaços da cidade são ressaltados em pesquisas como em Callejas *et al.* (2011), Costa (2007) e Duarte (2000).

A relação entre o uso do solo e a temperatura superficial em área urbana foi abordada por Callejas *et al.* (2011), visando a detecção de possíveis ilhas de calor superficiais urbanas em Várzea Grande, Mato Grosso, nos anos de 1986 e 2007. Foi observada uma diferença expressiva entre as temperaturas superficiais registradas nas áreas urbanizadas, devido ao aumento da taxa construída na cidade e à introdução de materiais artificiais, como asfalto, concreto e tijolos. Os autores indicaram que o uso de materiais alternativos pode ajudar a reduzir a temperatura superficial dos materiais presentes na cidade e, como consequência, a temperatura do ar. Um exemplo utilizado foram os pavimentos frios (com cores claras), porque contribuem para aumentar a refletância solar. Outra recomendação para o resfriamento foi o uso de materiais mais porosos (permeáveis), permitindo que a água escoe para dentro das camadas do pavimento. Assim, a radiação solar que chega sobre a superfície destes pavimentos poderá ser utilizada para evaporar a água armazenada, resfriando a superfície em dias ensolarados.

Costa (2007) analisou a distribuição da temperatura do ar na área urbana de Natal-RN, através da proposição de uma metodologia de medição em pontos fixos, correlacionando-a com os tipos de revestimento da superfície horizontal existentes. Essa pesquisa confirmou que as áreas urbanas com menor porcentagem de área permeável têm suas temperaturas do ar mais elevadas. Observou que a temperatura do ar não é homogênea na cidade e que a ventilação reduziu as diferenças microclimáticas em valores absolutos.

Duarte (2000) fez a correlação numérica entre algumas variáveis de uso e ocupação do solo urbano e a variável climática temperatura do ar, com a finalidade de orientar qual o conjunto de medidas necessárias para amenizar as condições climáticas nas cidades brasileiras de clima tropical continental, com predominância no centro-oeste do Brasil. Encontrou uma correlação positiva entre as variáveis taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento com a temperatura do ar, com maior influência da densidade construída no período noturno. As variáveis arborização e água apresentaram uma correlação negativa em relação à temperatura do ar, em todos os horários.

A impermeabilização do solo pode gerar impacto significativo sobre o escoamento das águas pluviais na bacia. Por isso, muitas pesquisas acadêmicas enfatizam, principalmente, a interferência da impermeabilização do solo na drenagem urbana. Segundo Fellipe e Magalhães Junior (2012), as consequências da impermeabilização dos solos urbanos no sistema hídrico são o aumento da quantidade e da velocidade do escoamento superficial; a redução da recarga dos aquíferos; e a intensificação dos processos erosivos, com o aumento da carga sedimentar para os cursos d'água, assoreamento e inundações.

O trabalho desenvolvido por Tucci (2000) apresentou a relação do coeficiente de escoamento de bacias urbanas brasileiras, como a Bela Vista em Porto Alegre, Jaguarão em Joinville, Belém/Prado Velho em Curitiba, Meninos em São Paulo e Gregório em São Carlos, em função da área impermeável e a vazão máxima correspondente. Identificou que para cada 10% de novas áreas impermeáveis há um aumento de aproximadamente 100% no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial, mostrando de forma quantitativa os impactos da impermeabilização do solo urbano sobre a bacia hidrográfica.

Justino *et al.* (2011) estudaram o efeito do aumento da impermeabilização dos solos urbanos no crescimento do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica na cidade de Uberlândia-MG, sobre a qual foram construídos e analisados quatro cenários de ocupação distintos: pré-urbanização (referência), situação atual, futuro I e futuro II. Eles identificaram que para um aumento de 54% de área impermeável, a vazão de pico poderia ter um aumento de até 59,40% em comparação com o cenário de pré-urbanização e enfatizaram a necessidade do uso de medidas alternativas para o controle das cheias, visto que os sistemas de drenagem existentes na bacia não comportavam esse acréscimo.

Para Nunes (2011, p. 791), as modificações nas bacias hidrográficas urbanas “são oriundas das obras de engenharia que têm revestido grande parte de suas superfícies de drenagem através de edificações, pavimentações, arruamentos, calçadas, aterros, canalização dos corpos d’água, entre outras construções urbanas”, havendo o aumento do escoamento médio superficial. Portanto, a existência de solo permeável é um condicionante importante para o abastecimento de mananciais e bacias hidrográficas.

A influência dos corpos d’água no condicionamento térmico dos espaços externos estão presentes em diversas pesquisas no contexto nacional e apresentam questões relevantes para o planejamento das cidades.

Masiero (2014) analisou a influência dos corpos d’água em microclimas urbanos, tendo como área de estudo a cidade de São José do Rio Preto-SP. O estudo demonstrou que a ação do vento sobre a massa d’água pode influenciar o entorno imediato dentro de um raio de distância de até 1.000m e que a umidificação do ar urbano contribuiu para a redução de aproximadamente 3°C na temperatura do ar. Entretanto, para as áreas mais afastadas em relação às massas d’água, os espaços urbanos devem favorecer à ação passiva do resfriamento evaporativo com a implantação de represas urbanas para mitigação dos efeitos gerados pela impermeabilização excessiva. Ressalta que a legislação urbana referente ao coeficiente de permeabilidade do solo, da cobertura vegetal e da área de corpos d’água não deve ser definido apenas em função da

drenagem urbana, da suscetibilidade a erosão do solo, da manutenção da qualidade das águas superficiais e da infraestrutura, mas com a introdução de parâmetros climáticos que possibilitem índices de temperatura e umidade do ar adequados à qualidade de vida humana.

Em Maceió-AL, estudos sobre a morfologia urbana ressaltam o poder termorregulador das massas d'água, oceano Atlântico e lagoa Mundaú, para a redução da temperatura do ar urbano. Barbosa *et al.* (2001) observaram, através de medições em três pontos localizados num transepto, que os pontos das extremidades, localizados às margens da lagoa Mundaú e oceano Atlântico, apresentaram menor temperatura do ar e maior umidade relativa do ar. Encontraram uma diferença de 2,2°C entre o ponto localizado na margem costeira e o ponto localizado a 1,5km da massa d'água. Além das massas d'água, Almeida e Barbirato (2004) identificaram a rugosidade; a verticalização e adensamento das edificações e a presença de vegetação como os principais fatores de influência para condicionamento térmico da cidade.

Diante do exposto, foi verificado que os trabalhos recentes sobre o revestimento do solo urbano abordaram a utilização de vegetação, a presença de corpos d'água e o emprego de materiais frios como principais modificadores do clima urbano na redução dos impactos gerados pela urbanização.

O controle da expansão das áreas revestidas com materiais impermeáveis é feito pela legislação urbanística, visando equilibrar os ambientes urbano/natural para proporcionar melhor qualidade térmica aos espaços das cidades.

2.3 A permeabilidade do solo no planejamento urbano

O planejamento das cidades brasileiras é conduzido por inúmeras leis que, de maneira geral, específica ou complementar, determinam as ações a serem realizadas para o crescimento ou manutenção do espaço urbano.

O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2002) estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana a favor do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Ele determinou, para o planejamento municipal, a criação dos seguintes instrumentos: a) plano diretor; b) disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo; c) zoneamento ambiental; d) plano plurianual; e) diretrizes orçamentárias e orçamento anual; f) gestão orçamentária participativa; g) planos, programas e projetos setoriais; h) planos de desenvolvimento econômico e social.

O plano diretor municipal é um instrumento da política de desenvolvimento e expansão urbana e deve ser criado para todas as cidades com população superior a 20 mil habitantes. Ele afirma sua responsabilidade sobre a manutenção da qualidade ambiental urbana, podendo assegurar a proteção e conservação de recursos naturais (LIMA; ZANELLA, 2011) e indica a existência de parâmetros, abordados em outras leis, que devem ser aplicados segundo sua determinação. Os parâmetros, nomenclaturas ou valores, existentes nos planos diretores das cidades brasileiras, podem ser diferentes para cada município, assim como acontece nas demais leis municipais que compõem a legislação urbanística brasileira.

As diversas leis que dão origem aos instrumentos municipais do planejamento, como o Código de urbanização e edificações, o Código de parcelamento, uso e ocupação do solo, o Código do meio ambiente, entre outros, têm papel fundamental na expansão e organização do solo urbano. Barreiros e Abiko (1998) retratam a importância do respeito mútuo entre as leis que compõem a legislação urbana, seja ela municipal ou estadual, respeitando a abrangência territorial e as respectivas competências definidas pela Constituição Federal (BRASIL, 2014).

Algumas dessas leis apresentam parâmetros reguladores da ocupação do solo, como a taxa de permeabilidade, a taxa de ocupação do terreno, os recuos e o gabarito máximo da edificação, entre outros, exibindo variações quanto aos principais parâmetros e valores empregados, mediante as normas determinadas para cada município. Apesar de existir diversidade entre esses parâmetros, alguns deles estão presentes em vários códigos. A taxa de permeabilidade do terreno, dentre os parâmetros existentes, permite o controle da impermeabilização do solo, buscando o equilíbrio entre o meio ambiente natural e urbano.

2.3.1 A TAXA DE PERMEABILIDADE COMO PARÂMETRO URBANÍSTICO PARA OCUPAÇÃO DO SOLO

A taxa de permeabilidade, também denominada como taxa de solo natural ou índice de permeabilidade (I_p), consiste na “relação entre a área permeável, que possibilita a obtenção natural de líquidos, e a área total do lote ou terreno” (BAHIA, 2016). A determinação dessa taxa pelos instrumentos do planejamento urbano brasileiro assegura a conservação de áreas urbanas com solo natural, contribuindo para a manutenção de áreas verdes intra-urbana e a absorção da água da chuva pelo solo. Essa taxa sofre variação segundo as normas de cada município, sendo encontrados valores bastante distintos, determinados a partir da área total do terreno ou por indicação das zonas urbanas. Segundo Marchioni e Silva, (2010), os valores

normalmente encontrados variam entre 15% e 30%, com exceção das áreas naturais de proteção ambiental que apresentam percentuais bem mais elevados.

O Código de urbanismo e edificações do município de Maceió (MACEIÓ, 2007) indica a taxa de permeabilidade do terreno, o coeficiente de aproveitamento do terreno, a taxa de ocupação do terreno, os recuos da edificação e a altura máxima da edificação, como os parâmetros urbanísticos responsáveis pela ocupação nas zonas e corredores urbanos de Maceió. Os percentuais mínimos da taxa de permeabilidade, estabelecidos no código, variam, segundo a área total do terreno ou lote, deliberados da seguinte forma:

Art. 280. Considera-se taxa de permeabilidade a relação entre áreas descobertas e permeáveis do terreno e a sua área total.

Parágrafo único. São permeáveis as áreas sem pavimentação e sem edificação subterrânea, dotadas de solo natural ou vegetação, ou com pavimento drenante, que contribua para o equilíbrio climático e favoreçam a drenagem de águas pluviais.

Art. 281. Nas Zonas Urbanas e Corredores Urbanos previstos no Quadro 1 do ANEXO III desta Lei, a taxa de permeabilidade mínima para terrenos ou lotes será de:

I – para os terrenos ou lotes com área igual ou inferior a 1.200,00 m² (um mil e duzentos metros quadrados), os quais serão isentos dessa taxa;

II – 5% (cinco por cento), nos imóveis com área superior a 1.200,00 m² (um mil e duzentos metros quadrados) até 1.800,00 m² (um mil e oitocentos metros quadrados);

III – 10% (dez por cento), nos imóveis com área superior a 1.800,00 m² (um mil e oitocentos metros quadrados) até 2.400,00m² (dois mil e quatrocentos metros quadrados);

IV – 15% (quinze por cento), nos imóveis com área superior a 2400,00m² (dois mil e quatrocentos metros quadrados);

V – para os terrenos e lotes onde houver exigência de reserva de áreas para destino final dos efluentes de tanques sépticos, aplicando-se, nesses casos, o disposto no Quadro 1 do Anexo III desta Lei.

Art. 282. Se a construtora apresentar projeto técnico que garanta a permeabilidade do terreno, elimina-se a exigência de área de reserva (MACEIÓ, 2007, p. 66).

Está explícito que, para Maceió-AL, os lotes ou terrenos com até 1.200m² são isentos dessa taxa, deixando ao critério do construtor ou proprietário a ideia de destinar parte da área não edificada para receber algum revestimento permeável ou manter o solo natural existente. Dessa forma, grande parte do solo da cidade está legalmente sujeito a impermeabilização total, visto que terrenos com dimensões inferiores àquela estabelecida pela norma são facilmente encontrados pela cidade.

Em alguns instrumentos urbanísticos, os percentuais da taxa de permeabilidade variam segundo as zonas determinadas pelos municípios. As zonas são distintas para cada município quanto a sua nomenclatura, respectiva sigla, e normas. Em Recife-PE, esse parâmetro urbanístico apresenta taxa mínima entre 20% e 70%, determinadas pela Lei de Uso e Ocupação

do Solo da Cidade do Recife, Lei nº 16.176/96 (RECIFE, 1996), em função das diversas zonas estabelecidas:

Art. 65 - A Taxa de Solo Natural - TSN é o percentual mínimo da área do terreno a ser mantida nas suas condições naturais, tratada com vegetação e variável por Zona.

§ 1º - Parte da área referida no caput deste artigo poderá ser tratada com revestimento permeável, de acordo com as condições e percentuais definidos por Zona.

§ 2º - As quadras esportivas e passeios ou acessos, quando revestidos por material impermeável, não serão consideradas áreas de solo natural.

Art. 66 - Na ZUP 1, a Taxa de Solo Natural será de 25% (vinte e cinco por cento), admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10m² (dez metros quadrados) por árvore, não podendo o somatório dos valores correspondentes às árvores exceder a 5% (cinco por cento) da área total do terreno.

Art. 67 - Na ZUP 2, a Taxa de Solo Natural será de 50% (cinquenta por cento), admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável que não ultrapasse 10% (dez por cento) da área total do terreno, ressalvado o disposto no parágrafo único deste artigo.

Parágrafo Único - Poderá ser concedida uma ampliação da área a ser tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10m² (dez metros quadrados) por árvore, desde que o somatório dos valores correspondentes às árvores não exceda a 10% (dez por cento) da área total do terreno.

Art. 68 - A área resultante do índice determinado nos artigos 66 e 67, deverá ser tratada com vegetação sendo que uma parte, equivalente a 50% (cinquenta por cento), deverá ter plantio de árvores de porte.

Art. 69 - Na ZUM, a taxa de solo natural será de 20% (vinte por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável.

Art. 70 - Na ZUR, a taxa de solo natural será de 70% (setenta por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável.

Art. 71 - Nas ZDEs, a taxa de solo natural será estabelecida de acordo com as condições previstas na Seção II deste capítulo.

Art. 72 - A Taxa de Solo Natural - TSN para os usos geradores de incômodo à vizinhança será a da Zona em que se localizam, conforme o disposto no Anexo10 (RECIFE, 1996, p. 13).

Onde ZUP 1 e 2 correspondem às zonas de urbanização preferencial 1 e 2; ZUM são as zonas de urbanização de morros; ZUR são as zonas de urbanização restrita e ZDEs representam as zonas de diretrizes específicas, que compreendem o território municipal. As zonas especiais de centro (ZECF, ZECS e ZECM) apresentam taxa de solo natural mínima de 20% (RECIFE, 1996, p. 56).

Para o planejamento urbano, a integração entre as leis vigentes contribui para o avanço do desenvolvimento urbano. Essa integração depende, principalmente, da atuação do poder público local. Um exemplo está no Plano diretor do município de Recife, Lei nº 17.511/2008 (RECIFE, 2008), que deliberou, em caráter provisório, o percentual de permeabilidade para zonas não contempladas na Lei de uso e ocupação do solo da cidade do Recife:

Art. 97 As Zonas de Ambiente Construído apresentam objetivos específicos por zona, discriminados a seguir:

Parágrafo Único. Os imóveis com divisa voltada para os canais, cursos e corpos d'água deverão concentrar no afastamento desta divisa, no Mínimo 70% da área equivalente à taxa de solo natural, tratada com vegetação.

Art. 145 A Taxa de Solo Natural é o percentual mínimo da área do terreno a ser mantida nas suas condições naturais, tratada com vegetação, e variável por zona.

Art. 222 Deverão ser adotados em caráter transitório, até a revisão da Lei de Uso e Ocupação do Solo, os parâmetros a seguir relacionados, constantes das Leis Nº 16.176/96 e 16.719/01:

VI - Relativamente às Zonas Especiais de Preservação do Patrimônio Histórico-Cultural - ZEPH, deverá ser obedecido ao determinado no Anexo 8 da Lei nº 16.719/01 para a ZAC Controlada 2 e no Anexo 11 da Lei nº 16.176/96 para as demais zonas, e os dispositivos referentes ao coeficiente de utilização, à taxa de solo natural e aos afastamentos para os Setores de Preservação Ambiental - SPA deverão também atender aos das zonas adjacentes a estes setores, indicadas na presente Lei.

VII - Em relação à taxa de solo natural, aplicável às Zonas de Ambiente Natural - ZAN e Zonas de Ambiente Construído - ZAC, aplicam-se os seguintes parâmetros:

- a) 50% (cinquenta por cento) para as ZAN;
- b) 20% (vinte por cento) na ZAC RESTRITA; e,
- c) 25% (vinte e cinco por cento) nas demais ZAC, exceto na ZAC Controlada 2, que permanecerá o estabelecido no inciso V (RECIFE, 2008).

No município de Natal-RN, a permeabilidade do solo é alcançada através da limitação da taxa de impermeabilização (TI), inserida no plano diretor de Natal (NATAL, 2007), que atinge o máximo de 80%, conferindo o valor de 20% como área mínima permeável do lote para qualquer localidade. O cálculo dessa taxa é obtido através da divisão da área que não permite a infiltração de água pluvial pela área total do lote.

A taxa de impermeabilização está descrita no plano diretor de Natal como uma prescrição urbanística adicional, juntamente com a taxa de ocupação, recuos e gabaritos para “garantir a ocupação do solo de forma adequada às características do meio físico, bem como o equilíbrio climático” (NATAL, 2007, p. 10), recomendando, principalmente, a absorção da água da chuva:

Art. 31 - A Taxa de Impermeabilização máxima permitida no município será de 80% (oitenta por cento) do lote e seu descumprimento constituirá infração ambiental de natureza grave, sujeitando o infrator à penalidade de multa e à demolição da obra, além da determinação para reversão à situação anterior; sendo atendidas as normas processuais administrativas estabelecidas na legislação.

Parágrafo único - As águas pluviais que incidem em cada lote deverão ser infiltradas no próprio lote, através de infiltração natural ou forçada, admitindo-se dispositivo extravasador para o escoamento de precipitações atípicas, nos termos das licenças expedidas pelo órgão municipal de planejamento urbano e meio ambiente (NATAL, 2007, p. 11).

Em Salvador-BA, o percentual de área permeável no terreno é definido pelo Índice de permeabilidade (I_p) existente na Lei de ordenamento do uso e da ocupação do solo do município de Salvador-BA, Lei nº 9.148 de 2016 (SALVADOR, 2016), conhecida como LOUOS, cujos valores utilizados variam entre 0,05 e 0,7, correspondendo a 5% e 70% respectivamente, de acordo com as zonas definidas pelo instrumento vigente. É expresso pela “relação mínima permitida entre a área onde não é permitido edificar ou revestir o solo com material que impeça ou dificulte a absorção das águas de chuva e a área total do terreno” (SALVADOR, 1984, p. 31), indicada pela Equação (17):

$$I_p = \frac{S_p}{S_t} \quad \text{Equação (17)}$$

Onde S_p corresponde a área não edificada e S_t é a área total do terreno.

A Lei de ordenamento do uso e da ocupação do solo do município de Salvador (SALVADOR, 2016) delibera sobre o percentual de área permeável que:

Art. 84. Todos os empreendimentos deverão atender ao índice de permeabilidade – IP, que estabelece a área permeável mínima exigida para cada zona de uso, conforme o Quadro 06 do Anexo 01 desta Lei, observadas as seguintes exigências:

I – do total das áreas permeáveis exigidas para o atendimento ao IP, pelo menos 50% (cinquenta por cento) deverão ser mantidos em solo natural ou revestimento semipermeável, admitindo-se tratamento paisagístico;

II - os 50% (cinquenta por cento) restantes poderão ser admitidos na forma de revestimentos semipermeáveis ou de reservatórios para a canalização das águas pluviais, visando ao reuso, não sendo admitido, nessa hipótese, o direcionamento para a rede pública de drenagem.

§ 1º Para fins do que dispõe o inciso II deste artigo, considera-se reservatório qualquer dispositivo dimensionado de acordo com a fórmula:

$V = (0,15 \times A_t - A_{tp}) \times P \times t$, onde:

V = volume do dispositivo adotado;

A_t = área total do terreno;

A_{tp} = área do terreno livre de pavimentação ou construção;

P = índice pluviométrico igual a 0,06m (sessenta milímetros) / hora;

t = tempo de duração da chuva igual a 1(uma) hora.

§ 2º A fim de assegurar o pleno atendimento ao índice de permeabilidade exigido no *caput* deste artigo, na forma prevista em seu inciso II, quando da utilização de revestimentos semipermeáveis, deverá ser anexada a especificação técnica do fabricante, informando o percentual de permeabilidade do material, o qual deverá constar também nas peças gráficas.

§ 3º Ao empreendimento que optar pela captação de água pluvial de 100% (cem por cento) do telhado, será reduzido à metade o índice de permeabilidade mínima prevista no Quadro 06 do Anexo I desta Lei (SALVADOR, 2016, p. 40).

No município de Belo Horizonte-MG, a taxa de permeabilidade é indicada pela Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo, conhecida como LPOUS, Lei nº 7.166, de 27 de agosto

de 1996 (BELO HORIZONTE, 1996), cujos valores mínimos de área permeável a serem disponibilizados no interior dos terrenos variam entre 10% e 95%, sendo a taxa de 95% referente à zona de preservação ambiental (ZPAM). A indicação dos valores da taxa de permeabilidade é discriminada por zonas ou por área total do terreno:

Art. 50 – Considera-se Taxa de Permeabilidade a área descoberta e permeável do terreno em relação à sua área total, dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático e propicie alívio para o sistema público de drenagem urbana.

§ 1º - Os valores da Taxa de Permeabilidade mínima são os definidos no Anexo VI desta Lei, observado o seguinte:

I – para terreno situado na ADE da Bacia da Pampulha, a taxa de permeabilidade mínima é de 30% (trinta por cento);

II – para terreno situado nas demais ADEs, prevalecem os valores previstos em suas regulamentações;

III – para terreno situado em ZPAM, ZP-1, ZP-2 e ZP-3 prevalecem os valores determinados no Anexo VI desta Lei;

IV – para terreno que não se enquadre nos incisos I a III deste parágrafo, prevalece:

a) 10% (dez por cento), se o terreno tiver área menor ou igual a 360m² (trezentos e sessenta metros quadrados);

b) 20% (vinte por cento), se o terreno tiver área superior a 360m² (trezentos e sessenta metros quadrados).

§ 2º - As edificações, exceto as localizadas na ZPAM e nas ZPs, podem impermeabilizar até 100% (cem por cento) da área do terreno, desde que:

I – nelas haja área descoberta – equivalente à área de permeabilidade mínima – dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático;

II – seja construída caixa de captação e drenagem que retarde o lançamento das águas pluviais provenientes da área de que trata o inciso I deste parágrafo.

§ 3º - A caixa referida no inciso II do parágrafo anterior deve possibilitar a retenção de até 30L (trinta litros) de água pluvial por metro quadrado de terreno impermeabilizado que exceda o limite previsto no caput.

§ 4º - Podem ser utilizados, simultaneamente, as áreas permeáveis de terreno e os mecanismos previstos no § 2º deste artigo para atingir a Taxa de Permeabilidade.

§ 5º - Pode ser dispensada a taxa prevista neste artigo nos casos em que comprovadamente, por meio de parecer técnico, seja desaconselhável a permeabilização do terreno.

§ 6º - Quando exigido o recuo de alinhamento, não será considerada, para aplicação da Taxa de Permeabilidade, a área do terreno resultante do referido recuo.

§ 7º - A Taxa de Permeabilidade estará atendida com a manutenção de área descoberta e permeável, podendo a área dotada de vegetação situar-se em área equivalente à permeável sobre lajes, jardineiras ou pavimentos elevados.

§ 8º - A área permeável, livre e vegetada, implantada no afastamento frontal de edificação e inteiramente visível do logradouro público, poderá ser convertida em pagamento do potencial construtivo adicional utilizado no próprio lote, observadas as demais exigências legais.

§ 9º - Aplica-se a permissão prevista no § 8º deste artigo aos terrenos lindeiros a vias arteriais, exceto nas ruas que apresentem intenso fluxo de pedestres, conforme dispuser o regulamento.

§ 10 – Não se aplica o disposto nos §§ 2º e 3º, 7º, 8º e 9º deste artigo aos terrenos situados em ADEs de Interesse Ambiental (BELO HORIZONTE, 1996, p. 22).

Na LPOUS-Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 1996), a possibilidade de total impermeabilização do terreno pela edificação está condicionada à exigência de uma área

descoberta e com presença de vegetação, apresentando o mesmo dimensionamento definido pela taxa de permeabilidade vigente, além da construção de caixas de captação e drenagem da água da chuva, devido à preocupação com equilíbrio climático e ambiental da cidade. Por outro lado, a isenção da taxa de permeabilidade para Maceió não define estratégias compensatórias.

Outros instrumentos urbanísticos municipais brasileiros e suas respectivas taxas de permeabilidade estão indicadas no apêndice 1 desta tese. De acordo com os dados coletados, foi observada uma predominância do uso do quantitativo de 20% (vinte por cento) do terreno a ser utilizado como área descoberta e permeável. Percentuais de permeabilidade inferiores a este são encontrados em alguns municípios, como Maceió, Aracaju e Salvador.

Em outros países, as taxas que asseguram a permeabilidade do solo urbano estão indicadas na legislação pública vigente. O Código de desenho residencial²⁴, do Departamento de Planejamento da Austrália, publicado pela Comissão de Planejamento da Austrália Ocidental em 02 de março de 2018, apesar de não identificar um percentual mínimo de área permeável, indica que toda água drenada de telhados, calçadas, ruas e outras superfícies impermeáveis deve ser direcionada para áreas de jardim, poços ou tanques dentro do terreno, onde as condições climáticas e do solo permitem a retenção efetiva de águas pluviais no local. Dessa forma, reforçam a necessidade da existência de solo permeável no terreno.

No Artigo 10: Padrões gerais de desenho²⁵, pertencente ao Código de zona de Denver, Colorado-EUA, o percentual de área permeável mínimo intralotes é definido por um parâmetro denominado padrões mínimos de paisagismo, que determina que 50% da área referente aos recuos (frontal, laterais e posterior) devem ser revestidos com vegetação e os restantes 50% podem ser revestidos com materiais permeáveis ou impermeáveis (Figura 20).

²⁴ Disponível em: <https://www.planning.wa.gov.au/Residential-design-codes.aspx>. Acesso em: maio 2018.

²⁵ Denver. Artigo 10: Padrões gerais de desenho. Código de zona de Denver. Colorado, Estados Unidos da América. Publicado em 25 de junho de 2010 e republicado em 24 de maio de 2018. Disponível em: https://www.denvergov.org/content/dam/denvergov/Portals/646/documents/Zoning/DZC/Denver_Zoning_Code_Article10_Design_Standards.pdf. Acesso em: maio 2018.

Figura 20 – Área destinada ao uso de revestimento permeável em terreno segundo o Código de zona de Denver, Colorado, EUA



Fonte: Código de zona de Denver (2018).

O parâmetro denominado cobertura máxima do lote, encontrado na Portaria de zoneamento de cidade de Manchester, do estado de New Hampshire, nos Estados Unidos da América, publicada em 15 de agosto de 2017, define a área máxima do lote a ser impermeabilizada, não podendo a área edificada exceder a mesma. A cidade foi dividida em 16 distritos, semelhantes as zonas urbanas encontradas nos municípios brasileiros. Para cada distrito estão definidos os parâmetros quanto ao tamanho mínimo do lote, recuo, impermeabilização máxima, altura da edificação, entre outros. A lei define entre 15 a 85% a área máxima impermeável no lote, de acordo com a determinação para cada distrito.

Assim como no Brasil, os parâmetros variam segundo as leis de cada localidade. Com diferentes formas, essas leis contribuem para a disseminação de áreas permeáveis no interior das cidades, muitas vezes revestidas com vegetação por exigência de algumas leis. Além da conscientização da população sobre a importância das áreas permeáveis vegetadas, algumas vezes preteridas devido à baixa manutenção das áreas impermeabilizadas, a determinação da taxa de permeabilidade mínima pela legislação urbana assegura a sua existência.

Algumas pesquisas, como em De Marcos e Assis (2003) e Duarte (2000), indicam que a taxa de permeabilidade é um parâmetro de grande relevância, porém com pouco aproveitamento na prática do planejamento e que existe a necessidade de serem reavaliados

para que proporcionem melhor qualidade térmica dos espaços mediante as características climáticas locais, principalmente para regiões de clima quente úmido. Além disso, o surgimento de outros guias norteadores do planejamento demonstra a fragilidade de alguns instrumentos existentes (BARANDIER; ALMEIDA; MORAES, 2013), e confirma a necessidade de atualização dos mesmos, como previsto no Estatuto das Cidades (BRASIL, 2002).

A necessidade de desenvolvimento de novas estratégias para o planejamento, que possibilitem o crescimento das cidades em um ambiente urbano integrado às questões climáticas locais, é legítimo. Além da existência dessas normas, a sua aplicação efetiva é imprescindível. Zacarias (2007) destaca a necessidade de penalizar o uso e ocupação urbano realizado de forma inadequada e combater a retenção de terrenos ou imóveis especulativos.

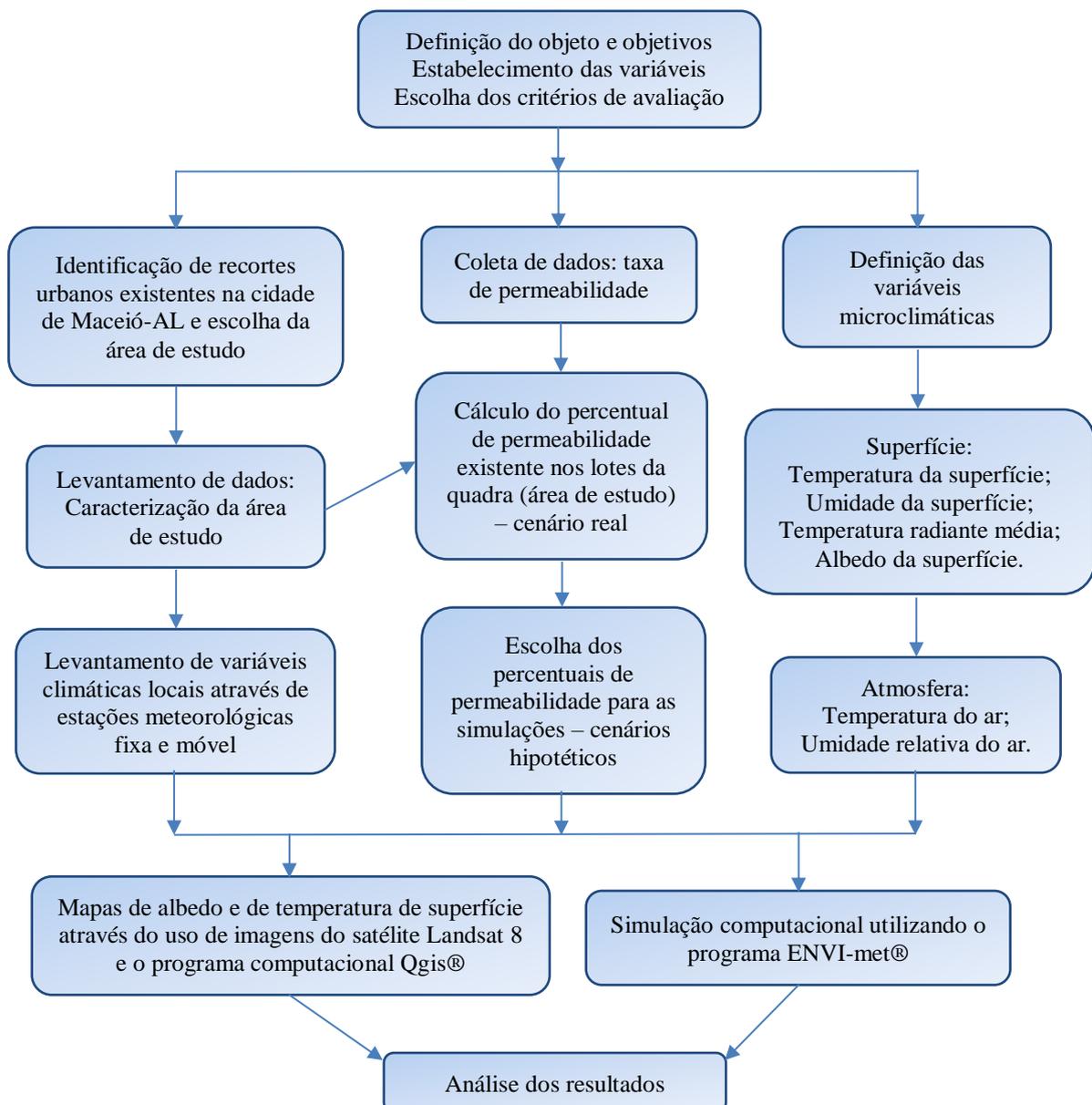
Diante do exposto, a existência de áreas permeáveis no solo urbano tem um papel fundamental na qualidade de vida dos usuários da cidade, reduzindo os riscos de inundações e contribuindo para o melhor condicionamento térmico dos espaços externos. A isenção desta taxa, presente no Código de urbanismo e edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007), mostra uma total despreocupação com as consequências geradas pela impermeabilização, não apenas para a drenagem da água pelo solo, como também para o condicionamento térmico proveniente do espraiamento da cidade.

A inexistência desse parâmetro em leis de uso e ocupação do solo de alguns municípios brasileiros comprova a necessidade de discussão sobre o futuro das cidades a partir do seu revestimento do solo e de um levantamento de dados que possam fomentar a inclusão desse parâmetro.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente seção mostra os procedimentos metodológicos utilizados com o intuito de relacionar a qualidade térmica microclimática com o percentual de permeabilidade do solo: levantamento das características climáticas da cidade de Maceió-AL e a caracterização da área de estudo; cálculo dos percentuais das áreas permeáveis e impermeáveis da área de estudo; desenvolvimento dos mapas de albedo e temperatura de superfície; e desenvolvimento de simulações computacionais das áreas em estudo. O esquema metodológico indicado na Figura 21 demonstra as etapas para o desenvolvimento da tese.

Figura 21 – Esquema metodológico



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

3.1 Caracterização da área de estudo no contexto urbano de Maceió-AL

A área de estudo da presente tese está inserida em Maceió-AL. A cidade está localizada ao leste do estado de Alagoas, região litorânea do nordeste brasileiro, com as referências geográficas de latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste. Envolvida pelo oceano Atlântico e complexo lagunar Mundaú-Manguaba, apresenta uma área de planície costeira e os tabuleiros, com altitude máxima de 150m e largura variando de 40km a 80km. A planície costeira é caracterizada por acúmulo de sedimentos praias e fluvio-lagunares, que podem contribuir para a formação de campos de dunas e restinga e favorecem a proliferação de manguezais. Os tabuleiros são constituídos por sedimentos da formação barreiras e apresentam topografia ligeiramente ondulada (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Para fins de uso e ocupação do solo, a área urbana de Maceió está dividida em cinco macrozonas (MACEIÓ, 2005a): de adensamento controlado; de estruturação urbana; prioritária para infraestrutura; de expansão urbana e de restrição à ocupação (Anexo C).

O mapa de zoneamento de uso do solo de Maceió (Anexo E) indica oito classificações de Zonas: zona de expansão (ZE-1 a 3); zona de interesse turístico (ZIT-1 e 2); zona especial de preservação cultural (ZEP-1 a 5); zona de interesse ambiental e paisagístico (ZIAP-1 a 8); zona residencial (ZR-1 a 9); zona residencial e agrícola (ZRA-1 a 3); zona industrial (ZI) e zonas especiais de interesse social (ZEIS) definidas na forma da legislação específica (MACEIÓ, 2007).

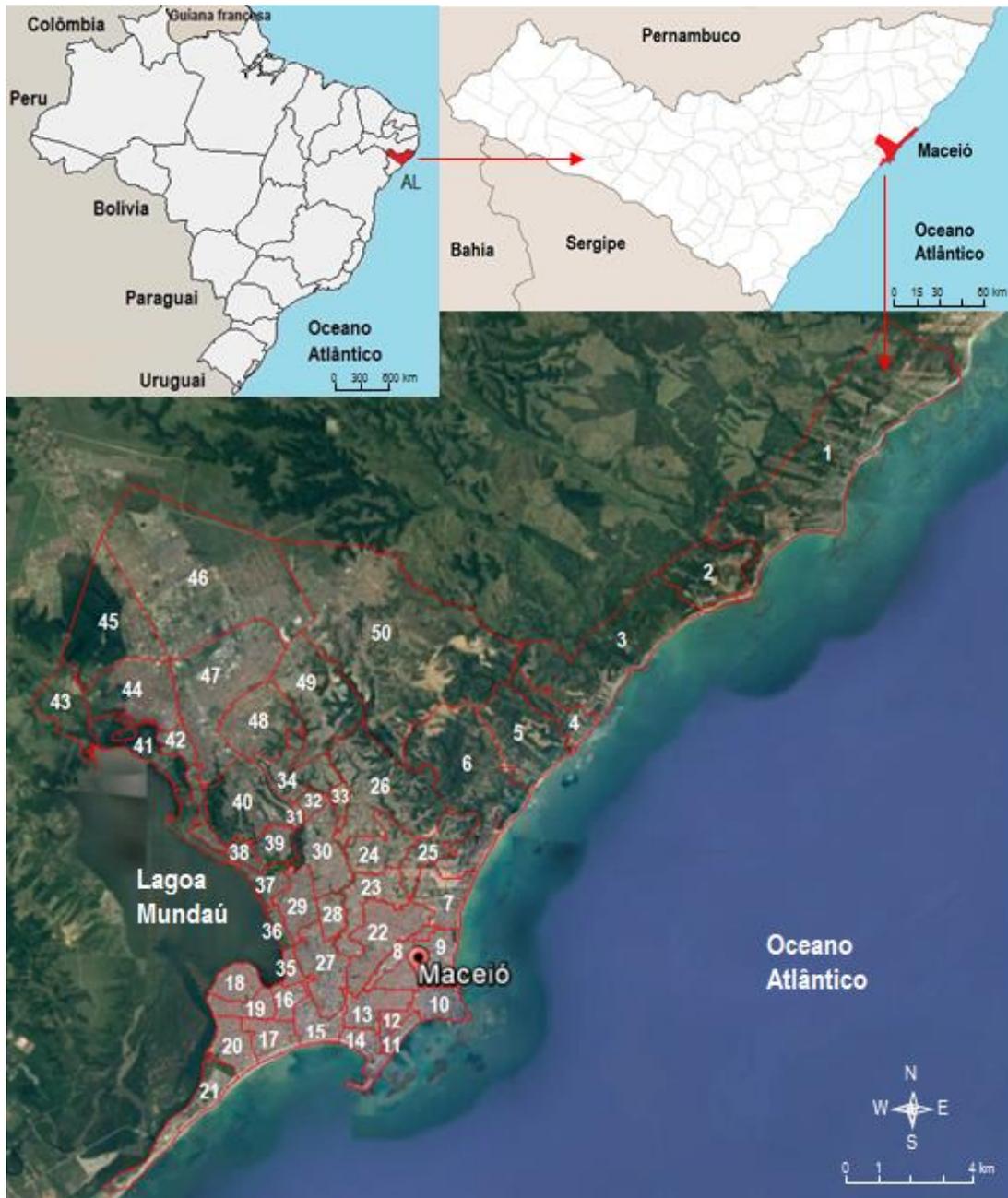
Maceió foi dividida em oito regiões administrativas (MACEIÓ, 2005b), classificadas de RA-1 a RA-8 (Anexo D), com a finalidade de planejamento, controle, fiscalização e monitoramento do desenvolvimento urbano e ambiental, indicado no Quadro 4. A Figura 22 mostra a localização da cidade de Maceió e os seus bairros.

Quadro 4 – Regiões administrativas de Maceió-AL

RA	BAIRRO
1	Poço, Jaraguá, Ponta da Terra, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Mangabeiras
2	Centro, Pontal da Barra, Trapiche da Barra, Prado, Ponta Grossa, Levada e Vergel do Lago
3	Farol, Pitanguinha, Pinheiro, Gruta de Lourdes, Canaã, Santo Amaro, Jardim Petrópolis e Ouro Preto
4	Bebedouro, Chã de Bebedouro, Chã da Jaqueira, Petrópolis, Santa Amélia, Fernão Velho, Rio Novo, Bom Parto e Mutange
5	Jacintinho, Feitosa, Barro Duro, Serraria e São Jorge
6	Benedito Bentes e Antares
7	Santos Dumont, Clima Bom, Cidade Universitária, Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins
8	Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Cruz das Almas, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca

Fonte: Maceió (2005b).

Figura 22 – Localização de Maceió e seus bairros



LEGENDA: BAIROS DE MACEIÓ			
1 Ipioca	14 Jaraguá	27 Farol	40 Petrópolis
2 Pescaria	15 Centro	28 Pitanguinha	41 Fernão Velho
3 Riacho Doce	16 Levada	29 Pinheiro	42 Santa Amélia
4 Garça Torta	17 Prado	30 Gruta de Lourdes	43 Rio Novo
5 Guaxuma	18 Vergel do Lago	31 Santo Amaro	44 Clima Bom
6 Jacarecica	19 Ponta Grossa	32 Canaã	45 Santos Dumont
7 Cruz das Almas	20 Trapiche da Barra	33 Ouro Preto	46 Cidade Universitária
8 Mangabeiras	21 Pontal da Barra	34 Jardim Petrópolis	47 Tabuleiro do Martins
9 Jatiúca	22 Jacintinho	35 Bom Parto	48 Santa Lúcia
10 Ponta Verde	23 Feitosa	36 Mutange	49 Antares
11 Pajuçara	24 Barro Duro	37 Bebedouro	50 Benedito Bentes
12 Ponta da Terra	25 São Jorge	38 Chã de Bebedouro	
13 Poço	26 Serraria	39 Chã de Jaqueira	

Fonte: Elaborada pela autora (2017).

A cidade de Maceió possui uma área territorial de 509,552 km² e população estimada de 1.021.709 habitantes. As áreas de expansão estão localizadas a norte da cidade e na região litorânea. Em 2010, apresentava densidade demográfica de 1.854,10 hab/m² (IBGE, 2016). A partir da classificação simplificada de formas urbanas desenvolvidas por Stewart e Oke (2012), observou-se que Maceió possui cinco variações de forma urbana mais distintas e recorrentes: compacta de alta elevação; aberta de baixa e alta elevação; compacta de média elevação; compacta de baixa e alta elevação; compacta de baixa elevação.

Os bairros Ponta Verde (Figura 23), Pajuçara e Jatiúca, localizados na planície litorânea, apresentam a maior concentração de área verticalizada da cidade. Nessas áreas, na maioria das vezes, os espaços intralotes são ocupados em sua totalidade por revestimentos impermeáveis. Os revestimentos de solo permeáveis são normalmente encontrados em algumas calçadas, canteiros de avenidas, praças e terrenos desocupados.

Figura 23 – Ponta Verde – forma urbana compacta de alta elevação



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

Farol (Figura 24), Pitanguinha, Pinheiro, Gruta de Lourdes e Jardim Petrópolis são bairros que possuem terrenos com grandes dimensões. Em muitos terrenos, os espaços intralotes têm revestimento de solo permeável com a utilização de vegetação gramínea, assim como a conservação da vegetação arbórea existente.

Figura 24 – Farol – forma urbana aberta de baixa e alta elevação



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

A configuração urbana compacta de média elevação é encontrada em vários bairros da cidade, como Serraria (Figura 25), Petrópolis, Pinheiro, Santa Amélia e Benedito Bentes, e está muito presente nos conjuntos habitacionais. Os revestimentos do solo mais encontrados são cimentício ou solo nu exposto, com a utilização reduzida de áreas vegetadas ou inexistência da mesma.

Figura 25 – Serraria – forma urbana compacta de média elevação



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

O Centro (Figura 26) é um bairro da cidade que atualmente reúne os setores de serviço e comércio. Assim como os bairros Jaraguá e Poço se caracterizam pela existência de terrenos totalmente ocupados pelas edificações. O revestimento do solo nessas áreas tem a

predominância de materiais impermeáveis, sendo encontradas poucas áreas com revestimento permeável em praças e terrenos de edifícios públicos.

Figura 26 – Centro – forma urbana compacto de baixa e alta elevação



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

Os bairros Trapiche da Barra (Figura 27), Levada, Prado, Vergel do Lago e Ponta Grossa apresentam grande concentração de edificações unifamiliares de até dois pavimentos que ocupam a totalidade dos terrenos (compacta com baixa elevação), havendo poucos casos com existência de quintais. Por isso, o revestimento do solo nessas áreas tem a predominância de materiais impermeáveis, sendo encontrados os revestimentos permeáveis em praças, calçadas, canteiros de avenidas, espaços escolares e áreas de lazer, como campos de futebol.

Figura 27 – Trapiche da Barra – forma urbana compacta de baixa elevação



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

O bioma característico de Maceió é Mata Atlântica, com um elevado número de espécies, com o predomínio das angiospermas. Esse grupo de vegetais caracteriza-se por apresentar flores e frutos, além da diversidade em relação ao tamanho, hábitos e ocupação dos habitats, como cajueiro-bravo (*Curatella americana Linn.*), jaqueira (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), laranjinha (*Zanthoxylum rhoifolium Lam.*), entre outros. Nesse ambiente destacam-se também as plantas epífitas, como bromélia, aráceas e orquídeas, que encontram condição adequada para sobrevivência, além de numerosas trepadeiras e cipós. O Parque Municipal de Maceió (Figura 28), as APAs²⁶ do Catolé, de Fernão Velho e de Santa Rita conservam várias espécies nativas (MOURA, 2006).

Figura 28 – Parque municipal de Alagoas



Fonte: G1 Alagoas²⁷.

O clima característico da cidade é o tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas: verão, entre os meses de novembro a fevereiro, e inverno, entre os meses de junho a agosto. Na classificação climática de Köppen é considerado clima tropical chuvoso (Ams), com verão seco e estação chuvosa de abril a agosto. Apresenta uma forte incidência de radiação solar e umidade do ar elevada, devido à proximidade de massas de água e à baixa latitude (ARAÚJO *et al.*, 2006).

²⁶ APA corresponde a Área de Proteção Ambiental

²⁷ Página oficial da *TV Gazeta Alagoas*: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/parque-municipal-de-maceio-tera-programacao-de-pascoa-neste-domingo.ghtml>>.

Maceió possui temperatura média anual de 25,1°C e temperaturas máxima e mínima anual de 29,8°C e 20,9°C, respectivamente. A umidade relativa média anual é de 77,8%. A média anual de precipitações é 1867,4mm, com maior ocorrência nos meses chuvosos, entre abril e julho. Sua condição típica de céu é parcialmente nublado, ocorrendo dias com céu claro numa média de 4,5% e com céu nublado acima de 15%. A radiação solar é normalmente difusa, por causa da nebulosidade. O período médio de insolação é de 7,9 horas/dia no verão e de 5,8 horas/dia no inverno, com isolação total anual de 2499,2 horas (INMET, 2018). A Tabela 4 mostra o comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos de Maceió-AL, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia²⁸ (INMET), em 2018.

Tabela 4 – Normais climatológicas, no período de 1981-2010, para Maceió-AL

MÊS DO ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS													
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	31	31,4	31,5	30,6	29,5	28,3	27,6	27,6	28,4	29,9	30,8	31,2	29,8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	21,4	21,8	22,1	21,8	21,2	20,3	19,7	19,7	19,9	20,3	20,9	21,2	20,9
TEMPERATURA MÉDIA (°C)	26	26,2	26,5	26	25,1	24,1	23,5	23,5	24,1	25,1	25,6	26	25,1
TEMPERATURA MÁXIMA ABSOLUTA (°C)	34,8	34,9	35	34,2	36,4	31,8	31,1	30,7	31,9	34,6	38,4	35,4	38,4
TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA (°C)	17,9	17,8	16,4	18	17	16	15	15	15,8	17	17,4	18	15
TEMP. PONTO DE ORVALHO (°C)	21,8	21,8	22,1	22,3	22,1	21,6	21	20,8	20,8	21,1	21,3	21,5	21,5
UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	75,9	74,2	74,9	77,8	81,1	82,6	82,8	81,9	78,7	76,1	74,1	73,9	77,8
INSOLAÇÃO TOTAL (HORAS)	241,4	218,6	209,6	202,5	198,5	162,8	169,2	180,6	190,2	220,4	247,9	257,5	2499,2
NEBULOSIDADE (DÉCIMOS)	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA (MM)	83	72,9	117,4	207,5	296,9	353,8	265,2	201,5	120,2	61,6	46,9	40,5	1867,4

Fonte: INMET (2018).

O regime dos ventos em Maceió é dirigido pela circulação de grande escala dos alísios e pela circulação local das brisas marítima e terrestre. Os ventos predominantes são o Leste (L)

²⁸ O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que fornece informações meteorológica à sociedade brasileira e influi construtivamente no processo de tomada de decisões, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país. As informações estão disponíveis na página oficial <www.inmet.gov.br>.

e o Sudeste (SE), com variações de acordo com o posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul ao longo do ano. A direção dos ventos também sofre alteração ao longo do dia, com predomínio de ventos diurnos de Leste (L) e noturnos de Norte (N) e Nordeste (NE) durante o período mais seco, e ventos diurnos de Sudeste (SE) e noturnos de Oeste (O) e Noroeste (NO) no período mais chuvoso. As maiores velocidades de vento associadas às direções SE e E foram $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ e $3,93 \text{ m.s}^{-1}$. A intensidade dos ventos também varia sazonal e diariamente, sendo mais forte no período mais seco e durante o dia, e mais branda no período chuvoso e à noite (MAIA, 2016).

Nesse contexto climático da cidade de Maceió, a incidência da radiação solar nas superfícies é o principal fator responsável pelo incremento de calor nas áreas urbanas e conseqüentemente pela alteração da temperatura do ar. Estratégias como o emprego de revestimentos permeáveis no solo e o aumento da refletividade das superfícies pelo uso de materiais com albedo elevado podem minimizar o acúmulo de calor na cobertura do solo urbano.

3.1.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área de estudo foi baseada nos seguintes critérios:

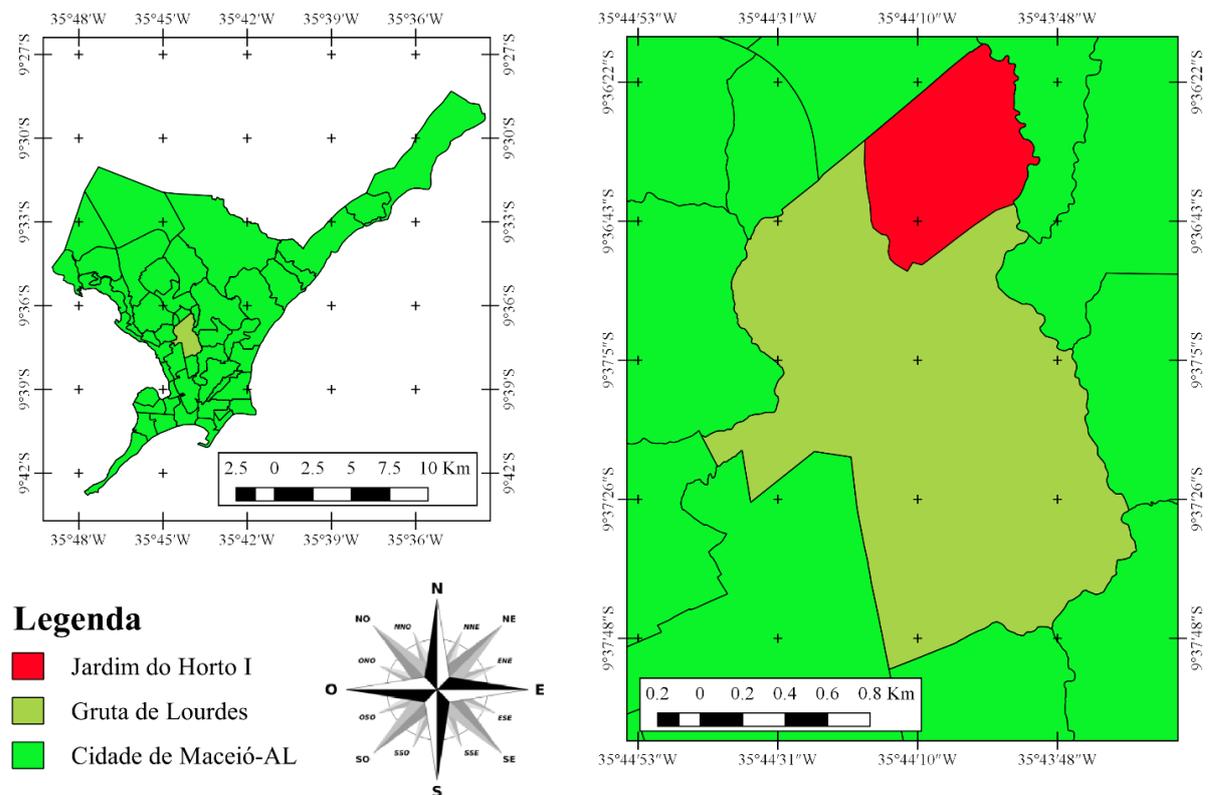
- Possuir arranjo urbano aberto de baixa elevação, segundo a classificação de Stewart e Oke (2012), com configuração urbana em forma de quadra e disposição ortogonal das ruas;
- Estar em condomínio fechado para permitir que a estação meteorológica móvel ficasse em local seguro durante o tempo de permanência na área;
- Apresentar uso do solo residencial com edificações de até dois pavimentos para não haver influência do sombreamento das edificações do entorno imediato na área estudada e permitindo maior exposição do revestimento do solo às variáveis climáticas, como a incidência da radiação solar;
- Possuir área total do lote com no mínimo 400m^2 e no máximo 1.200m^2 , para que o dimensionamento do terreno possibilitasse a existência de área livre dentro dele, passível de identificação do revestimento do solo e do cálculo das áreas não edificadas e os seus respectivos percentuais de permeabilidade. O limite de 1.200m^2 foi estipulado por ser a área máxima de um terreno a ter isenção da taxa de permeabilidade definido pelo Código de urbanismo e edificações do município de Maceió (MACEIÓ, 2007);

- Apresentar diversidade de materiais de revestimento do solo, incluindo espaços vegetados.

A área de estudo está localizada na macrozona de adensamento controlado, na região administrativa 3 e zona residencial 7 de uso do solo, por ser uma área com ocupação consolidada, com baixa densidade demográfica e que apresenta relação Altura/Largura entre as edificações de aproximadamente 1.

Cumprindo esses requisitos, o condomínio Jardim do Horto foi escolhido como área de estudo, localizado no bairro Gruta de Lourdes, na cidade de Maceió-AL, Brasil (Figura 29). Pertencente à parte alta da cidade, encontra-se a 56m de altitude em relação ao nível do mar, latitude $9^{\circ}36'50''$ S e longitude $35^{\circ}44'11''$ O. Possui a distância de 6.190m, aproximadamente, até o Centro da cidade e de 12.460m, aproximadamente, até o aeroporto internacional Zumbi dos Palmares (GOOGLE EARTH PRO, 2015).

Figura 29 – Localização do condomínio Jardim do Horto I na cidade e no bairro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

O Jardim do Horto foi o primeiro condomínio implantado em Maceió-AL, em 1983, com área da gleba 521.000,00m². A área loteável é de 330.700,00m², apresentando 23 quadras

e 459 lotes. A área verde é de 93.100,00m², correspondendo a aproximadamente 18% da área total (MACEIÓ, 2016).

Os acessos para o condomínio acontecem pela Avenida Pau Brasil, que possui conexão com a Avenida Fernandes Lima, uma das principais avenidas da cidade, e pela Rua Professora Graça Leite. No seu entorno são encontrados a Igreja de Nossa Senhora de Lourdes, o Colégio Maria Montessori, dois supermercados, além de outros lotes de uso residencial, comercial e serviços. Predominância de edificações com no máximo dois pavimentos.

Na primeira etapa do trabalho, referente à confecção dos mapas de albedo e temperatura de superfície, foi utilizada toda a área referente ao condomínio Jardim do Horto I (Figura 30), devido à existência de diferentes tipologias de revestimento do solo na área (solo nu exposto, vegetado, cimentado e asfaltado) e ao dimensionamento da área de 660m x 790m aproximadamente.

Figura 30 – Delimitação da área referente ao condomínio Jardim do Horto I



Fonte: *Google Earth Pro* (2015).

Na segunda etapa, que consistiu no desenvolvimento das simulações computacionais, foi escolhida uma quadra, localizada na área central do condomínio (Figura 31 e 32).

Figura 31 – Quadra definida como área de estudo



Fonte: *Google Earth Pro*® (2015).

Figura 32 – Perspectiva da quadra com a indicação das edificações e cobertura do solo



Fonte: *Google Earth Pro*® (2015).

No interior do condomínio, as quadras apresentam formato retangular, numa configuração ortogonal, margeadas por uma via principal revestida com pavimentação asfáltica e vias secundárias revestidas com asfalto sobreposto à antiga pavimentação de prisma granítico em formato de paralelepípedo regular.

Os terrenos existentes no interior da mesma variaram entre 450m² e 1.030m² aproximadamente de área total. A orientação da quadra, o espaçamento entre as edificações e a altura das edificações foram identificados.

3.2 Confeção de mapas do albedo e da temperatura de superfície desenvolvidos com imagem satélite

Nesta etapa, utilizou-se as imagens do satélite Landsat-8²⁹, com os sensores OLI e TIRS, e o auxílio do programa computacional Qgis³⁰ (QGIS Development Team, 2017) para a confeção dos mapas de albedo e temperatura de superfícies e obtenção dos valores instantâneos dessas variáveis, em quatro pontos distintos.

²⁹ Disponível no site <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>>.

³⁰ Qgis é um sistema de informação geográfica livre e aberta, disponível no site: http://www.qgis.org/pt_BR/site/.

A Imagem Operacional da Terra - *Operational Land Imager* (OLI) – e o Sensor Térmico Infravermelho - *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) – são os últimos instrumentos da série de imagens de resolução moderada do programa de satélites Landsat. O lançamento do Landsat-8 foi realizado em fevereiro de 2013. O sensor OLI apresenta nove bandas do espectro eletromagnético, com destaque para as duas novas bandas: a Aerossol Costeiro e a Cirrus. O sensor TIRS cobre a região térmica e possui duas bandas (BARSÍ *et al.*, 2014). A Tabela 5 apresenta as características das bandas espectrais dos sensores OLI e TIRS.

Tabela 5 – Características espectrais do OLI e TIRS do satélite Landsat-8

Aerossol Costeiro (Banda 1)	0,433-0,453	30
Azul (Banda 2)	0,450-0,515	30
Green (Banda 3)	0,525-0,600	30
Red (Banda 4)	0,630-0,680	30
Infravermelho-próximo (Banda 5)	0,845-0,885	30
Infravermelho-médio 1 (Banda 6)	1,560-1,660	30
Infravermelho-médio 2 (Banda 7)	2,100-2,300	30
PAN (Banda 8)	0,500-0,680	15
Cirrus (Banda 9)	1,360-1390	30
Infravermelho-termal 1 (Banda 10)	10,600-11,190	100 (30)
Infravermelho-termal 2 (Banda 11)	11,500-12,510	100 (30)

Fonte: Barsi *et al.* (2014).

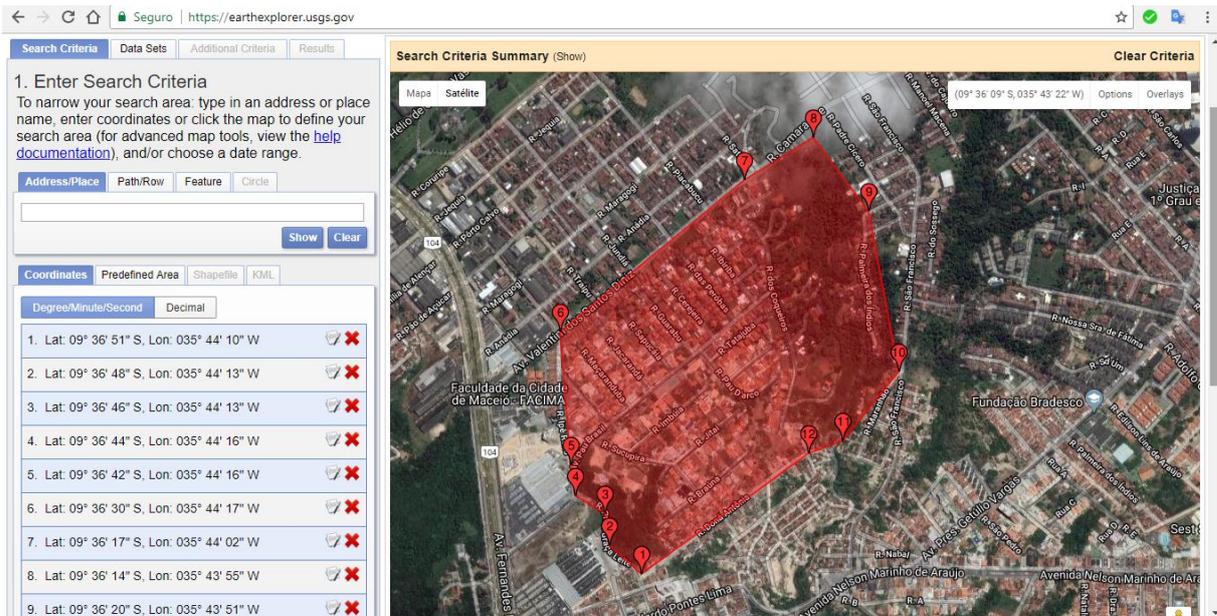
Foram utilizadas as Bandas 2 a 7, do sensor OLI, para a obtenção do albedo de superfície e a Banda 10, do sensor TIRS, para o cálculo da temperatura de superfície.

3.2.1 AQUISIÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DAS IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8

As imagens do satélite Landsat-8 são distribuídas gratuitamente pela Pesquisa Geográfica dos Estados Unidos – *United State Geological Survey* (USGS)³¹, no Explorador da Terra – *Earth Explorer*, onde pode ser obtida qualquer imagem do planeta, como é observado na Figura 33.

³¹ Disponível no site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Figura 33 – Imagem do satélite Landsat-8 no Explorador da Terra - *Earth Explorer*, referente a área de estudo



Fonte: Da autora (2018).

O critério de seleção das imagens atende a duas etapas:

1° - Período seco na região. De acordo com Silva *et al.* (2010), os meses secos para a região do Baixo Mundaú, onde a cidade de Maceió está inserida, compreende aos meses de outubro a janeiro;

2° - Ausência de nuvens sobre a área delimitada.

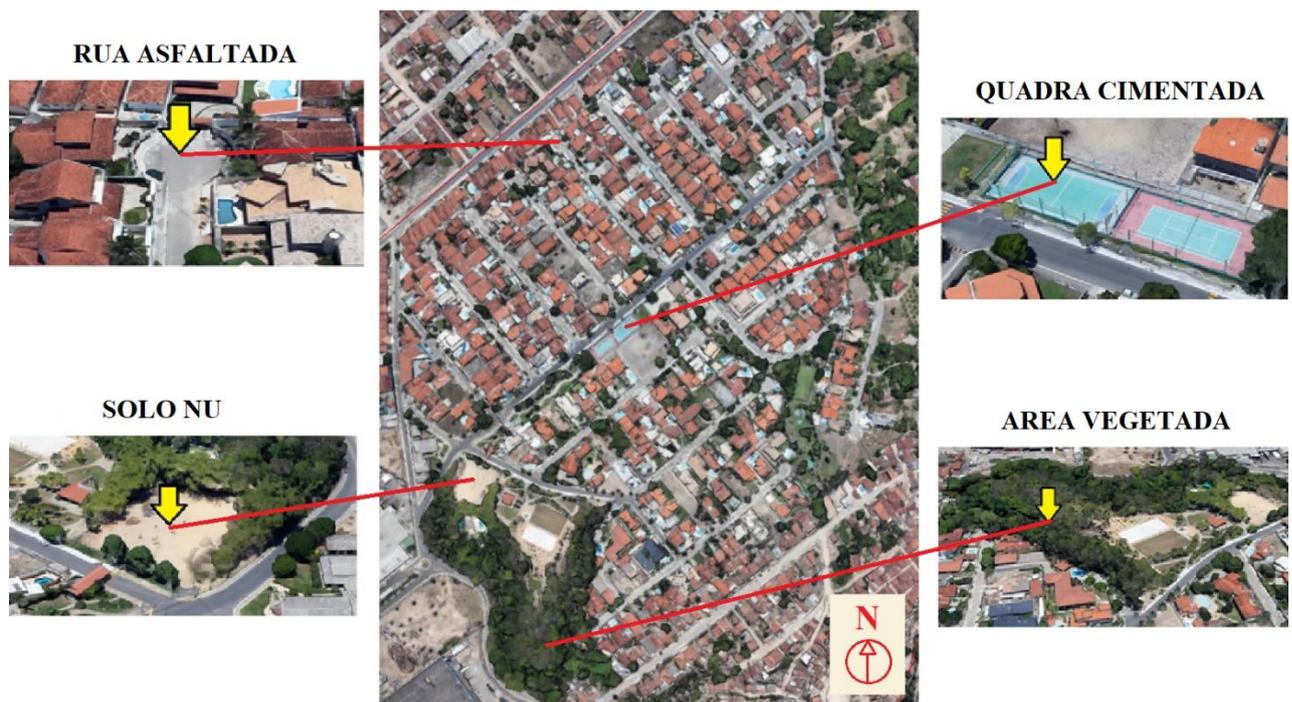
Nesta tese foram utilizadas imagens de quatro dias distintos: 13 de novembro de 2015, 26 de janeiro de 2016, 11 de fevereiro de 2016 e 11 de dezembro de 2016, devido à condição de céu claro, período seco, e à nitidez da imagem. Todas as imagens foram extraídas no horário das 13h, com maior incidência de radiação solar perpendicular à superfície do solo urbano. As características das imagens adquiridas estão representadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Ângulo de elevação, distância Terra-Sol, órbita e ponto das imagens Landsat-8

DATA	ÂNGULO DE ELEVÇÃO	ÓRBITA	PONTO
23/11/2015	63,925°	214	67
26/01/2016	58,387°		
11/02/2016	58,558°		
11/12/2016	58,688°		

Para obtenção dos valores instantâneos das variáveis albedo e temperatura de superfície foram definidos quatro pontos situados em áreas com diferentes tipos de revestimento do solo: quadra com solo nu exposto, quadra esportiva cimentada, área com vegetação arbórea e rua asfaltada (Figura 34). A área de solo nu exposto estudada tem como característica ser um solo arenoso com granulometria fina e coloração clara.

Figura 34 – Localização dos pontos nas áreas com diferentes tipos de revestimento do solo, para obtenção das variáveis albedo e temperatura de superfície, no condomínio Jardim do Horto I



Fonte: *Google Earth Pro*, 2015.

A localização dos pontos foi indicada pelas coordenadas de latitude e longitude. O Quadro 5 apresenta as coordenadas e o tipo de revestimento do solo existente.

Quadro 5 – Coordenadas de localização dos pontos e descrição do tipo de revestimento do solo

PONTOS		
LOCALIZAÇÃO		DESCRIÇÃO
LATITUDE	LONGITUDE	
9°36'30.25"S	35°44'14.48"O	Rua asfaltada
9°36'34.85"S	35°44'8.04"O	Quadra de esporte cimentada
9°36'41.29"S	35°44'14.44"O	Solo nu (sem cobertura)
9°36'45.81"S	35°44'10.31"O	Área vegetação

Após a obtenção das imagens e definição dos pontos, foram calculados os valores das variáveis albedo e temperatura de superfície.

3.2.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-8

Nas etapas seguintes, os cálculos das variáveis estudadas foram efetuados com a utilização do programa computacional Qgis®, versão 2.18:

Na **primeira etapa** realizou-se a contagem da correção atmosférica, que consiste na conversão do Número Digital (ND) em refletância monocromática³², indicada na Equação 18 (USGS, 2016):

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{H_{\rho} Q_{CAL} + A_{\rho}}{\cos(\theta_{SE})} \quad \text{Equação (18)}$$

Onde $\rho_{\lambda,b}$ é a refletância monocromática de todas as bandas, H_{ρ} redimensionamento multiplicativo específico de cada banda (valor constante - 0,1), A_{ρ} é o fator aditivo (valor constante 2E-5), Q_{CAL} valor pixel a pixel de cada banda (ND) e θ_{SE} ângulo azimutal, que é calculado segundo a fórmula a seguir:

$$\theta_{SE} = 90 - \theta_{SZ} \quad \text{Equação (19)}$$

Onde: θ_{SZ} é o ângulo de elevação do sol.

A **segunda etapa** consiste no cálculo do albedo planetário³³ sem o fator de correção expresso na Equação 20:

$$\alpha_{toa} = (\omega_2 \cdot \rho_{\lambda,2}) + (\omega_3 \cdot \rho_{\lambda,3}) + (\omega_4 \cdot \rho_{\lambda,4}) + (\omega_5 \cdot \rho_{\lambda,5}) + (\omega_6 \cdot \rho_{\lambda,6}) + (\omega_7 \cdot \rho_{\lambda,7}) \quad \text{Equação (20)}$$

Em que cada peso ($\omega_2, \omega_3, \dots, \omega_7$) está disponível na Tabela 7.

³² A refletância monocromática de cada banda é obtida pela razão entre radiação solar refletida e radiação solar incidente em cada pixel, isto é, representa a porção da radiação solar de cada banda que é refletida por cada pixel da imagem (GOMES, 2009).

³³ Albedo planetário, ou albedo no topo da atmosfera, representa o albedo da superfície no domínio da radiação de onda curta (0,3 – 3,0 μm), porém sem correção atmosférica, sendo obtida através de combinação linear das refletâncias espectrais $\rho_{\lambda,b}$, com pesos $\omega_{\lambda,b}$ estabelecidos para cada banda (GOMES, 2009).

Tabela 7 – Coeficientes dos pesos (ω_n) para o cálculo do albedo planetário através do uso de imagens Landsat-8

BANDAS	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
ω_n	0,300	0,277	0,233	0,143	0,036	0,012

Fonte: Silva *et al.* (2016).

Em seguida, é aplicado o fator de correção do albedo planetário para obter o albedo de superfície, Equação 21.

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{TOA} - \alpha_{atm}}{\tau_{SW}^2} \quad \text{Equação (21)}$$

Onde α_{atm} é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, recomenda-se valores entre 0,025 e 0,040 de acordo com Bastiaanssen *et al.* (2000 *apud* ALLEN *et al.* 2002, p. 18), e τ_{SW} é a transmitância atmosférica para dias de céu claro, Equação 2, baseado na relação com a altitude proposta pela FAO-56:

$$\tau_{SW} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Alt \quad \text{Equação (22)}$$

Onde Alt é a altitude local (7 metros).

Na **terceira etapa**, que compreende ao cálculo da temperatura da superfície, inicialmente deve-se computar a radiância monocromática utilizando a banda 10 do sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) Landsat-8. Empregando os fatores de reescalonamento da radiância fornecidos nos metadados (USGS, 2016 *apud* ALVES *et al.* 2017):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{Equação (23)}$$

Onde: L_λ é a radiância monocromática, M_L é o fator de reescalonamento multiplicativo específico ($3,342 \times 10^{-4}$), A_L é o fator de reescalonamento aditivo específico (0,1), e Q_{cal} é o valor pixel a pixel da imagem de satélite, através da Equação 24:

$$Ts = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{Equação (24)}$$

Onde: K_2 e K_1 são constantes de calibração da banda 10, respectivamente 774,88K e 1321,08K.

O cumprimento dessa etapa culminou na confecção dos mapas do albedo e da temperatura de superfície, além dos valores instantâneos dessas variáveis, às 13h, nos pontos estudados. Os resultados possibilitaram a análise da relação das variáveis albedo e temperatura de superfície correspondentes aos diferentes tipos de revestimento do solo.

3.3 Simulações computacionais

Para o desenvolvimento das simulações computacionais se utilizou o programa computacional ENVI-met® e foram adotadas as seguintes etapas metodológicas: aferição da estação meteorológica móvel através dos dados da estação fixa; medições das variáveis climáticas na área de estudo; definição dos dados para calibração do programa; cálculo dos percentuais de permeabilidade e a escolha dos cenários para desenvolvimento das simulações.

3.3.1 PROGRAMA COMPUTACIONAL ENVI-MET®

O programa computacional ENVI-met® é um modelo tridimensional de microclima projetado para simular as interações superfície-planta-ar em ambiente urbano com uma resolução típica de até 0,5m no espaço e de 1 a 5 segundos no tempo.

O cálculo do desempenho de uma área urbana desenvolvido pelo programa é baseado nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica, utilizando uma estrutura de quatro módulos que interagem entre si: atmosfera (temperatura, umidade, vapor, campo de velocidade e poluentes); solo (temperatura e umidade no solo, corpos d'água); superfícies (fluxos nas superfícies horizontais e verticais, pavimentos, telhados e paredes dos edifícios); e vegetação (temperatura da folhagem, trocas de calor sensível e latente no nível das copas) (BRUSE, 2015).

Durante a construção da área de estudo no modelo, podem ser definidos pontos, denominados receptores, para os quais são gerados arquivos separados, contendo os valores de inúmeras variáveis para cada ponto da área de estudo, em diferentes alturas em relação a superfície do solo e horários variados ao longo do dia.

Inicialmente, as simulações foram realizadas com a utilização do programa computacional ENVI-met® 4.1.2 (BRUSE, 2015), na versão básica (*Basic*), disponibilizada em

2014, para analisar cenários, em condição espacial real ou hipotética. Essa versão oferece um tamanho de domínio limitado e engloba modelo microclimático holístico³⁴, modelagem vegetativa, dispersão de poluentes e projeto completo do edifício em 3D. Foi verificado que, nesta versão, o programa apresentou resultados subestimados e, por isso, inadequados para as análises.

Diante disto, obteve-se a versão estudante (*Student*), que é um modelo *FULL* avançado com licença comprada válida por um ano. Essa versão proporcionou resultados mais condizentes com a realidade e engloba:

- Tamanho de domínio aberto;
- Modelo microclimático holístico, modelagem vegetativa, dispersão de poluentes;
- Projeto completo do edifício em 3D;
- Física detalhada do edifício (temperaturas da fachada e fluxos de energia, microclima na fachada);
- Análise do acesso solar (horas de sol, sombreamento no solo e fachada);
- Paredes simples (como elementos de desenho);
- Química do poluente do ar;
- Simulação de vaporizador de água.

Essa versão possibilitou a especificação de materiais e a introdução de dados, como a radiação solar local, indisponíveis em versões anteriores.

O programa requer a introdução de dados climáticos e de localização, como latitude e longitude, da área de estudo. Esses dados podem ser adquiridos através de equipamentos de medição como as estações meteorológicas móveis ou disponibilizados em *sites* especializados como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.3.2 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL DAVIS VANTAGE PRO2

Para aquisição dos dados referentes às variáveis climáticas da área de estudo foi utilizada a estação meteorológica móvel Davis Vantage Pro2 (Figura 35), pertencente ao Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana (GATU), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). A Estação Meteorológica Davis Vantage

³⁴ Holístico por procurar compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade (BRUSE, 2015).

Pro2 é um Conjunto de Sensores Integrados (ISS), alimentado por energia solar, que coleta os dados do tempo e os envia para o console da Vantage Pro2 (Figura 36), por meio de ondas de rádio de baixa intensidade (DAVIS, 2004).

Figura 35 - Estação Meteorológica Davis Pro2



Fonte: Davis³⁵ (2018).

Figura 36 – Console da Vantage Pro2



Fonte: Da autora (2017).

Contém um coletor de chuva, sensor de temperatura, sensor de umidade e anemômetro. Os sensores de temperatura e umidade são montados numa proteção de radiação inerte para minimizar o impacto da radiação solar sobre as leituras dos sensores (DAVIS, 2004).

3.3.3 AFERIÇÃO DOS DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL

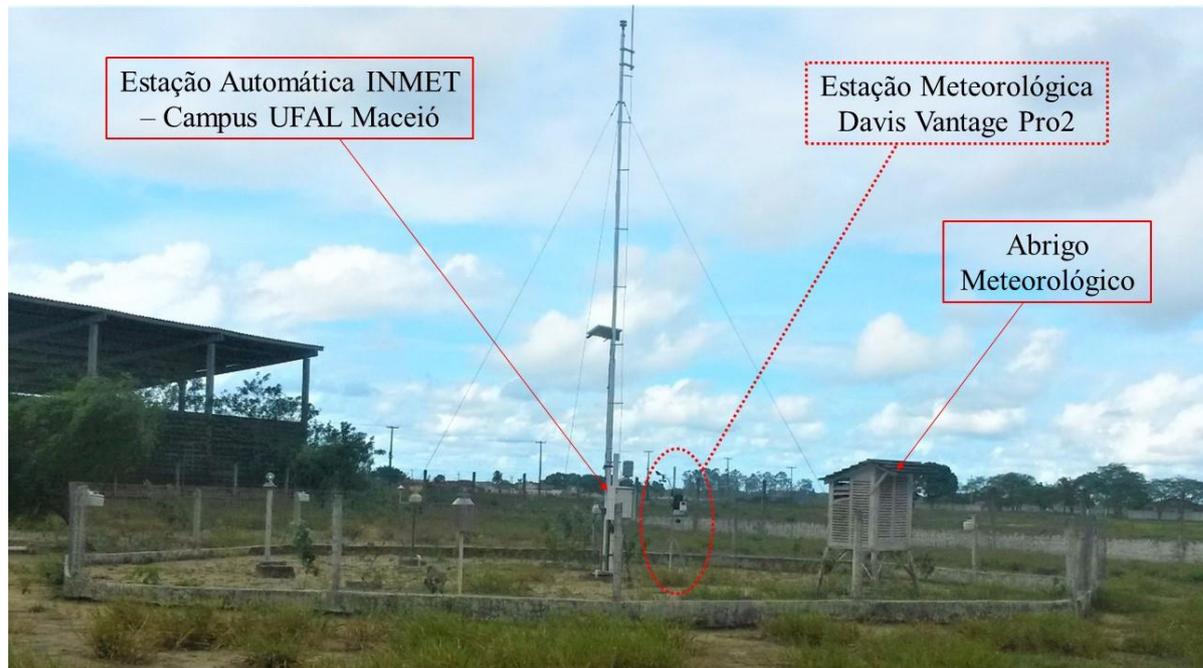
Para aferição dos dados da estação meteorológica móvel, utilizou-se como referência os dados da estação meteorológica de superfície automática Maceió-A303, pertencente ao Instituto

³⁵ Davis Instruments Corp. é a empresa fabricante da Estação Meteorológica Vantage Pro2. Site: <https://www.davisnet.com/>.

Nacional de Meteorologia (INMET)³⁶. A estação automática está localizada na Universidade Federal de Alagoas, Campus Maceió, de latitude -9.551168° , longitude -35.770195° e altitude 84 metros. Os dados da estação do INMET estão disponíveis em UTC, sendo necessário a modificação dos mesmos para UTC-3, referente a hora local padrão para a cidade de Maceió.

A estação móvel foi colocada ao lado da estação automática do INMET (Figura 37).

Figura 37 – Aferição dos dados da estação móvel



Fonte: Da autora (2018).

O console, responsável por receber os dados medidos pela estação meteorológica Davis Vantage Pro2, foi instalado no interior do abrigo meteorológico, localizado junto à estação (Figura 38). O período das medições com a estação móvel foi de 07 de março a 25 de maio de 2017. Os dados utilizados para análise foram dos dias 18 a 25 de maio de 2017, pois os demais dias coletados apresentaram erros e, por isso, foram descartados.

³⁶ Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.

Figura 38 – Abrigo meteorológico e console da Vantage Pro2



Fonte: Da autora (2018).

Comparando os dados medidos pela estação móvel Davis Vantage Pro2 com os da estação automática do INMET, foram escolhidos os dados referentes ao dia 19 de maio de 2017, por apresentar condição atmosférica com maior estabilidade e comportamento semelhante dos dados nas duas estações. Foram calculados o erro médio quadrático (RMSE – Root Mean Square Erro) e o desvio das médias (MBE – Mean Bias Erro) das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar medidas pela estação móvel no dia em questão, objetivando a normalização desses dados através de uma constante (TOUCHAEI *et al.*, 2016).

O MBE indica o quanto o modelo está sendo subestimado (valor negativo) ou superestimado (valor positivo). O ideal é que esse valor se aproxime de zero (ALVES; VECCHIA, 2011). Pode ser calculado com a utilização da Equação 25.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad \text{Equação (25)}$$

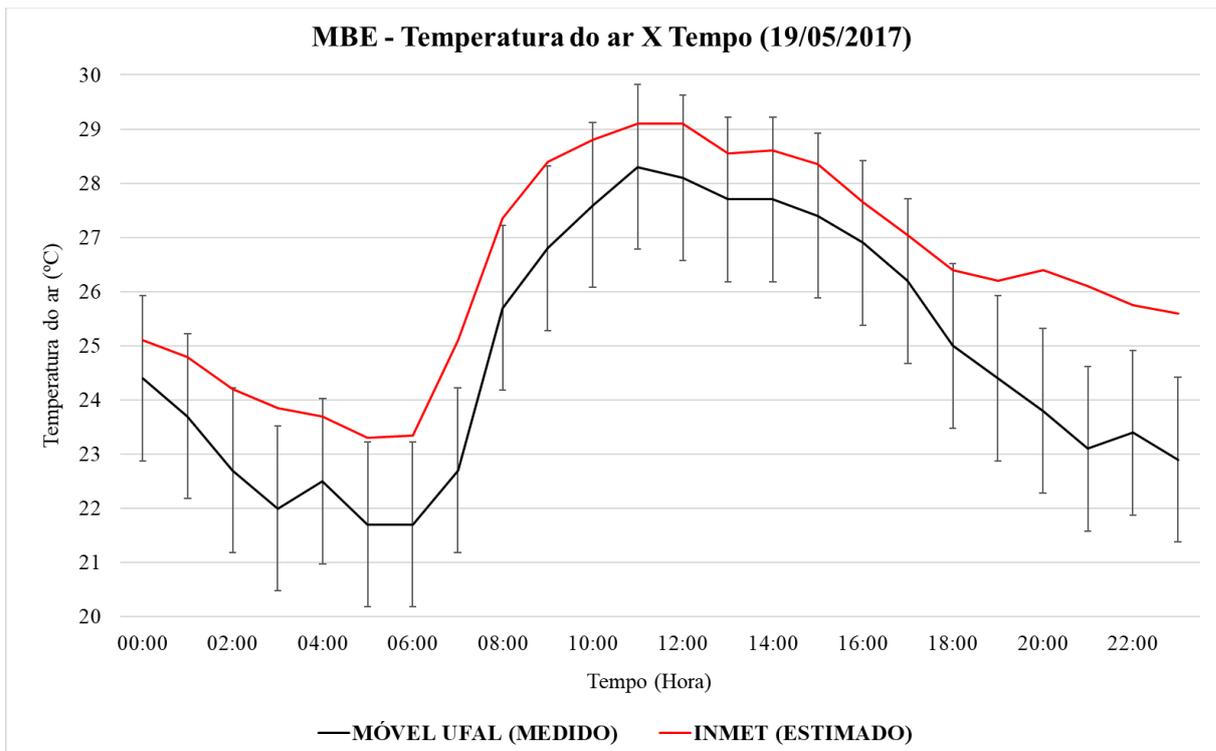
Onde E_i são os valores estimados (dados da estação do INMET) e O_i são os valores observados (dados da estação meteorológica móvel) e n é o número de observações.

O RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados e apresenta valor sempre positivo (ALVES; VECCHIA, 2011). Quanto mais próximo de zero for o resultado, maior é a qualidade dos valores medidos ou estimados, calculado através da Equação 26.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad \text{Equação (26)}$$

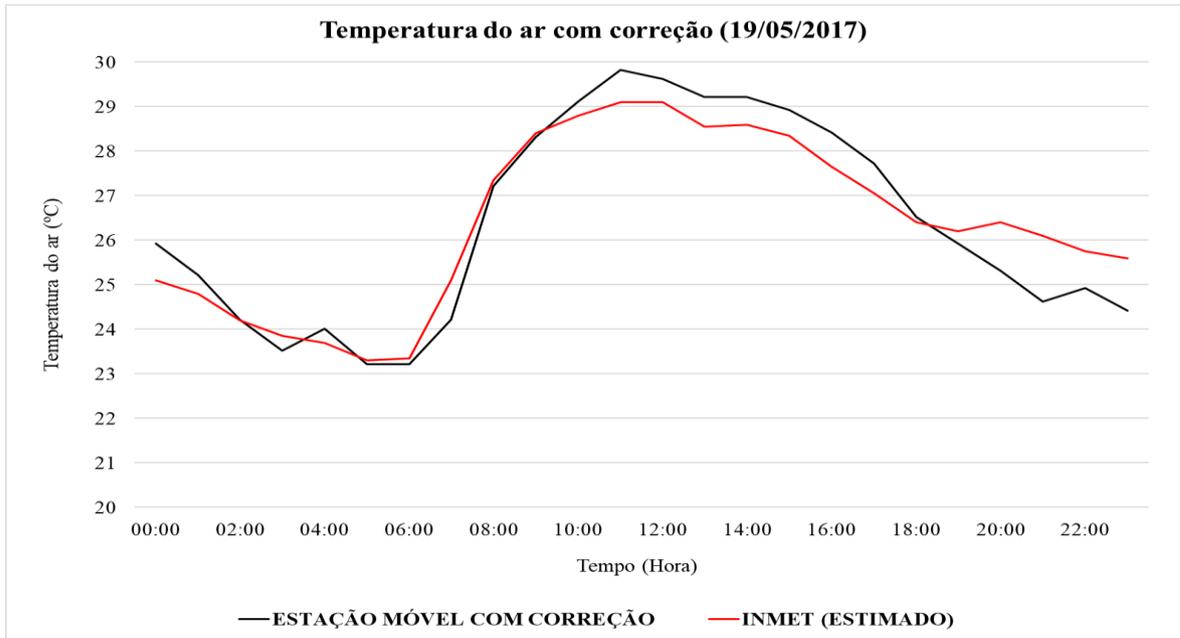
O desvio das médias (MBE) da temperatura do ar calculado foi de 1,52 (Figura 39). A utilização desse valor (1,52) como uma constante, acrescentada aos valores horários medidos da temperatura do ar, possibilitou a correção dos mesmos (Figura 40), gerando um desvio das médias igual a zero. O erro médio quadrático da temperatura do ar encontrado foi de 1,65. Com o acréscimo da constante (1,52) aos valores da temperatura do ar, o valor de RMSE foi reduzido para 0,66.

Figura 39 – Desvio das médias (MBE) dos valores da temperatura do ar para o dia 19 de maio de 2017, ao longo do dia, representado pela barra de erro



Fonte: Da autora (2018).

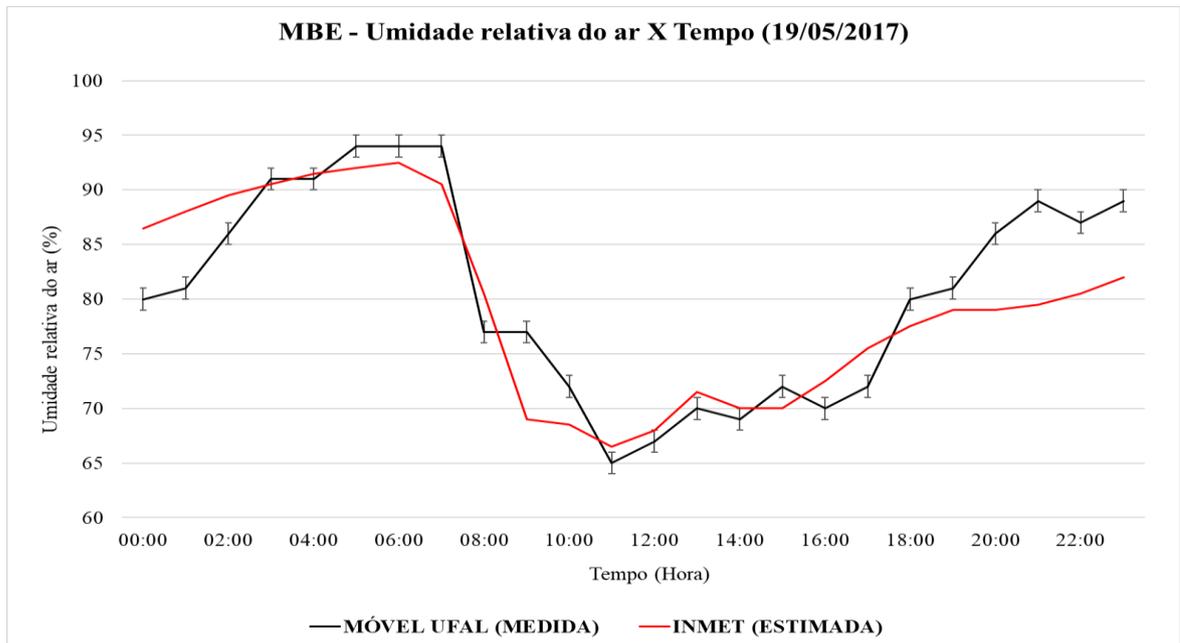
Figura 40 – Temperatura do ar medida com correção do MBE



Fonte: Da autora (2018).

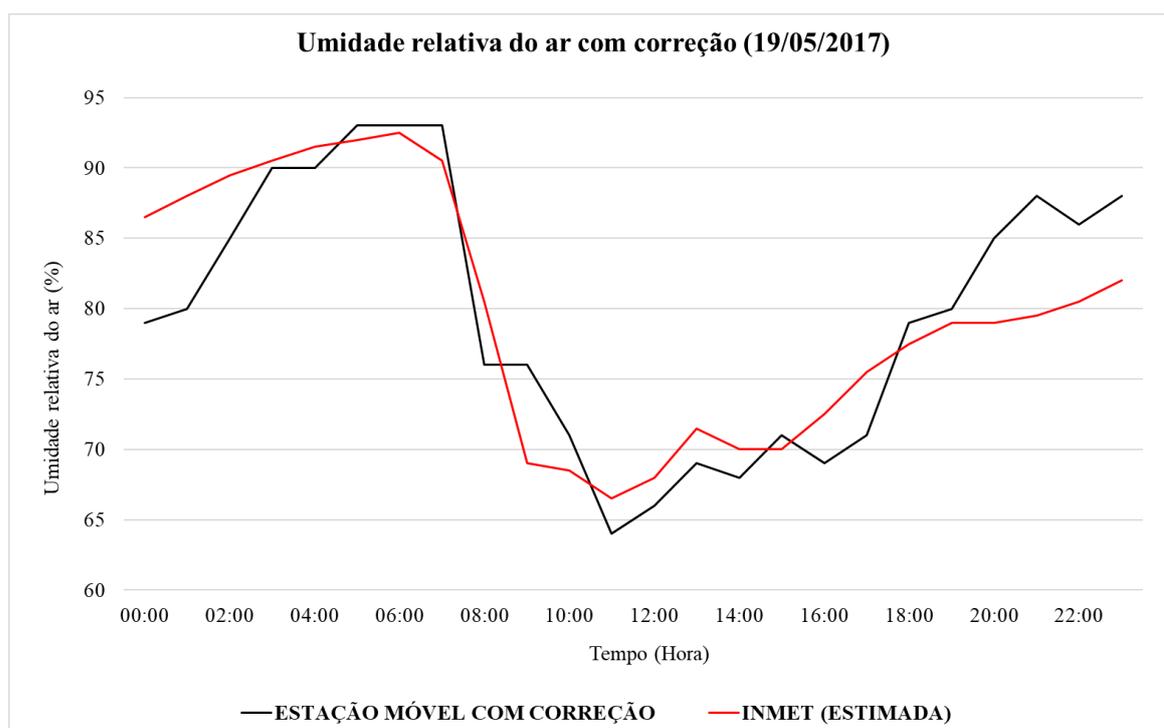
A umidade relativa do ar apresentou o desvio das médias (MBE) igual a -1 (Figura 41). Com o acréscimo dessa constante (-1) nos valores de umidade medidos, o desvio das médias passou a ser zero (Figura 42). O RMSE da umidade relativa do ar, com a correção dos valores pela constante (-1), passou para 4,4.

Figura 41 – Desvio das médias (MBE) dos valores da umidade relativa do ar para o dia 19 de maio de 2017, ao longo do dia, representado pela barra de erro



Fonte: Da autora (2018).

Figura 42 – Umidade relativa do ar medida com correção do MBE



Fonte: Da autora (2018).

A coletânea dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, com seus respectivos cálculos de MBE e RMSE, encontram-se nos apêndices 7 e 8.

A normalização dos valores medidos pela estação meteorológica móvel Davis Pro2 foi importante para que as variáveis ambientais medidas na área de estudos representassem os valores mais próximos da realidade e pudessem ser utilizadas nas simulações computacionais.

3.3.4 MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

A estação meteorológica Davis Pro2 foi utilizada para a medição das variáveis climáticas na área de estudo, condomínio Jardim do Horto I, de 08 de agosto a 22 de novembro de 2017.

O local escolhido para a instalação da estação teve como critérios: a segurança do equipamento; a existência de um espaço aberto descoberto e a disponibilidade do proprietário do lote para permanência do equipamento em sua residência. De acordo com os critérios, o equipamento foi colocado na área gramada do jardim de entrada do lote 118.

Dos valores medidos, foi escolhido o dia 11/11/2017 (Apêndice 9), por caracterizar um dia típico de sol com mais horas de insolação (10,1h), menor nebulosidade (8 décimos às 9h, 6

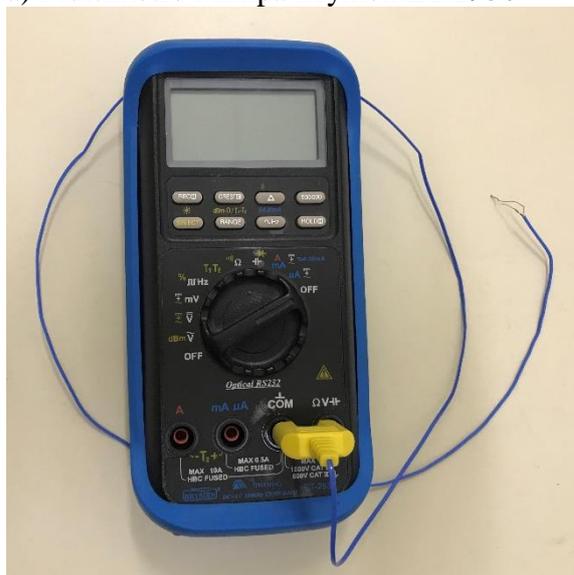
décimos às 15h e 5 décimos às 21h) e sem chuva (INMET, 2018). Os dados medidos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento foram utilizados nas simulações computacionais.

Para observar o comportamento das temperaturas de superfície e do ar e da radiação solar incidente e refletida em algumas tipos de revestimentos do solo, foram executadas medições com a utilização dos instrumentos Multímetro Minipa Brymen ET 2930 (Figura 43a) na escala de termômetro e Luxímetro PHYWE (Figura 43b), pertencente ao Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas.

As áreas escolhidas para as medições estavam localizadas na Universidade Federal de Alagoas devido à diversidade de revestimentos do solo e a proximidade das áreas, reduzindo o tempo de deslocamento para as medições. As medições foram realizados em vários dias no mês de junho, entre 9h e 15h.

Figura 43 – Equipamentos para medição radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície

a) Multímetro Minipa Brymen ET 2930



Fonte: Da autora (2018)

b) Luxímetro PHYWE



Por causa da instabilidade do tempo, foram referenciados apenas os dados do dia 18 de junho, às 10h da manhã (Tabela 8 e 9).

Tabela 8 – Valores das variáveis radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície medidos em revestimentos do solo gramado e exposto

MATERIAIS DE REVESTIMENTO			
GRAMADO		SOLO NU EXPOSTO	
Radiação incidente	111 klux	Radiação incidente	118 klux
Radiação refletida (ângulo 90°)	6,3 klux	Radiação refletida (ângulo 90°)	14,5 klux
(ângulo 45°)	5,6 klux	(ângulo 45°)	13 klux
Temperatura da superfície	38°C	Temperatura da superfície	36°C
Temperatura do ar	28,5°C	Temperatura do ar	29°C




Fonte: Da autora (2018).

Tabela 9 – Valores das variáveis radiação incidente e refletida, temperatura do ar e da superfície medidos nos revestimentos cimentício e pedra natural

MATERIAIS DE REVESTIMENTO			
PLACA CIMENTÍCIA		PARALELEPÍPEDO	
Radiação incidente	115 klux	Radiação incidente	106 klux
Radiação refletida (ângulo 90°)	30 klux	Radiação refletida (ângulo 90°)	11,2 klux
(ângulo 45°)	28,5 Klux	(ângulo 45°)	9,9 klux
Temperatura da superfície	36°C	Temperatura da superfície	37,5°C
Temperatura do ar	31,5°C	Temperatura do ar	29°C




Fonte: Da autora (2018).

Os resultados das variáveis medidas nos diferentes revestimentos do solo serviu de referência como amostragem em tempo real.

3.3.5 DADOS PARA CALIBRAÇÃO DO PROGRAMA

Na primeira etapa das simulações, a calibração do Programa ENVI-met® 4.1.2 (BRUSE, 2015) foi realizada com a utilização dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, nebulosidade, direção e velocidade do vento e insolação, para a cidade de Maceió-AL, referentes ao mês de fevereiro, indicados pelas Normais Climatológicas de 1961-1990 (BRASIL, 1992). Foi utilizada a metodologia de Alucci (ALUCCI; SAWAYA, 1993) para tratamento dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, nebulosidade e radiação solar para obtenção de valores horários para o mês em estudo.

Os dados inseridos nas simulações estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados utilizados nas primeiras simulações

Cidade	Maceió	Temperatura do ar	26.32°C			Dados tratados com a metodologia de Alucci (1992) ³⁷	
Tamanho da quadra	63m x 215m	Umidade relativa do ar	76.6%				
Elevação em relação ao mar	56m	Umidade específica	5.3			Temperatura do ar às 21h	25,4°C
Latitude	9°36'30" S	Nebulosidade (oitavas)	4.8			Umidade relativa do ar	81,4%
Longitude	- 35°44'14" O	GMT	-3			Temperatura máxima	30,4°C
Referencial de Longitude	- 35	Área total da simulação	113m x 265m			Temperatura mínima	22,6°C
Dia de início (dia hipotético)	01/02/2016	Área modelo	X Grid	Y Grid	Z Grid	Umidade máxima	97,7%
Hora de início	21h		90	40	20	Umidade mínima	61,7%
Total de tempo de simulação	72h	Nesting grid	3			Nebulosidade (oitavas)	4,8
Velocidade do vento	5.0m/s	Material de parede	Tijolo			Radiação solar	996W/m ²
Direção do vento	135	Material de piso	Terracota			Fator de ajuste da radiação	1.1

Fonte: BRASIL (1992); Alucci e Sawaya (1993).

Na segunda etapa das simulações, os dados utilizados para alimentação do programa foram oriundos das medições na área de estudo, com a utilização da estação meteorológica móvel (Tabela 11).

³⁷ A metodologia de Alucci (1992) possibilitou transformar os valores diários das Normais Climatológicas de 1961-1990 (BRASIL, 1992) em valores horários.

Tabela 11 – Dados utilizados na segunda etapa das simulações

Cidade	Maceió	Temperatura do ar	28,2°C		
Tamanho da quadra	63m x 215m	Umidade relativa do ar	77,8%		
Elevação em relação ao mar	56m	Umidade específica	12		
Latitude	9°36'30" S	Radiação solar	1036,5W/m ²		
Longitude	- 35°44'14" O	Fator de ajuste	1.5		
Referencial de Longitude	- 35	Área total da simulação	113m x 265m		
Dia de início (hipotético)	09/11/2017	Área modelo	X Grid	Y Grid	Z Grid
Hora de início	21h		90	40	20
Total de tempo de simulação	72h	Nesting grid	3		
Velocidade do vento	1.0m/s	Material de parede	Tijolo		
Direção do vento	205	Material de piso	Terracota		
Rugosidade	0,01	GMT	-3		
Nebulosidade (oitavas)	5.6				

Fonte: Da autora (2018).

O valor da umidade específica do ar a 2.500m de altura é obtido através de balão atmosférico por sondagem vertical da atmosfera, em estações meteorológicas de aeroportos. Devido à inexistência deste equipamento em Maceió, utilizou-se o dado do aeroporto mais próximo, Natal-RN, que dista 533,2km da cidade, disponível no *site* da Universidade do Wyoming – Estados Unidos³⁸.

Dessa forma, todos os dados necessários para as simulações foram definidos, dando início a etapa do cálculo dos percentuais de áreas permeáveis e impermeáveis.

3.3.6 CÁLCULO DOS PERCENTUAIS DE ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS

As imagens de satélite do programa computacional *Google Earth Pro*® (GOOGLE, 2015), referente ao mês de outubro de 2016, e visitas à área de estudo, forneceram as informações sobre o dimensionamento dos lotes e os tipos de revestimento do solo, para o desenvolvimento do cálculo das áreas permeáveis e impermeáveis.

No interior dos lotes foram encontrados os revestimentos: cimentício (impermeável), solo nu e gramado. As ruas longitudinais estavam revestidas com paralelepípedo e a rua transversal com asfalto. Alguns lotes não possuíam edificações. A presença de corpos d'água (piscinas) e vegetação foram consideradas no arranjo urbano.

Inicialmente, foram calculadas as áreas totais dos lotes (largura x comprimento), denominados 1 a 25 e indicados na Figura 44.

³⁸ <weather.uwyo.edu/upperair/sounding.htm> Acesso: em janeiro de 2016.

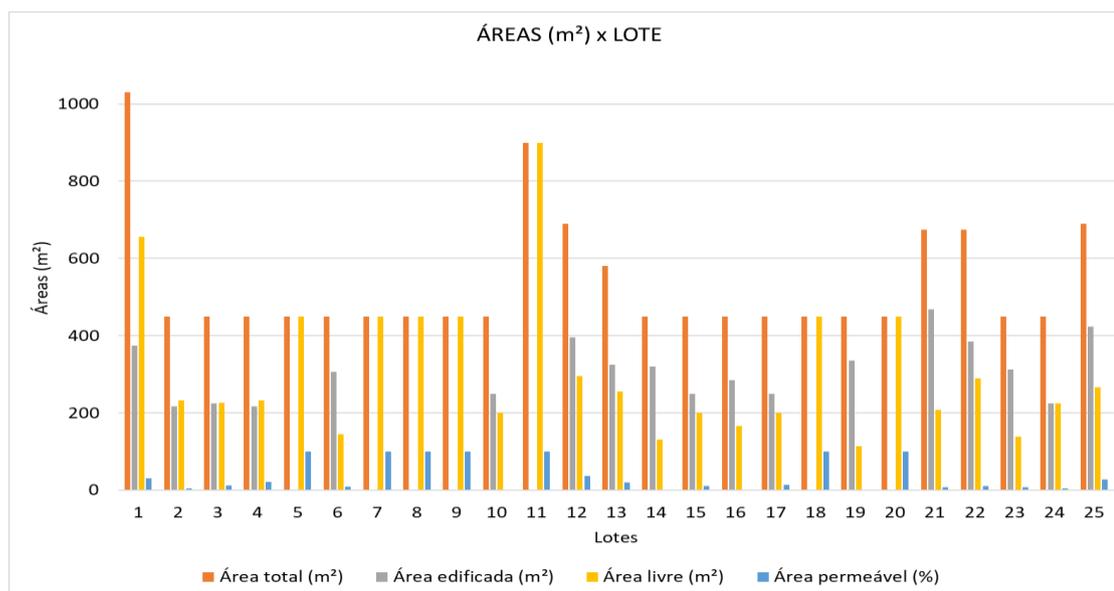
Figura 44 – Divisão dos lotes no interior da quadra



Fonte: Da autora (2018).

Além da área total do lote (em metros quadrados), foram calculadas as áreas edificadas, isto é, composta por edificações; as áreas externas ao edifício, também chamadas de áreas livres, existentes no interior dos lotes; os percentuais de área revestida com materiais impermeáveis, como concreto, revestimentos cerâmicos e cimentícios; e o percentual de área permeável revestida com vegetação e solo nu.

A área edificada foi encontrada a partir do cálculo da área da cobertura das edificações. A subtração entre os valores da área total e da edificada determinou a área livre de cada lote. O tipo do material de revestimento do solo contribuiu para o cálculo do percentual de área permeável e impermeável. O gráfico da Figura 45 resume as áreas calculadas para cada lote existente na quadra de estudo. Dos 25 lotes identificados, 2 possuem área livre permeável revestida com vegetação acima de 30%; 3 lotes apresentam entre 20% e 29%; 4 lotes possuem entre 10% e 19% e 9 lotes possuem área livre permeável entre 0% e 9%. Portanto, existe a predominância de menores percentuais de permeabilidade nos lotes estudados. Além disso, existem 7 lotes restantes que não estão ocupados, isto é, sem edificação ou muros e com predominância de solo nu ou vegetado. Os valores calculados estão disponíveis no Apêndice 15.

Figura 45 – Áreas totais, edificadas, livres e permeáveis calculadas por lote

Fonte: Da autora (2018).

A quadra possui 36,6% de área permeável. Entretanto, deve-se levar em consideração a existência de vários lotes sem ocupação (5, 7, 8, 9, 11, 16, 20). Considerando apenas os lotes que possuem edificações, o total de área permeável da quadra reduz para 11,9%.

Em continuidade foram definidos os cenários e pontos para a coleta das variáveis.

3.3.7 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS REAL E HIPOTÉTICO

Para o desenvolvimento das simulações foram definidos dois cenários: real e hipotético, da quadra localizada no condomínio Jardim do Horto I, mostrada no tópico referente a definição da área de estudo. A escolha da quadra possibilitou resultados mais detalhados das simulações para as análises dos espaços intralotes. Nesta etapa, o revestimento do solo permeável utilizado foi o gramado e o revestimento de solo impermeável foi o cimentado. A escolha dos dois revestimentos aconteceu após as análises dos mapas de temperatura da superfície e do albedo da superfície, além de serem bastante utilizados nos espaços livres intralotes. As árvores existentes foram desconsideradas.

Foram simuladas 72 horas para cada cenário (real e hipotético), no total de 432 horas. Para as análises, os dados referentes às primeiras 27 horas (as primeiras três horas e dois dias) foram descartados, levando em consideração o tempo para estabilização do sistema. O horário inicial das simulações foi às 21h devido à característica de atmosfera estável.

No primeiro cenário, que corresponde ao cenário real, foram mantidas as características dos lotes: dimensionamento das edificações, número de pavimentos (até dois) e os revestimentos do solo nas áreas livres intralotes. Foram definidos 6 pontos (Tabela 12), distribuídos em diferentes lotes, para a verificação dos valores das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média (TRM), temperatura da superfície (TS) e umidade da superfície, ao longo do dia. Os valores referentes ao estudo da atmosfera (temperatura do ar, umidade relativa do ar e TRM) foram registrados a 1,5m de altura do solo, que corresponde à altura aproximada do observador.

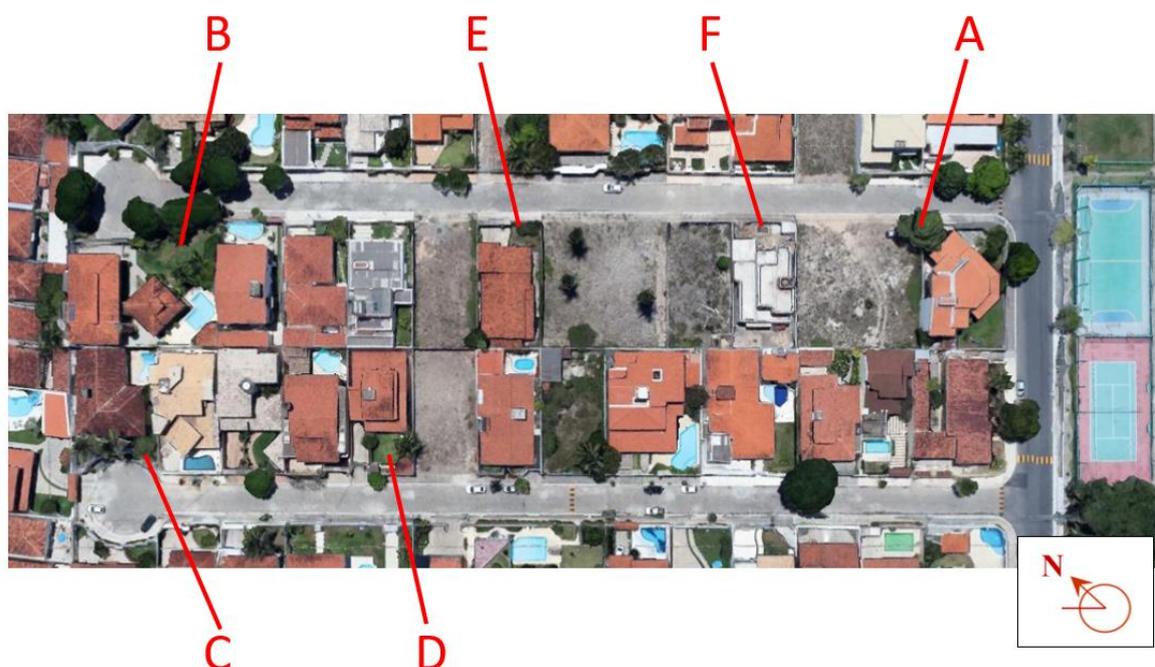
Tabela 12 – Identificação e características dos pontos simulados

Ponto	Característica do solo	Revestimento do solo	Percentual de área permeável
A	Permeável	Gramado	37%
B	Permeável	Gramado	30%
C	Permeável	Gramado	20%
D	Permeável	Gramado	13%
E	Permeável	Gramado	9%
F	Impermeável	Cimentado	0%

Fonte: Da autora (2018).

A Figura 46 mostra a localização dos pontos no interior dos lotes existentes na quadra.

Figura 46 – Locação dos pontos definidos para a simulação do cenário real



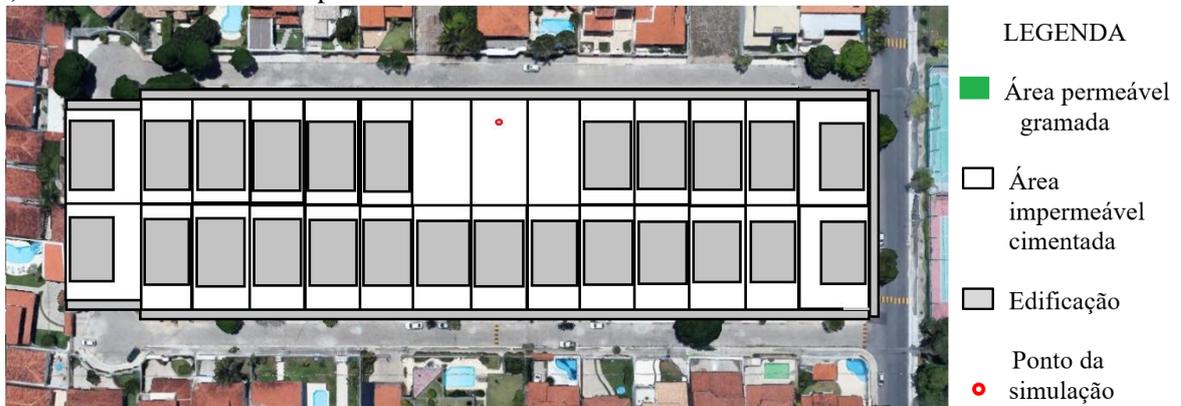
Fonte: Da autora. Adaptado de *Google Earth Pro*® (2018).

As simulações da primeira etapa contribuíram para o conhecimento do comportamento térmico do revestimento do solo em um cenário heterogêneo. Entretanto, a ocupação quase totalitária de algumas edificações no lote, apresentando espaços livres reduzidos, dificultou a elaboração de conclusões definitivas sobre a influência do revestimento do solo para o condicionamento térmico intralotes, dando origem a criação de cenários hipotéticos.

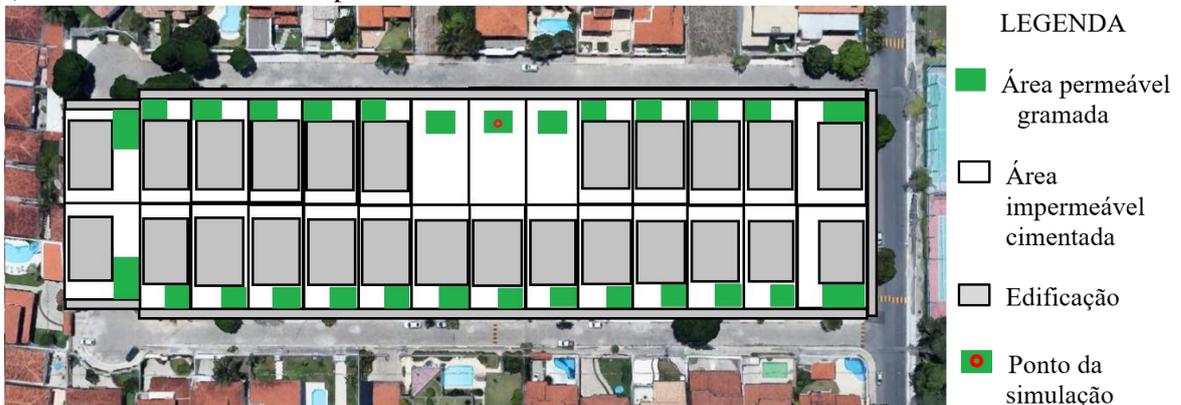
Na segunda etapa das simulações foram definidos cinco cenários hipotéticos (Figura 47), representando diferentes percentuais de permeabilidade dos lotes para cada cenário (0%, 10%, 20%, 30% e 40%). Para a definição dos percentuais de permeabilidade, utilizou-se como referência os dados encontrados na pesquisa sobre as taxas de permeabilidade existentes na legislação urbanística de outras regiões, assim como a área da edificação pertencente ao lote 17, onde foi localizado o ponto D, por ser a menor área edificada (60% da área total do lote).

Figura 47 – Tipo de revestimento do solo para simulação

a) Cenário modificado 0% permeável



b) Cenário modificado 10% permeável



Fonte: Da autora (2018).

c) Cenário modificado 20% permeável



d) Cenário modificado 30% permeável



e) Cenário modificado 40% permeável



Fonte: Da autora (2018).

Nos cenários hipotéticos, a maioria dos lotes recebeu a mesma área edificada e os mesmos recuos, exceto os lotes das extremidades que, devido às dimensões, apresentaram outras configurações e os três lotes centrais, onde está localizado o ponto para identificação das variáveis climáticas estudadas, que não receberam edificações para não haver a interferência de sombreamento no ponto estudado. No interior de cada lote, as áreas livres permeáveis foram revestidas com vegetação gramínea e as áreas livres impermeáveis com revestimento

cimentício. Foi definido um ponto localizado em área não edificada (lote desocupado), com fator de visão do céu 0,95.

As simulações computacionais dos diferentes cenários possibilitaram a elaboração de uma análise comparativa entre os diferentes percentuais quanto a sua interferência nas variáveis atmosféricas e da superfície intralotes. Os valores das variáveis climáticas encontradas nas simulações estão registrados nos Apêndices 2 a 6 desta tese.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

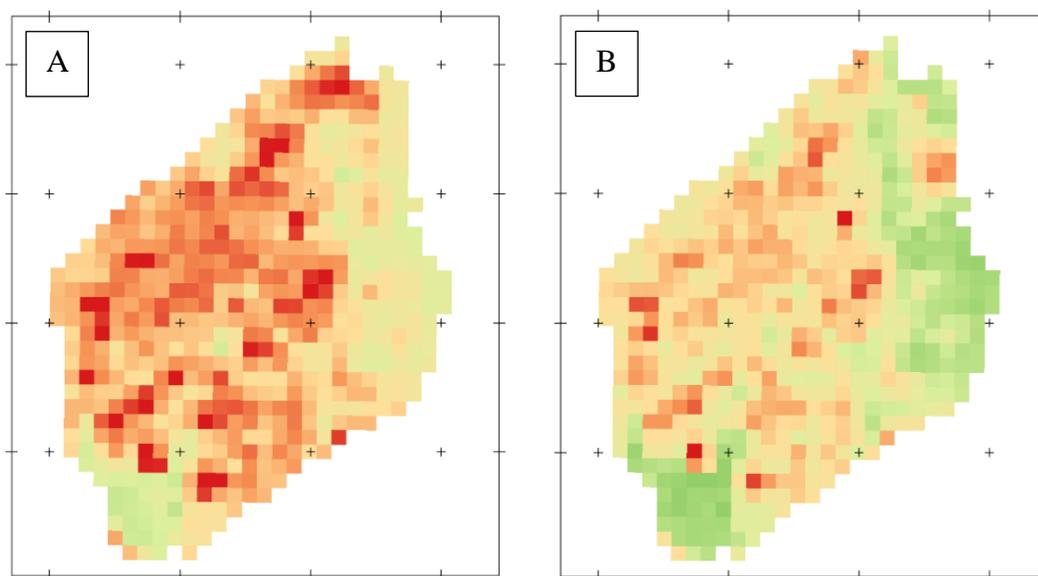
Os resultados foram apresentados em duas etapas: a primeira corresponde ao estudo da temperatura de superfície (TS) e o albedo de superfície em áreas localizadas no condomínio Jardim do Horto I, com diferentes tipos de revestimento do solo, através da análise de imagens do satélite Landsat-8 integradas ao programa Qgis; e a segunda mostrou o comportamento das variáveis ambientais: temperatura de superfície (TS), umidade da superfície, temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média (TRM), em áreas com diferentes percentuais de permeabilidade do solo, a partir das simulações computacionais de uma quadra localizada no condomínio.

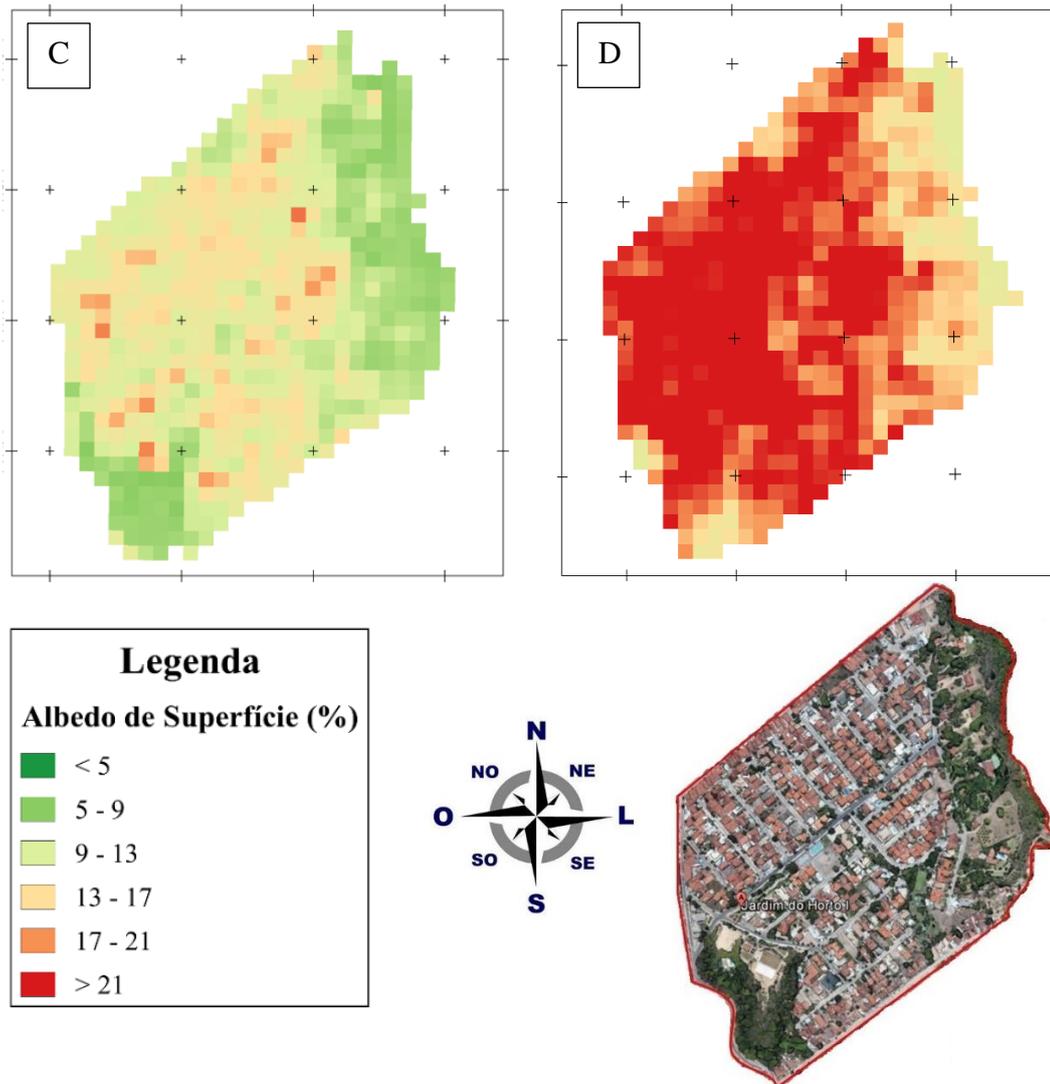
4.1 Estudo do albedo e da temperatura de superfície através da análise de imagem satélite

Os resultados obtidos através do estudo das imagens da área onde está localizado o condomínio Jardim do Horto I, disponibilizadas pelo satélite Landsat 8, contribuíram para a análise sobre a relação dos tipos de revestimento do solo permeáveis (vegetado e solo nu exposto) e impermeáveis (concreto e asfalto) e as variáveis albedo e temperatura de superfície.

A Figura 48 (A, B, C e D) mostra os mapas com a variação dos valores dos albedos de superfície na área de estudo, nos quatro dias observados, às 13h.

Figura 48 – Mapas dos albedos de superfície da área referente ao condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dia 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)



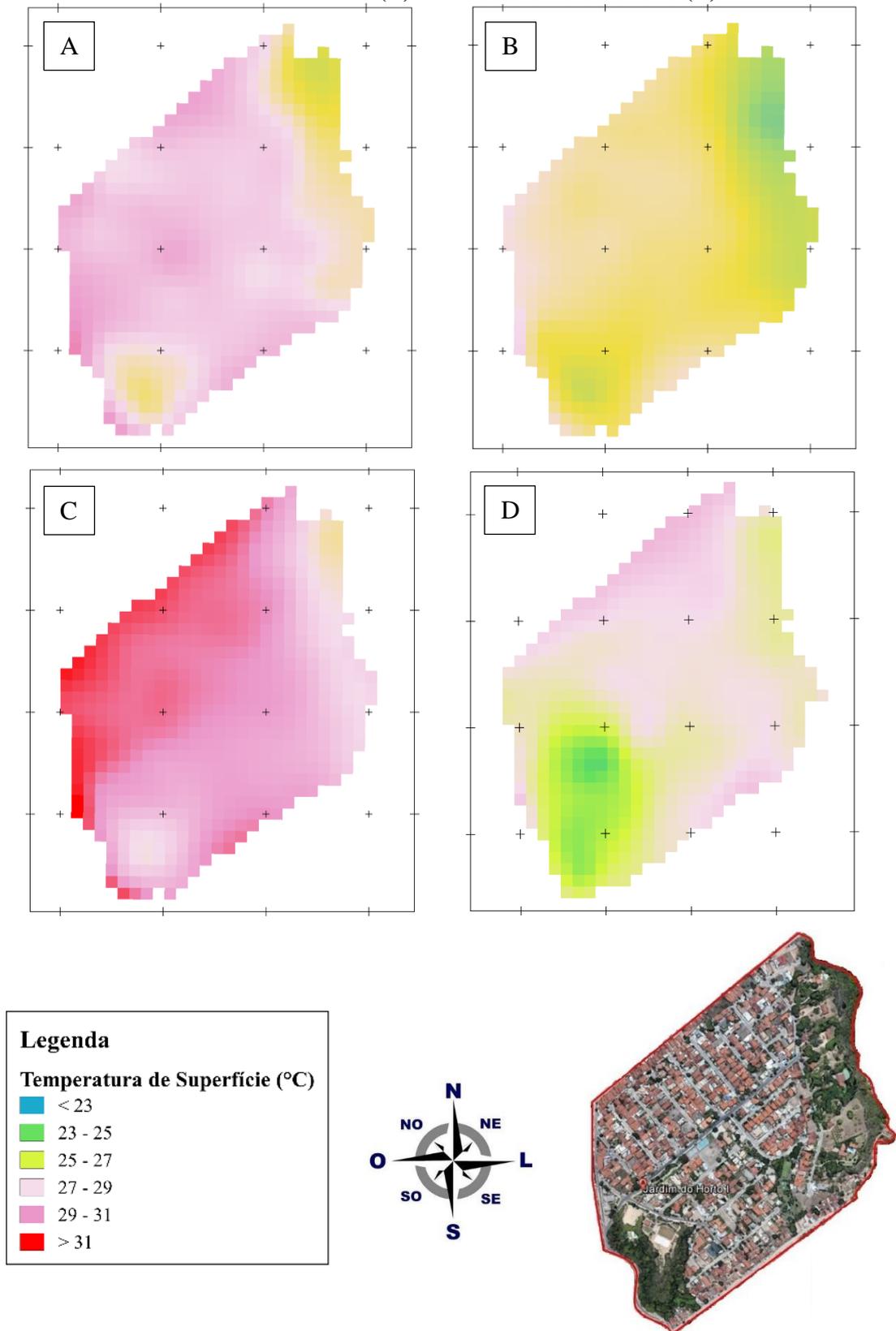


Fonte: Da autora (2018).

Os menores valores de albedo (entre 5% e 13%) nos quatro dias analisados, representados pelos tons de verde, foram encontrados nas áreas que possuem grande concentração de vegetação. As plantas têm elevada capacidade de absorção da radiação solar incidente para o desenvolvimento de suas funções vitais, como a fotossíntese. Além disso, a coloração verde da folhagem contribui para a menor reflexão da radiação solar (PERUSSI; VECCHIA, 2016). As áreas edificadas, e, portanto, com maior presença de revestimentos impermeáveis, apresentaram maiores valores de albedo, entre 13% e > 21%, devido à vários fatores como o acabamento liso de algumas superfícies, a presença de cores claras dos revestimentos e o reduzido acúmulo de água nas áreas revestidas com materiais impermeáveis.

A Figura 49 (A, B, C e D) indica os mapas com a variação das temperaturas de superfícies na área de estudo, nos quatro dias observados, às 13h.

Figura 49 – Mapas das temperaturas de superfície da área referente ao condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)



Fonte: Da autora (2018).

Os mapas das temperaturas de superfícies da área de estudo, nos quatro dias analisados, às 13h, indicaram que as áreas com maior concentração de vegetação apresentaram os menores valores das temperaturas de superfície, enquanto as áreas mais edificadas apresentaram os maiores valores. As plantas apresentam baixa capacidade calorífica e reduzida condutividade térmica, que contribuem para impedir o aquecimento do solo (PERUSSI; VECCHIA, 2016).

Os maiores valores das temperaturas de superfície (TS) foram encontrados no dia 11 de fevereiro de 2016, em comparação com os demais dias estudados. Fatores como o maior valor de radiação global (3643,7KJ/m²); o menor valor da velocidade do vento (4,3m/s) e os menores valores de umidade relativa do ar (instantânea – 54%; máxima – 56% e mínima – 50%) encontrados nesse dia, em comparação com os demais dias estudados (Tabela 13), podem ter contribuído para o incremento de calor nas superfícies e para a redução das trocas térmicas por convecção. Além disso, foi observado que as áreas edificadas localizadas próximas à área vegetada estavam com menores valores de TS em comparação com aquelas mais distantes. O aumento da umidade do ar por evapotranspiração e o aproveitamento da radiação solar incidente pela vegetação, com uma baixa reflexão dessa radiação para o entorno podem ter contribuído para este resultado.

Tabela 13 – Condição atmosférica da cidade de Maceió-AL nos dias 23 de novembro de 2015, 26 de janeiro de 2016, 11 de fevereiro de 2016 e 11 de dezembro de 2016, às 13h.

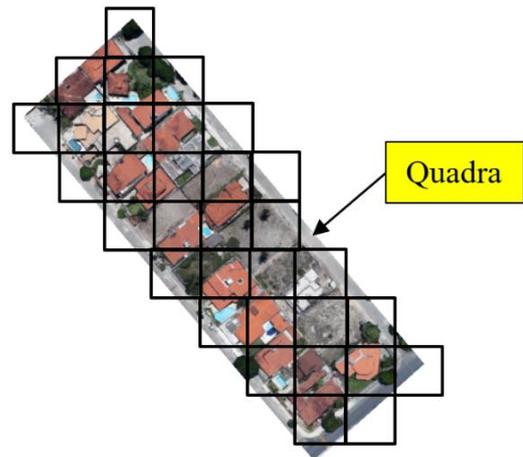
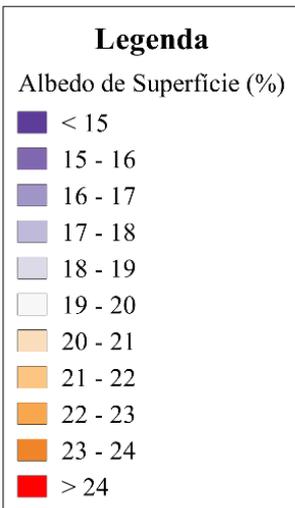
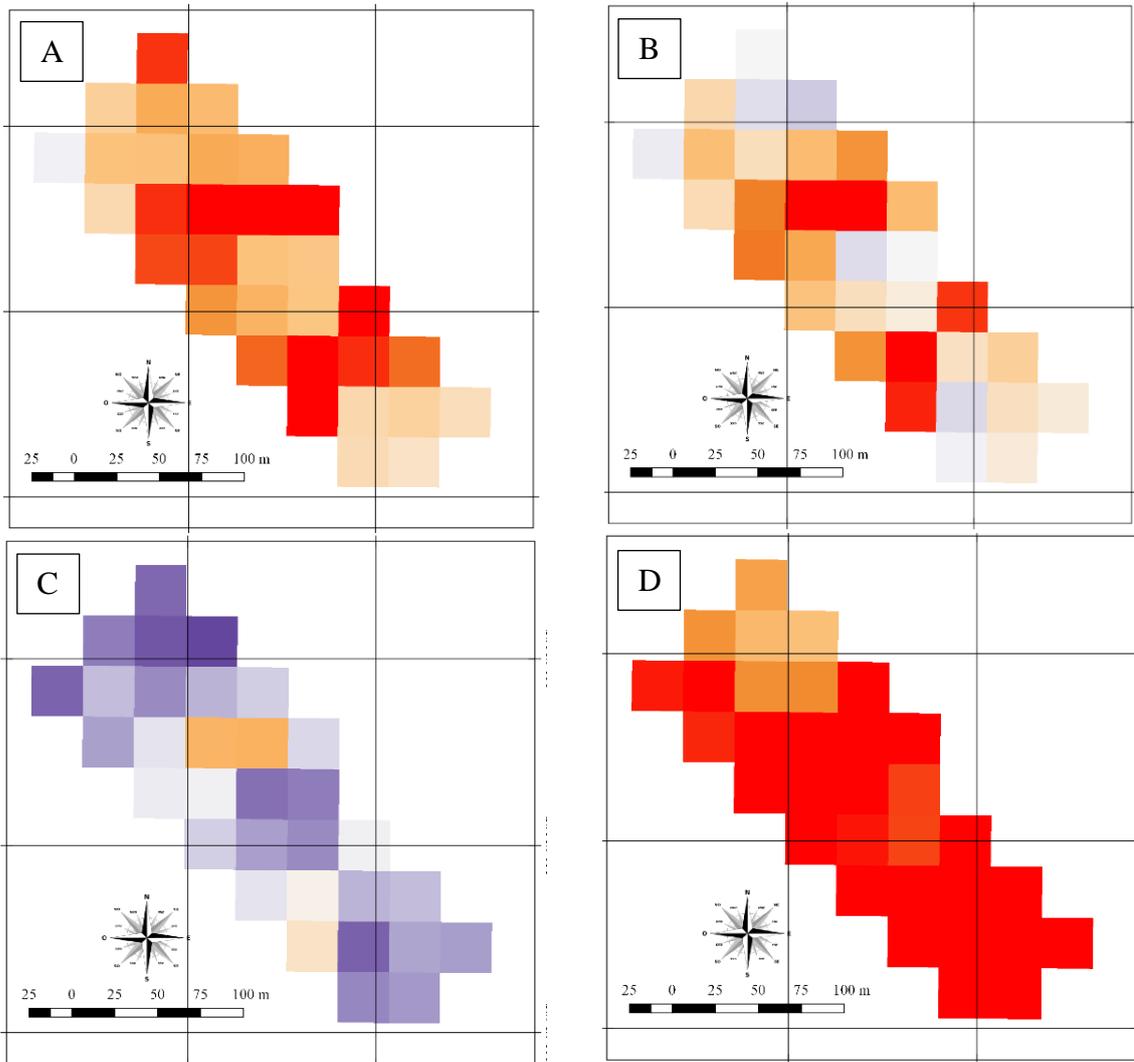
Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC -3	Inst	Máx	Mín	Inst	Máx	Mín	Vel	Dir (°)	Raj	(kJ/m ²)	(mm)
23/11/15	13	30,3	30,9	29,4	57	59	54	5,9	91	10	3330	0,0
26/01/16	13	31,1	31,6	29,8	58	63	56	4,5	73	8,1	2926,9	0,0
11/02/16	13	30,5	31,5	30,4	54	56	50	4,3	97	7,3	3643,7	0,0
11/12/16	13	31,2	32,3	30,8	54	57	51	7,5	67	12,3	3371	0,0

Fonte: INMET (2018).

No dia 26 de janeiro de 2016 foram encontrados os menores valores das temperaturas de superfície (TS) em comparação com os outros dias analisados. Em Maceió, foi registrado nesse dia o menor valor da radiação global, 2.926,9 kJ/m². Com a redução da radiação incidente, as superfícies absorvem menos radiação e conseqüentemente apresentam menores valores da temperatura da superfície.

Nas Figuras 50 e 51 estão demonstrados os mapas do albedo e de temperatura de superfície da quadra, localizada no condomínio Jardim do Horto I.

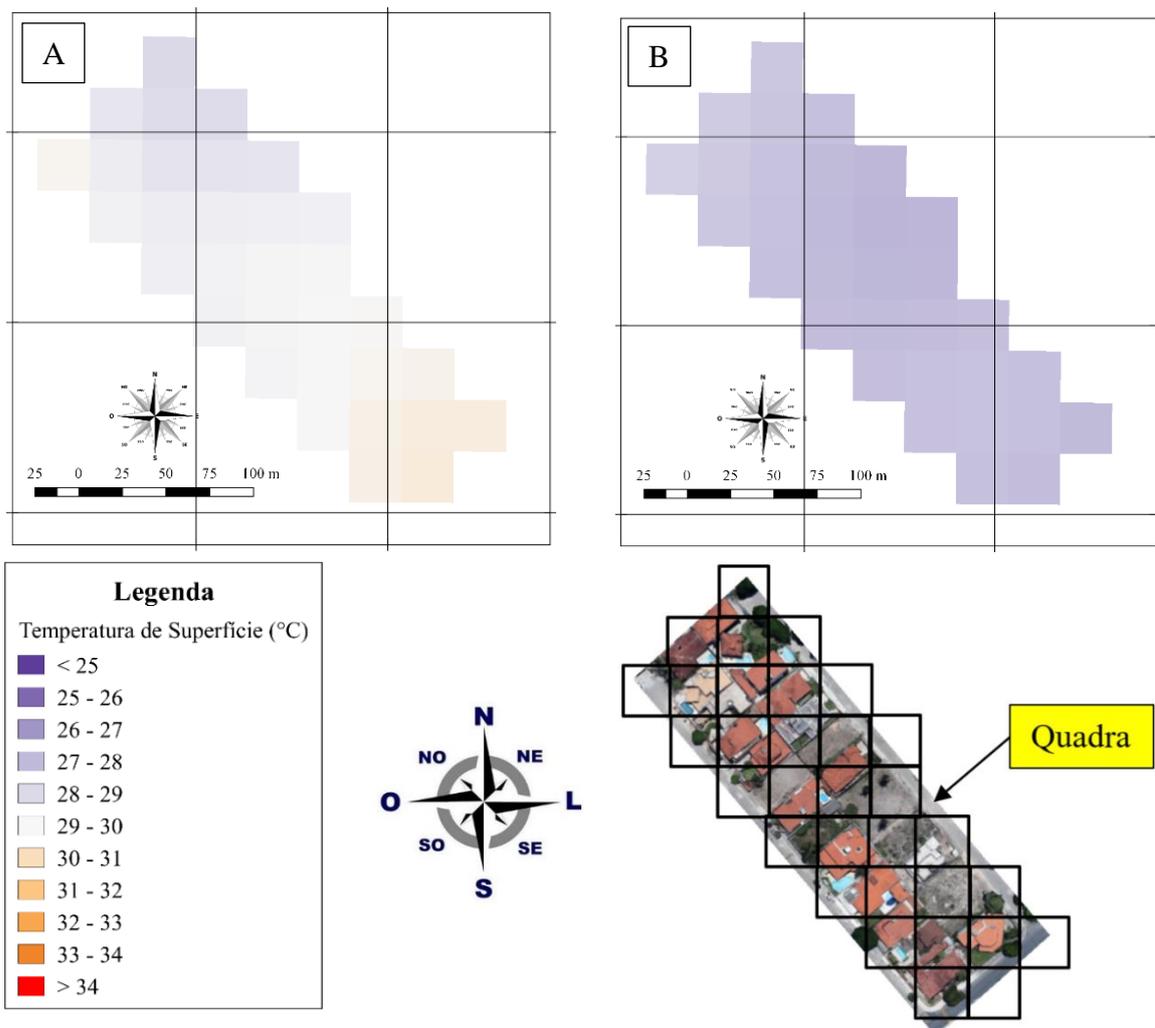
Figura 50 – Mapas dos albedos de superfície da quadra do condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)

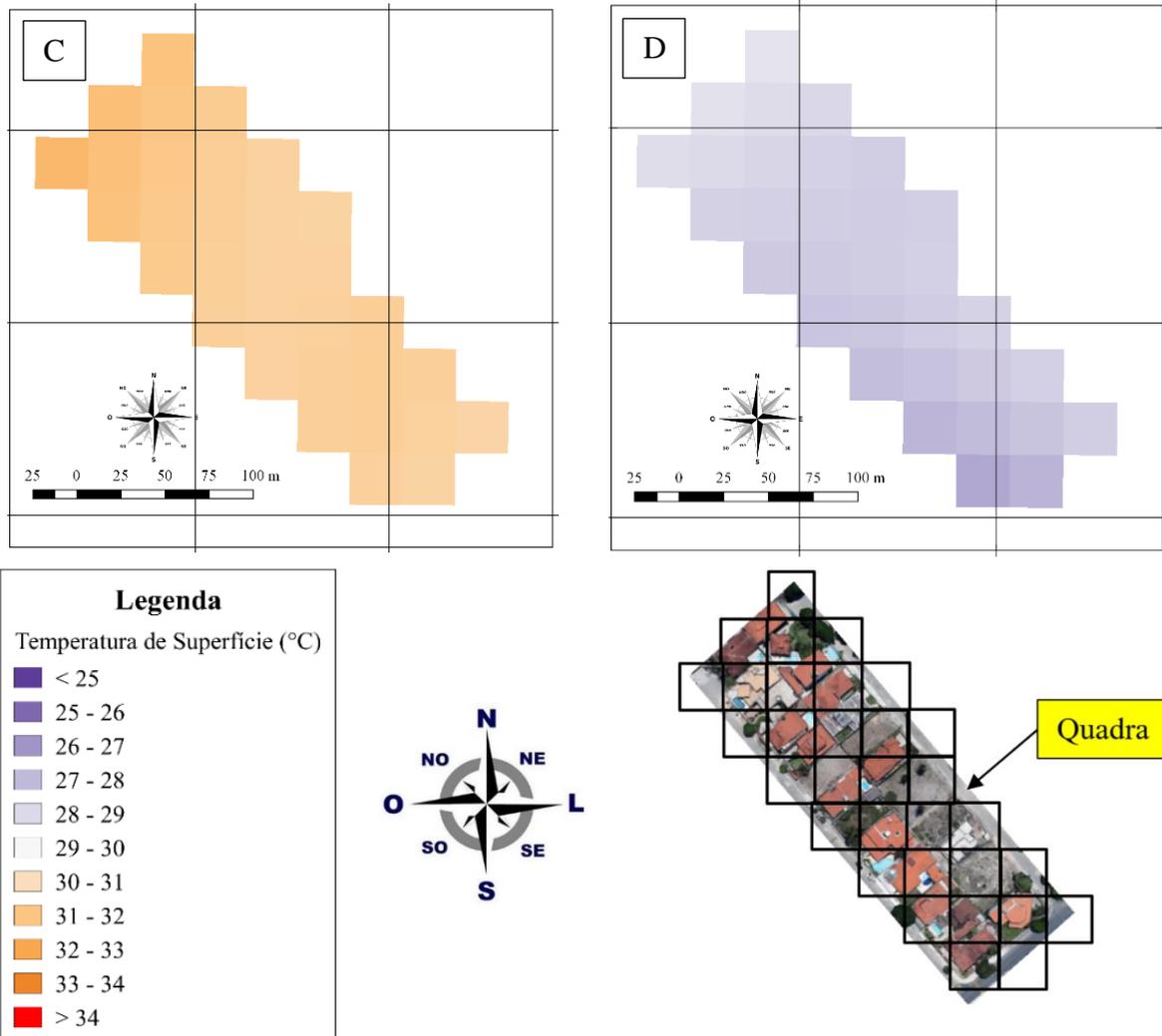


Fonte: Da autora (2018).

As imagens mostraram uma grande variação dos albedos no interior da quadra em todos os meses estudados. Isso pode ser explicado pelo dimensionamento do *pixel* (quadrado) da imagem que engloba vários tipos de revestimentos do solo em um mesmo *pixel*. A quadra em estudo apresenta uma área com maior concentração de edificações e solo nu exposto, o que contribuiu para os resultados dos valores de albedo >23%, principalmente nos meses de novembro de 2015 e dezembro de 2016.

Figura 51 – Mapas das temperaturas de superfície da quadra do condomínio Jardim do Horto I, em Maceió-AL, nos dias 23 de novembro de 2015 (A), 26 de janeiro de 2016 (B), 11 de fevereiro de 2016 (C) e 11 de dezembro de 2016 (D)





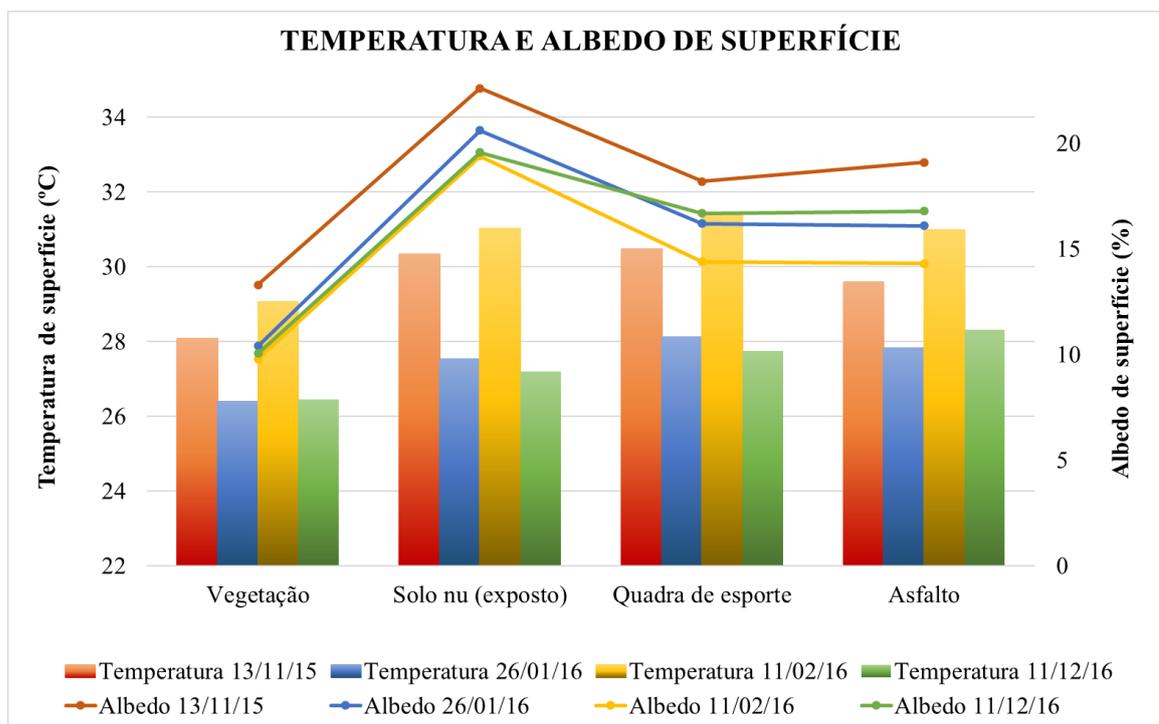
Fonte: Da autora (2018).

Os valores das temperaturas de superfícies na quadra variaram entre 26°C e 32°C nos quatro dias estudados. O dia 26 de janeiro de 2016 apresentou as menores temperaturas da superfície, entre 27°C e 28°C, distribuídas uniformemente em toda área da quadra. Neste mesmo dia, os albedos de superfície apresentaram valores variados acima de 18%. O dia 11 de fevereiro de 2016 apresentou os maiores valores de temperatura da superfície, entre 30°C e 32°C, com albedos que variaram entre 15% e 17%. Com isso, observou-se que o aumento da reflexão da radiação solar nas áreas com maior concentração de materiais impermeáveis pode colaborar com a redução da TS nessas áreas. Entretanto, a radiação refletida será direcionada para outras superfícies, podendo favorecer ao incremento de calor em outras áreas.

É importante ressaltar que devido à dimensão da quadra em relação ao tamanho do *pixel*, não foi possível analisar com precisão os resultados quanto à distinção das áreas edificadas e dos revestimentos da superfície.

Na Figura 52 estão indicados os valores instantâneos dos albedos e das temperaturas de superfície, às 13h, encontrados em quatro pontos da área de estudo, distintos pelo tipo de revestimento do solo – asfalto da rua, revestimento de cimento da quadra esportiva, solo nu exposto e vegetação.

Figura 52 – Variação do albedo e temperatura da superfície nos quatro pontos, com diferentes tipos de revestimentos de solo



DESCRIÇÃO	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (°C)				ALBEDO DE SUPERFÍCIE (%)			
	13/11/15	26/01/16	11/02/16	11/12/16	13/11/15	26/01/16	11/02/16	11/12/16
Vegetação	28,1	26,4	29,1	26,5	13,3	10,4	9,8	10,1
Solo nu exposto (sem cobertura)	29,4	27,6	30,7	27,2	26,5	22,8	20,1	19,6
Quadra esportiva cimentada	30,4	28	31,8	27,7	18,1	16,1	14,9	16,7
Rua asfaltada	29,8	28,5	32,1	28,3	18,7	16,6	14,6	16,8

Fonte: Da autora (2018).

Os maiores valores das temperaturas de superfície (TS) foram encontrados nos pontos localizados nas áreas revestidas com asfalto (32,1°C no dia 11 de fevereiro de 2016) e cimento (31,8°C no dia 11 de fevereiro de 2016), devido à capacidade de armazenamento de energia desses materiais (OKE, 2002). Os menores valores foram encontrados na área onde está localizada a reserva com vegetação (26,4°C no dia 26 de janeiro de 2016) e na área com solo nu exposto (27,6°C no dia 26 de janeiro de 2016), devido ao armazenamento da radiação

incidente pela vegetação e a reflexão da radiação pelo solo nu estudado, que é um solo arenoso, de coloração clara e granulometria fina. Em 2007, Araújo e Di Pace (2007) desenvolveram um estudo, através da análise de imagens satélite, para identificar a temperatura de superfície dentro da malha urbana de Maceió e encontraram valores de TS entre 26°C e 32°C, aproximadamente, semelhante aos valores encontrados neste estudo, mas sem distinção dos tipos de revestimentos.

Para os revestimentos sem vegetação (solo exposto, cimentado e asfaltado) é possível afirmar que o aumento do albedo contribui para a redução da temperatura da superfície que reveste o solo urbano. Entretanto, deve-se salientar que a radiação refletida poderá ser direcionada para outras superfícies, incluindo edificações, podendo favorecer o aumento de sua carga térmica.

Comparando os dados referentes aos pontos localizados nas áreas consideradas permeáveis (com vegetação ou solo nu), aquele com vegetação apresentou os menores valores de albedo e de temperatura de superfície, como foi visto anteriormente nos mapas de TS e albedo (Vide Figura 46, 47, 48 e 49).

Foi encontrada uma diferença na TS de 3°C entre os pontos localizados na rua asfaltada (32,1°C) e na área vegetada (29,1°C), no dia 11 de fevereiro de 2016; e no albedo de 13,2% entre esses pontos, no dia 13 de novembro de 2015.

Os maiores valores de albedo foram encontrados no ponto com revestimento de solo exposto (entre 20 e 27%), devido à sua coloração clara. Verificou-se que, mesmo com a elevada refletividade nesse ponto, as temperaturas de superfície exibiram valores altos, provenientes da sua capacidade térmica e baixa umidade da superfície. Por ser um material poroso que não retém água na superfície, a radiação absorvida aumenta a TS, conduzindo parte do calor para camadas mais profundas do solo e emitindo o restante para a atmosfera adjacente à superfície por radiação e condução (OKE, 2002).

4.2 Síntese dos resultados dos mapas de albedo e temperatura da superfície

Na análise sobre a relação dos diferentes tipos de revestimento com os valores das variáveis albedo e temperatura de superfície, através das imagens satélites e o Programa Qgis® (QGIS Development Team, 2017) para os quatro dias analisados, foi evidenciada que as áreas revestidas com vegetação, em comparação com as áreas edificadas impermeáveis, apresentaram os menores valores de albedo (entre 5 a 13%), devido à coloração das folhagens encontradas. Além disso, as áreas vegetadas obtiveram as menores temperaturas de superfície (TS), devido

ao fato das espécies vegetais aproveitarem parte da radiação solar incidente nas folhas para o desenvolvimento de suas funções vitais, permitindo o resfriamento da superfície por evapotranspiração (MODNA; VECCHIA, 2003) e o controle da umidade do ar em áreas urbanas (ARAÚJO; DI PACE, 2007).

O maior valor da temperatura de superfície (TS) foi encontrado no ponto localizados nas áreas revestidas com asfalto (32,1°C no dia 11 de fevereiro de 2016) e o menor valor foi encontrado na área vegetada (26,4°C no dia 26 de janeiro de 2016). Tais resultados se assemelham aos encontrados por Araújo e Di Pace (2007), cujos valores da TS achados na malha urbana de Maceió variaram entre 26,5°C e 32°C, mas sem a definição do tipo de revestimento do solo existente.

Nas áreas com maior concentração de elementos construídos – edificações e ruas – e solo nu exposto, os valores elevados de albedo podem ser explicados pela presença de cores claras, superfícies lisas e pela baixa retenção de umidade das superfícies, que ocasiona o aumento da reflexão da radiação incidente. Andrade *et al.* (2013) também encontraram resultados semelhantes para o município de Santarém-PA, com elevados valores de albedo de superfície nas áreas com maior concentração de construções (26% e 33%) e os menores valores nas áreas vegetadas (14% a 19%), atribuindo esse resultado à diferença de umidade nas superfícies. Apesar da elevada refletividade, que reduz a quantidade de radiação a ser absorvida, essas áreas apresentaram os maiores valores de temperatura da superfície, nos quatro dias analisados. Isso pode ser explicado devido à capacidade dos materiais de construção de armazenar calor e conduzir parte do calor para o solo adjacente por condução e outra parte para a atmosfera por radiação e convecção (LOMBARDO, 1985; OKE, 2002). Os materiais impermeáveis presentes nos revestimentos do solo possuem grande capacidade de escoamento da água depositada na superfície. Por causa disso, as superfícies impermeáveis apresentam baixa perda de calor por evaporação, contribuindo para o incremento da temperatura do ar nessas áreas.

Diante destas observações, verificou-se que as áreas estudadas com revestimento de solo permeável gramado apresentaram resultados mais eficientes para a qualidade térmica dos espaços estudados, reduzindo as temperaturas de superfície, que contribuem para o incremento da temperatura do ar, e apresentando menor reflexão da radiação solar para o entorno imediato, o que interfere na carga térmica dos edifícios do entorno.

4.3 Análise das simulações computacionais

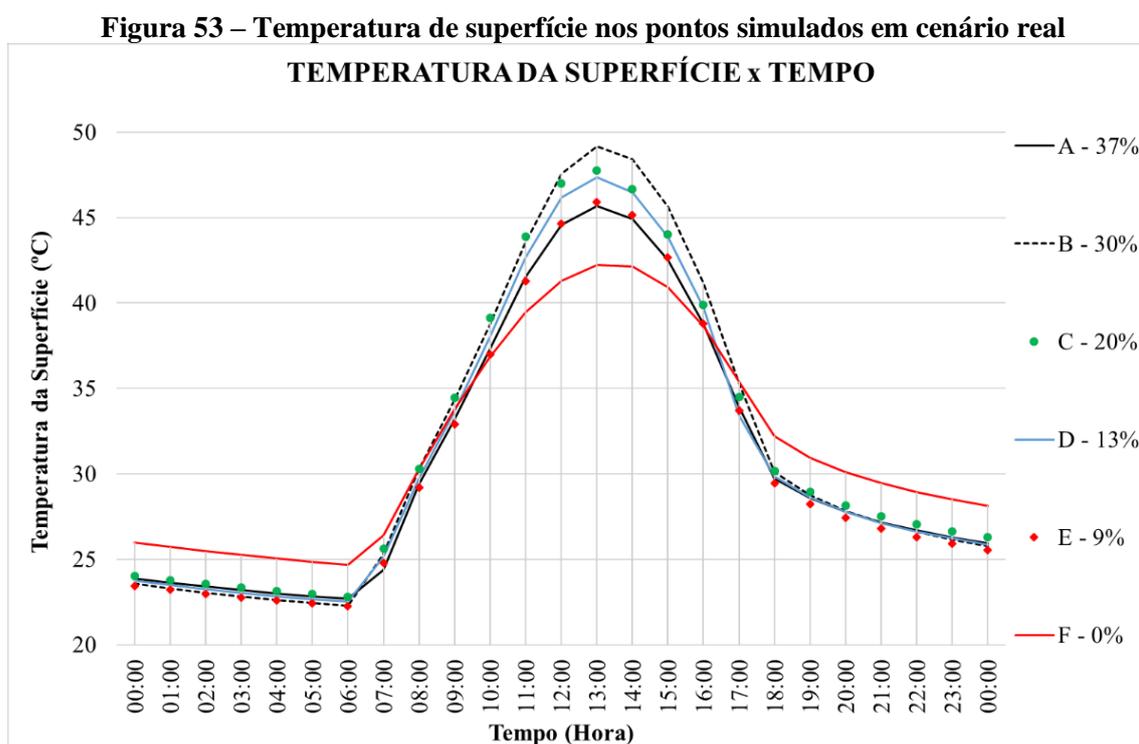
Os resultados obtidos através das simulações computacionais da quadra estudada permitiram a análise da relação do percentual de permeabilidade intralotes com as variáveis do solo: temperatura de superfície e umidade da superfície, e as variáveis atmosféricas: temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média, nos cenários real e hipotéticos.

No cenário real foi identificado o percentual real de área permeável-gramada em cada lote da quadra, como mostrado na seção 3.3.6. Neste cenário foram identificados os pontos: A com 37% de área permeável gramada; B – 30%; C – 20%; D – 13%; E – 9% e F – 0%.

Cada cenário hipotético foi representado por um percentual de área permeável empregado em todos os lotes (0%, 10%, 20%, 30% e 40% de revestimento permeável-gramado) e com uma taxa de ocupação de 60% do lote.

4.3.1 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES REFERENTES AO CENÁRIO REAL

O gráfico da Figura 53 mostra a variação das temperaturas de superfície nos pontos simulados no cenário real ao longo do dia.



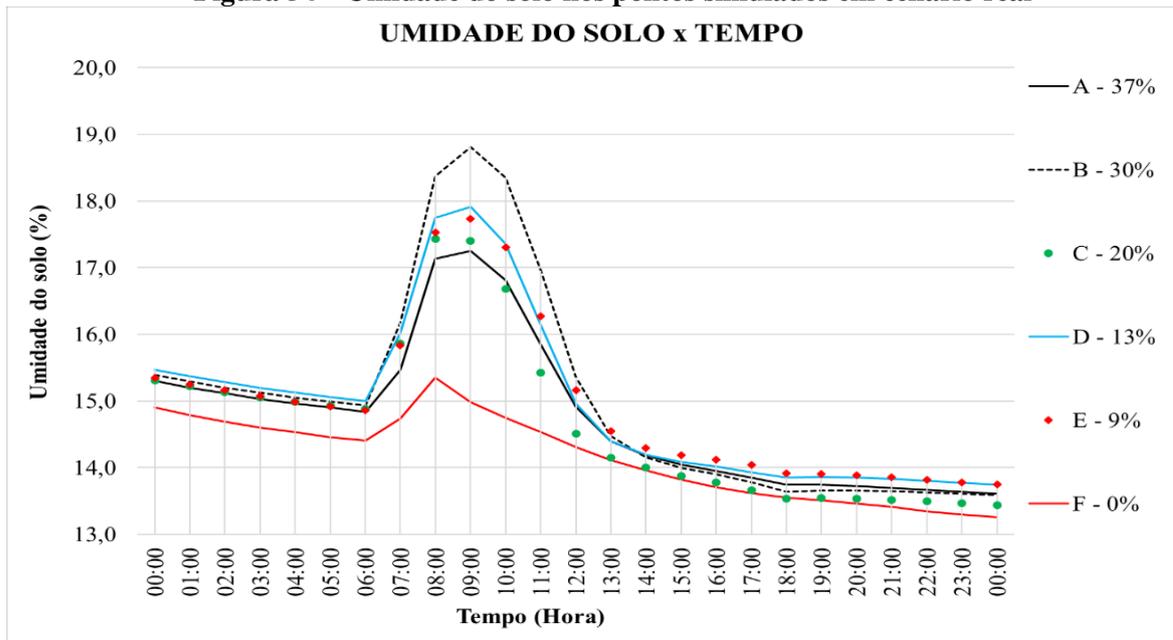
Fonte: Da autora (2018).

No horário entre as 10h e 16h, período de exposição da superfície à radiação solar, o ponto F (0% permeável – cimentado) apresentou os menores valores da temperatura de superfície que pode ser explicado pelo albedo elevado da superfície impermeável cimentada (cor clara) que permite a maior reflexão da radiação solar e devido à perda de calor do revestimento cimentício para a atmosfera por convecção (OKE, 2002), podendo favorecer para o aumento da temperatura do ar nesse ponto. Os pontos com vegetação apresentaram maiores valores de TS no mesmo período. Isso pode ser explicado pela absorção da radiação solar pela vegetação, aumentando a temperatura da superfície das folhas. Às 13h, a temperatura de superfície registrada no ponto F (0% permeável – cimentado) foi 42,2°C, enquanto no ponto B (30% permeável – grama), observou-se o valor de 49,2°C, sendo esta, a maior temperatura de superfície registrada entre os pontos nesse horário. A diferença entre esses valores foi de 7°C. Através da medição da amostragem em tempo real, onde foi verificada uma diferença de 2°C da TS, às 10h, entre a área revestida com placa cimentícia (36°C) e a área gramada (38°C).

Das 17h até às 8h, o ponto F (0% permeável – cimentado) apresentou os maiores valores de temperatura da superfície, enquanto os pontos localizados nas áreas com vegetação apresentaram valores mais baixos. Durante o dia, a superfície aquecida gera fluxo de calor em direção a camadas mais profundas do solo. À noite, o resfriamento da superfície, por emissão de radiação (onda longa), inverte o sentido do fluxo, passando a ser do interior do solo para a superfície (OKE, 2002).

A umidade do solo ao longo do dia nos pontos simulados em cenário real é demonstrada na Figura 54.

Figura 54 – Umidade do solo nos pontos simulados em cenário real



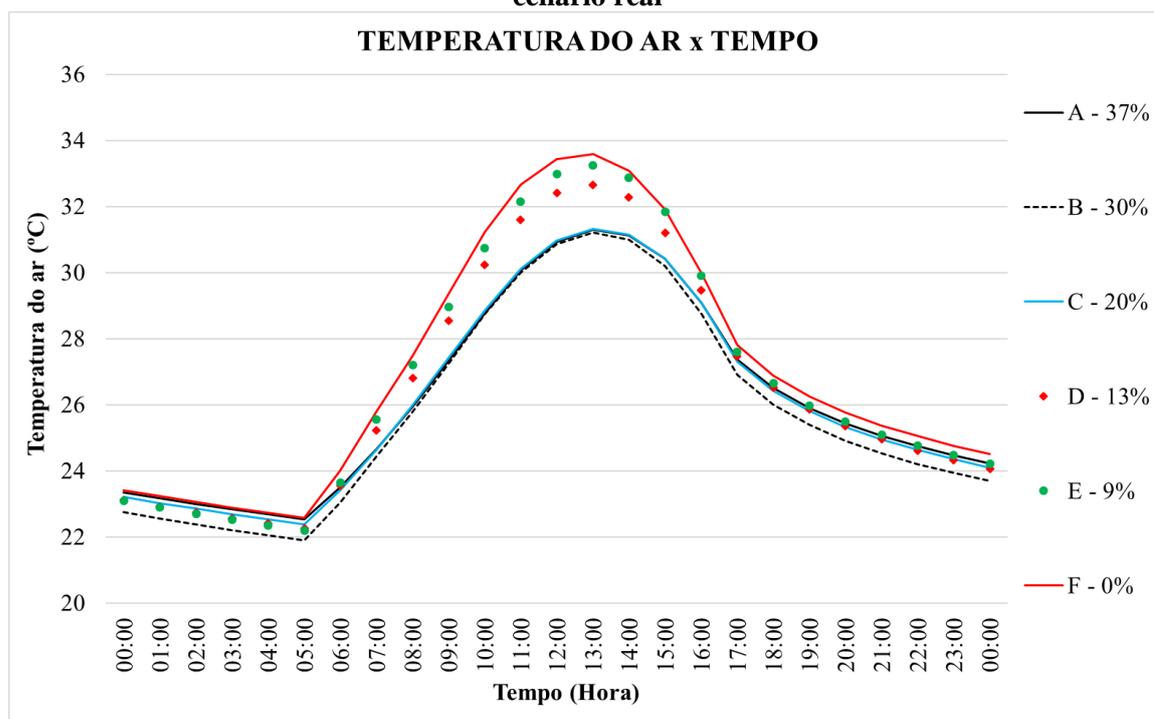
Fonte: Da autora (2018).

Durante todo o dia, o ponto F (0% permeável – cimentado) apresentou os menores valores de umidade do solo, sendo o valor máximo registrado nesse ponto de 15,4% às 8h e o mínimo de 13,3% às 24h. A baixa umidade do solo nesse ponto é justificada pelo tipo do material que reveste a superfície, sendo este um revestimento cimentício que impermeabiliza a área. Portanto, a água que é depositada nessa superfície evapora rapidamente ou escoava para outras áreas.

O maior valor de umidade de solo, 18,4%, foi encontrado no ponto B (30% permeável – gramado) às 9h, exibindo neste mesmo horário uma diferença de 3,8% de umidade do solo em relação ao ponto F (0% permeável – cimentado). Quanto menos umidade existir no revestimento do solo, maior será a reflectividade da radiação incidente na superfície.

O gráfico da Figura 55 demonstra a variação dos valores da temperatura do ar nos pontos estudados ao longo do dia.

Figura 55 – Temperatura do ar nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real



Fonte: Da autora (2018).

No período diurno, os maiores valores da temperatura do ar foram registrados às 13h. Verificou-se que o ponto com menor valor de temperatura do ar foi o ponto B (30% permeável – gramado), com $T_{ar} = 31,2^{\circ}\text{C}$ às 13h. Além do ponto B, os pontos A (37% permeável – gramado) e C (20% permeável – gramado) apresentaram valores baixos de Temperatura do ar nesse horário devido ao aproveitamento da radiação solar pela vegetação para o desenvolvimento de suas funções vitais (ZHANG *et al.*, 2014) e o aumento da umidade relativa do ar através da evapotranspiração, influenciando na redução da temperatura do ar. Os pontos A e C estão localizados em lotes onde toda área permeável revestida com vegetação gramínea está presente no recuo frontal do lote, enquanto no ponto A os 37% de área permeável gramada estão distribuídos nos quatro recuos em volta da edificação.

No horário das 13h, o ponto F (0% permeável – cimentado) apresentou o maior valor da temperatura do ar, $T_{ar} = 33,6^{\circ}\text{C}$. Isso pode ser explicado pela transmissão de calor do revestimento impermeável para o ar através das trocas térmicas e por causa da baixa umidade do solo, que colaborou para o incremento da temperatura do ar nesse ponto. Entre os pontos B (30% permeável – gramado) e F (0% permeável – cimentado), verificou-se uma diferença de $2,4^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, às 13h. Através da medição da amostragem em tempo real foi

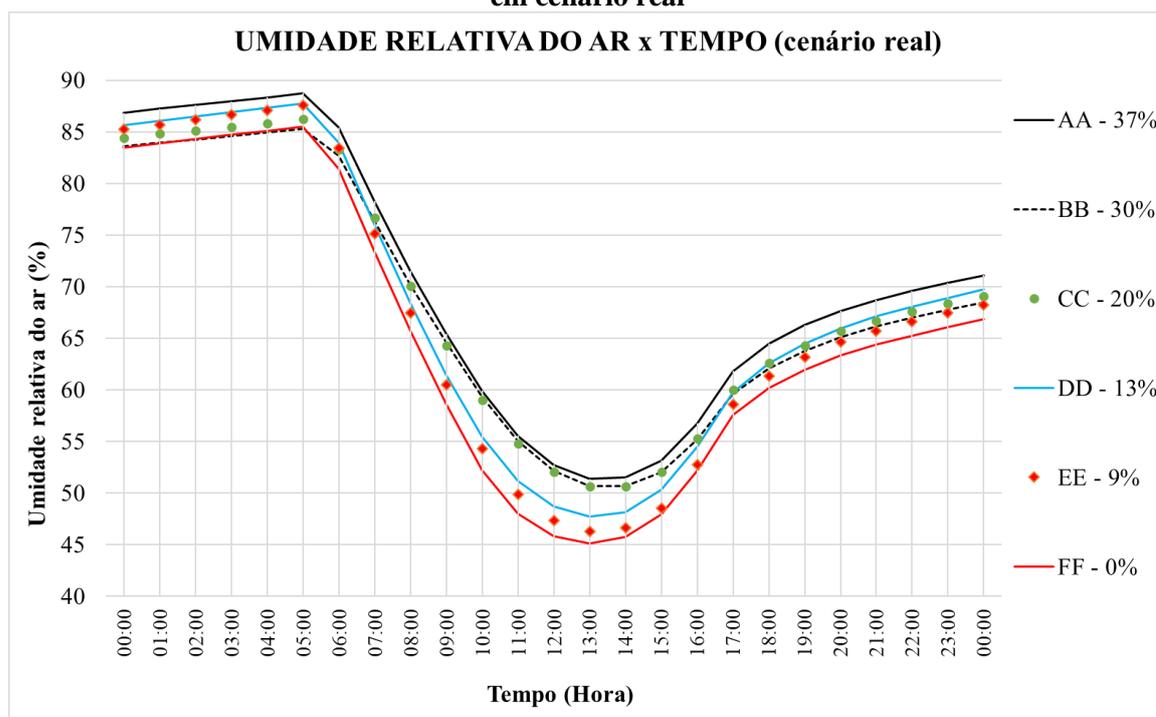
verificada uma diferença de 3°C da Temperatura do ar, às 10h, entre a área revestida com placa cimentícia (31,5°C) e a área gramada (28,5°C), o que corrobora com os resultados encontrados nas simulações.

Ao longo do dia foi observada uma amplitude térmica de 10,5°C no ponto F (0% permeável – cimentado), com o valor mínimo registrado às 05 horas e o valor máximo às 13 horas. O ponto A (37% permeável – gramado) apresentou a menor amplitude térmica (8,8°C), com as temperaturas do ar mais elevadas no período noturno e mais baixas no período diurno. A área gramada pode auxiliar na variação das temperaturas do ar ao longo do dia, absorvendo a radiação solar incidente no período diurno e trocando calor com o ar no período noturno.

No período noturno, as temperaturas do ar nos pontos estudados variaram entre 23,7°C (F - 0% permeável – cimentado) e 22,4°C (B - 30% permeável – grama), apresentando uma diferença máxima de 1,3°C entre estes pontos.

O gráfico da Figura 56 demonstrou a variação dos valores da umidade relativa do ar nos pontos estudados ao longo do dia.

Figura 56 – Umidade relativa do ar nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real



Fonte: Da autora (2018).

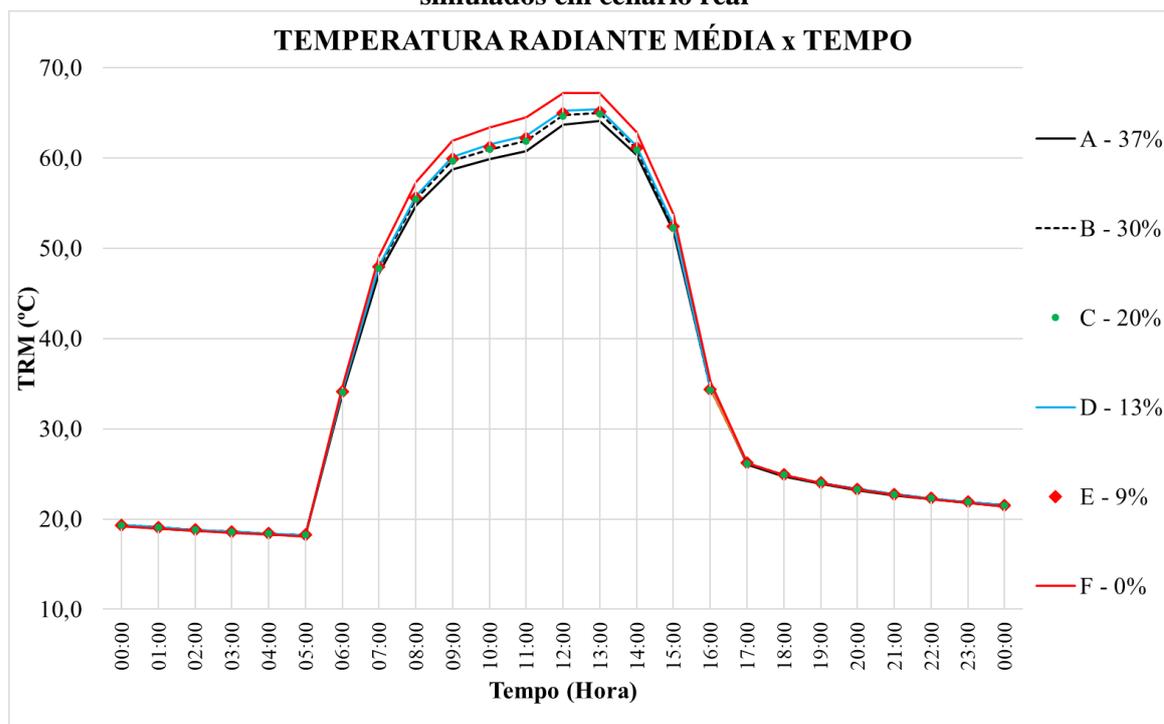
No período diurno, entre 5h e 18h, os menores valores de umidade relativa do ar aconteceram às 13h, com menor valor no ponto F (0% permeável – cimentado) de 45% e o maior valor no ponto A (37% permeável – gramado) de 52,1%, com uma diferença de 7,1%.

Os maiores valores de umidade relativa do ar aconteceram às 05h, principalmente no ponto A (37% permeável – gramado), com 87% de URA. Nesse mesmo horário, o ponto F (0% permeável – cimentado) apresentou menor umidade relativa do ar (85,3%). A diferença entre a URA nos dois pontos foi de 1,7%.

Ao longo do dia, os pontos localizados em áreas revestidas com vegetação gramínea apresentaram maiores valores de umidade relativa do ar, enquanto o ponto localizado na área revestida com revestimento cimentício apresentou os menores valores de URA. A vegetação contribui para o aumento da umidade do ar através do processo de evapotranspiração. O aumento da umidade do ar contribui para reduzir a amplitude térmica. Isso acontece por causa do calor específico da água que é responsável por conservar o calor por mais tempo.

O gráfico da Figura 57 apresenta a variação das temperaturas radiantes médias nos pontos ao longo do dia.

Figura 57 – Temperatura radiante média nos pontos, obtida a 1,5m de altura do solo, simulados em cenário real



Fonte: Da autora (2018).

Foi observado que, às 13h, a temperatura radiante média apresentou os valores mais elevados em todos os pontos, principalmente no ponto F (0% permeável – cimentado) com 67,2°C. Das 07h da manhã até às 15h da tarde o ponto F apresentou maiores valores de TRM. Isso pode ser explicado devido à capacidade térmica mais elevada e baixa umidade do revestimento cimentício, produzindo calor e emitindo-o para ar atmosférico (LOMBARDO, 1985).

Às 13h, o menor valor de TRM foi detectado no ponto A (37% permeável – gramado) com 64,1°C. A radiação absorvida pela vegetação é em grande parte utilizada nas suas funções vitais, sendo menor a radiação emitida.

No período noturno, entre 18h e 05h, os valores das temperaturas radiantes médias em todos os pontos foram baixos e com resultados semelhantes, devido à ausência da radiação solar. Os menores valores de TRM foram encontrados às 5h, cujos resultados variaram entre 18,1°C (pontos D e F) e 18,2°C (pontos A, B, C e E).

Verificou-se, portanto, que os pontos localizados nas áreas com maior percentual de área permeável revestida com vegetação gramínea obtiveram menores valores de temperatura radiante média e maiores valores de umidade do solo e umidade relativa do ar, o que contribui para redução dos valores da temperatura do ar nessas áreas.

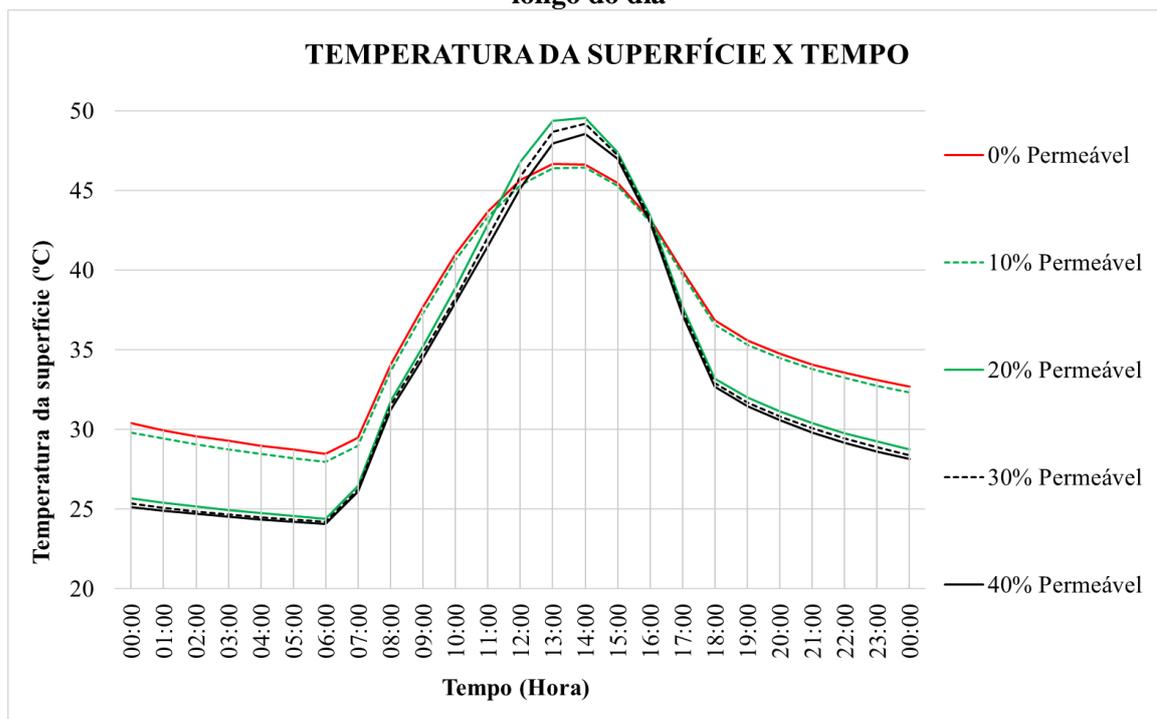
Os maiores valores das temperaturas da superfície nas áreas vegetadas são explicados pelo aquecimento da folhagem que intercepta a radiação incidente e bloqueia parte da radiação de atingir o solo adjacente à vegetação. Com isso, o solo apresenta menor temperatura e maior umidade, contribuindo para a diminuição da temperatura do ar, como constatado nos resultados das simulações e medições.

4.3.2 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES REFERENTES AOS CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

No cenário real, a maioria dos lotes (68%) apresentaram pouca ou nenhuma área permeável. Diante disso, foram elaborados cinco cenários hipotéticos (0%, 10%, 20%, 30% e 40% de revestimento permeável – gramado), onde foram observadas as variáveis do solo: temperatura da superfície e umidade do solo, e as variáveis atmosféricas: temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média.

Os dados referentes às temperaturas das superfícies estão indicados no gráfico da Figura 58.

Figura 58 – Temperatura da superfície (°C) nos cinco cenários hipotéticos simulados ao longo do dia



Fonte: Da autora (2018).

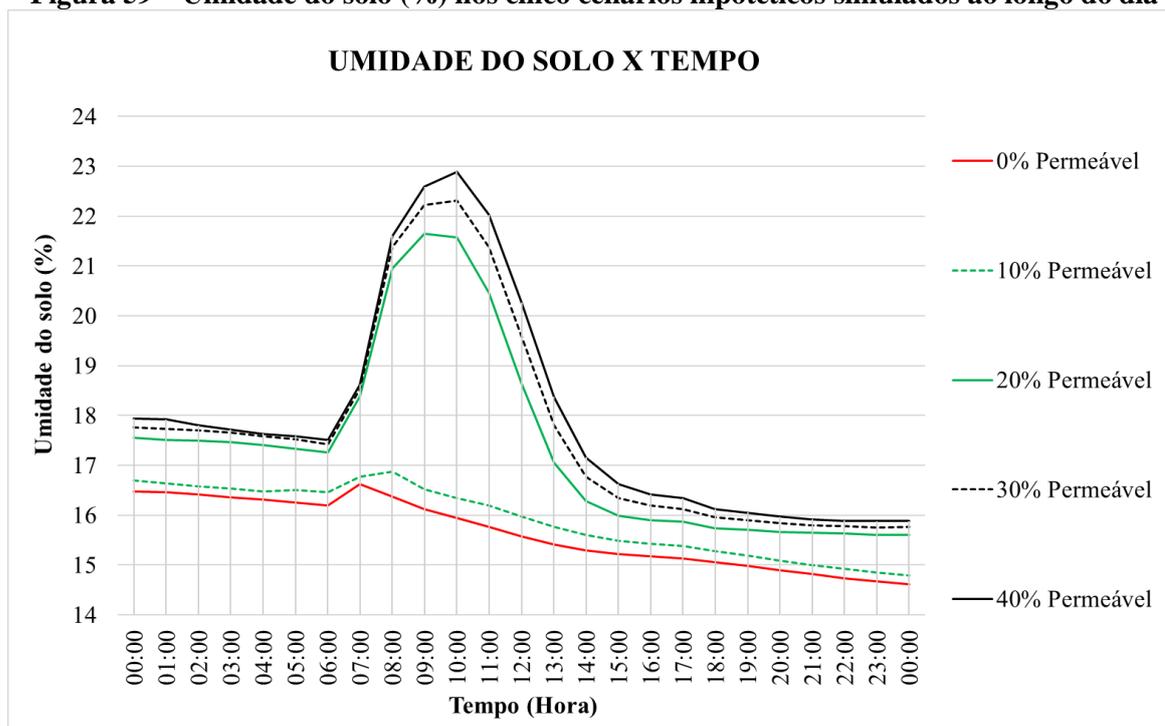
Ao longo do dia, as temperaturas das superfícies variaram entre 49,5°C (cenário 20% permeável – gramado, às 14h) e 24,1°C (cenário 40% permeável – gramado, às 06h), com uma diferença de 25,4°C entre estes pontos.

Às 06h da manhã foi encontrada uma diferença de 4,4°C, entre os pontos localizados nos cenários 40% permeável – gramado (24,1°C) e 0% permeável – cimentado (28,5°C) e às 18h, uma diferença de 4,2°C entre os mesmos pontos.

Foi observado, que no horário entre às 12h e 17h, os cenários com maior percentual de área permeável gramada (40%, 30% e 20%) apresentam maiores valores da temperatura da superfície. Nas outras horas do dia, principalmente no período noturno, os cenários com 0% de área permeável (cimentada) e 10% de área permeável (gramada) apresentam valores mais elevados.

A diferença entre os valores da umidade do solo, para os cinco cenários, está demonstrada no gráfico da Figura 59.

Figura 59 – Umidade do solo (%) nos cinco cenários hipotéticos simulados ao longo do dia

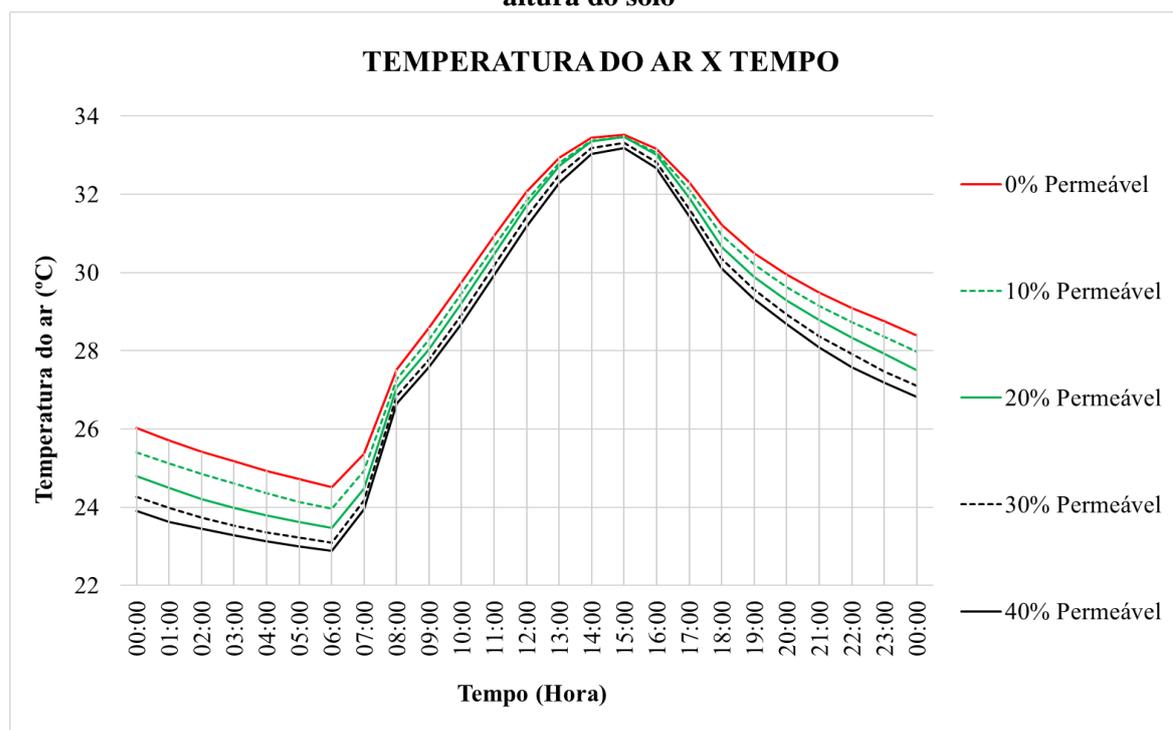


Fonte: Da autora (2018).

As umidades dos solos variaram entre 22,9% (cenário 40% permeável – gramado, às 10h) e 14,6% (cenário 0% permeável – cimentado, à meia noite), com uma diferença de 8,3%. Quanto menor o percentual de área permeável no cenário (0% permeável – cimentado e 10% permeável – gramado) mais baixos foram os valores encontrados referente à umidade do solo, principalmente nos horários entre 06h e 14h. As áreas com 20%, 30% e 40% permeável – gramado apresentaram um aumento na umidade do solo das 06h às 10h e uma redução da mesma entre 10h e 14h. Após o aquecimento da superfície nas primeiras horas de incidência da radiação solar, parte do calor acumulado na superfície vegetal é evaporado com o aproveitamento da água existente no solo e no interior da planta, reduzindo assim a umidade do solo (STEWART, OKE, 2012).

O gráfico da Figura 60 mostra os valores de temperatura do ar ao longo do dia, das áreas estudadas com diferentes percentuais de área permeável.

Figura 60 – Temperatura do ar nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo

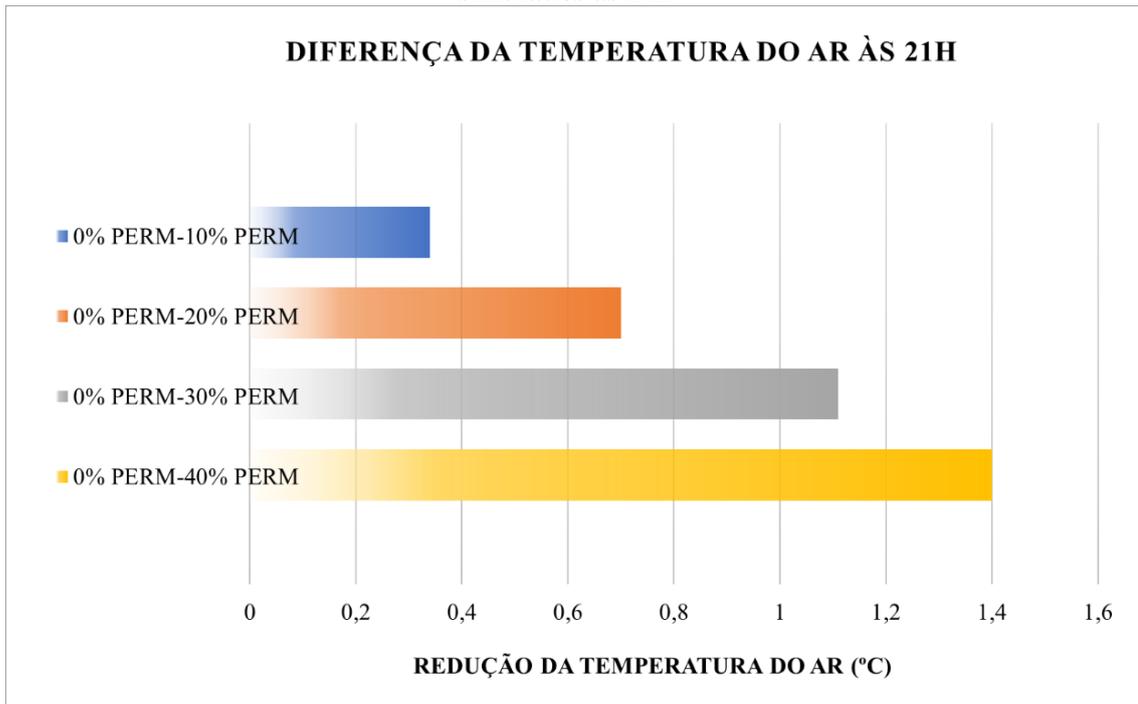


Fonte: Da autora (2018).

Nos cinco cenários, às 15h, foram registrados os maiores valores de temperatura do ar e às 6h, os menores. Ao longo do dia, os menores valores da temperatura do ar aconteceram no cenário com 40% de área permeável (gramado) e os maiores foram registrados no cenário com 0% de área permeável (cimentado). A maior amplitude térmica encontrada foi de 10,3°C, no cenário 40% permeável – gramado, que apresentou a temperatura máxima do ar de 33,2°C e a mínima de 22,9°C.

No período diurno, principalmente às 15h, verificou-se que os valores das temperaturas do ar dos cenários apresentaram pequena variação entre eles (máximo de 0,3°C); entretanto, no período noturno, essa variação foi evidenciada com uma diferença de 1,4°C às 21h, entre os cenários 40% permeável – gramado (29,5°C) e 0% permeável – cimentado (28,1°C) (Figura 61). A redução da temperatura do ar no período noturno pode contribuir para que não haja formação de ilha de calor urbano, além de favorecer ao conforto térmico humano.

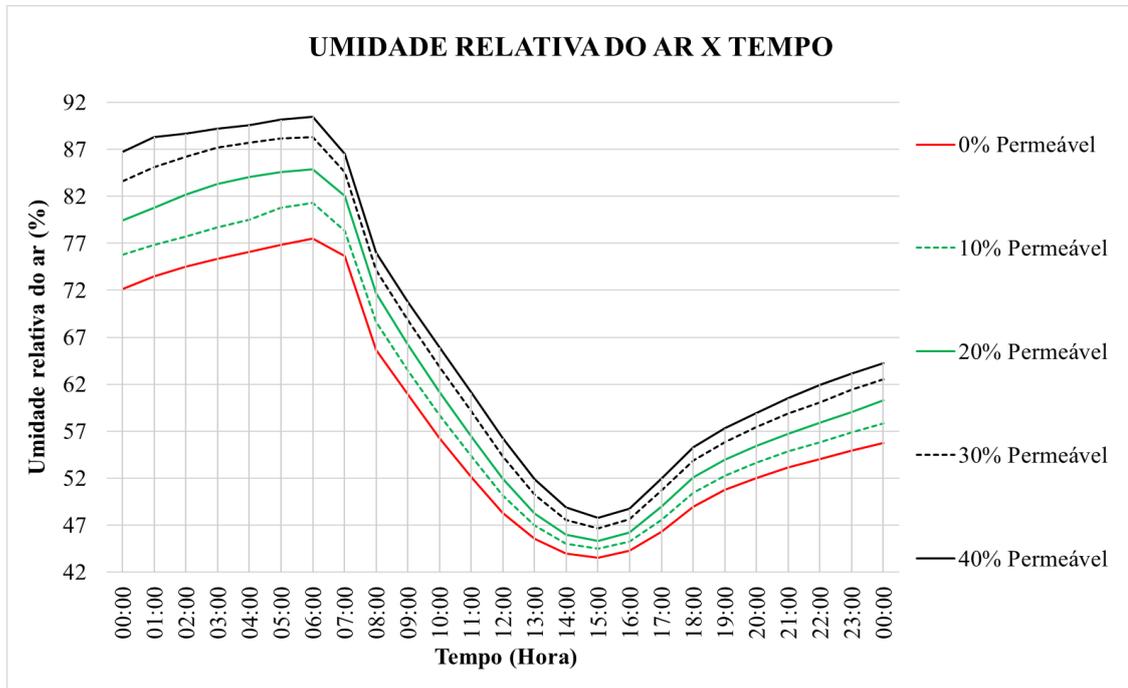
Figura 61 – Diferença da temperatura do ar (°C) entre os cenários hipotéticos simulados às 21h



Fonte: Da autora (2018).

O gráfico da Figura 62 mostra a diferença da umidade relativa do ar nos cinco cenários estudados.

Figura 62 – URA (%) nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo

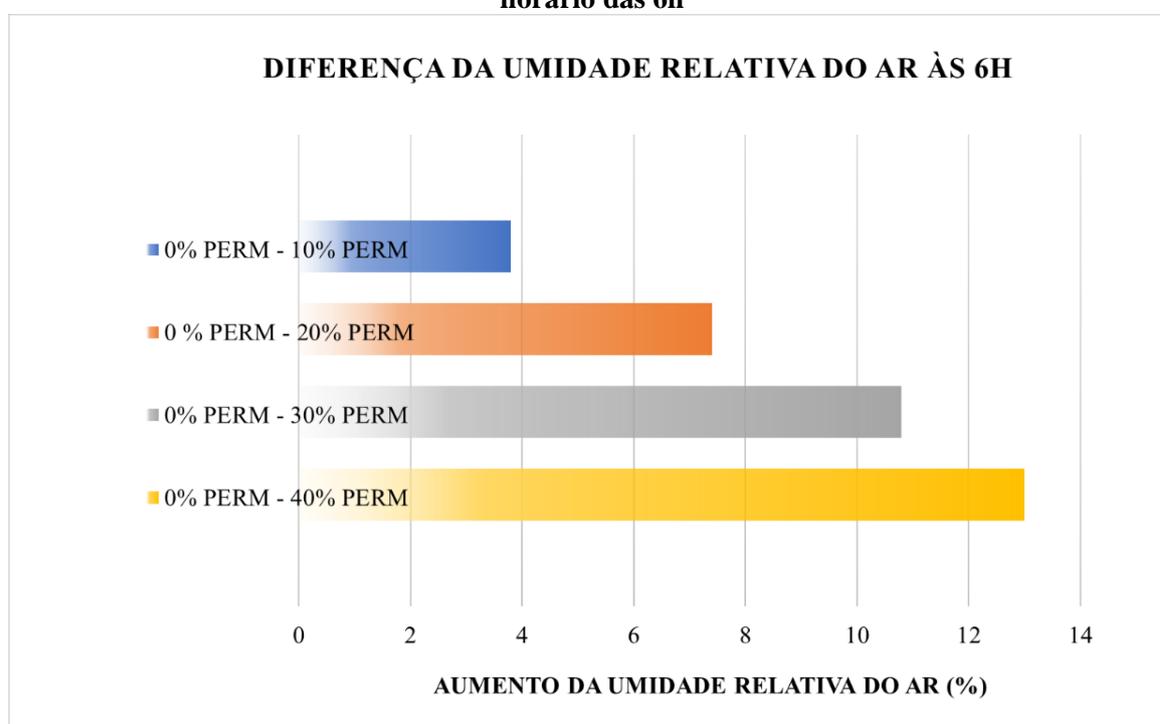


Fonte: Da autora (2018).

A umidade relativa do ar apresentou os menores valores no período diurno e os maiores no período noturno. No período diurno, devido à influência da radiação solar incidente, as temperaturas das superfícies aumentam, contribuindo para o aumento da temperatura do ar através das trocas térmicas e a redução da umidade relativa do ar. No período noturno, sem a interferência da radiação solar, a umidade relativa do ar volta a subir. O maior valor de umidade relativa do ar encontrado foi 90,5% no cenário 40% permeável – gramado, no horário das 6h, e o menor valor obtido foi de 43,6% no cenário 0% permeável – cimentado, no horário das 15h, apresentando uma diferença de 46,9%.

O aumento do percentual da área revestida com vegetação gramínea nos cenários hipotéticos acarretou no aumento da umidade relativa do ar nos mesmos (Figura 63), principalmente às 6h da manhã, face a evapotranspiração presente neste tipo de revestimento.

Figura 63 – Diferença da umidade relativa do ar (%) entre os cenários simulados no horário das 6h



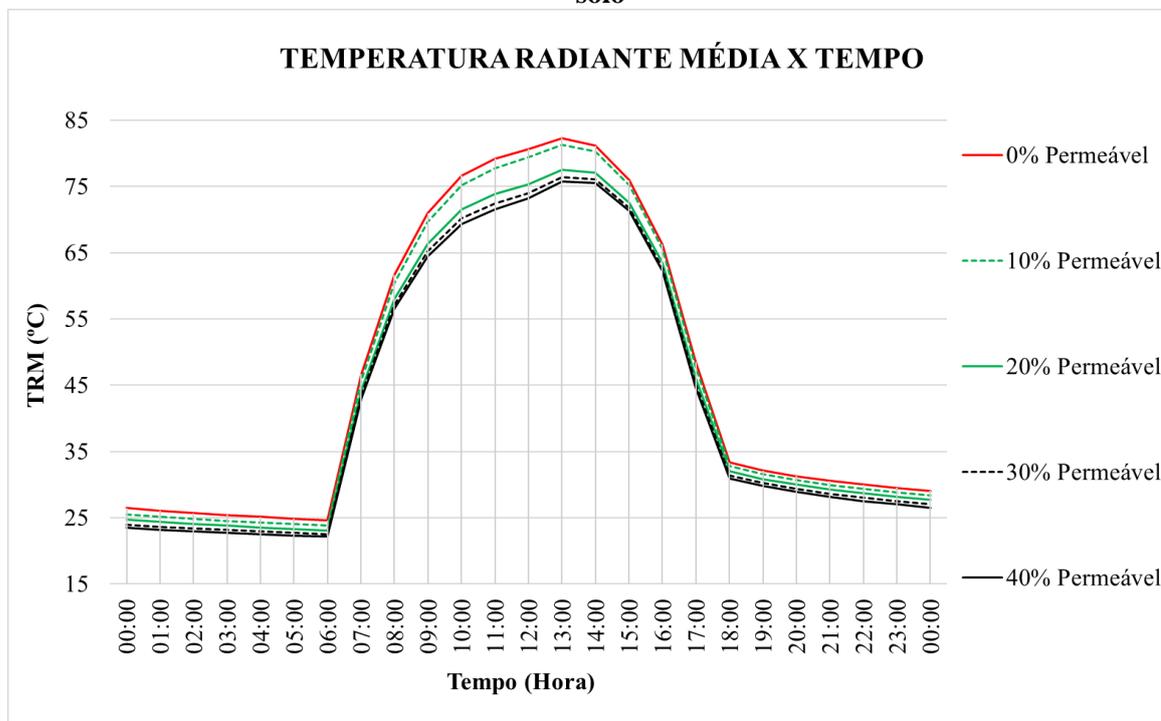
Fonte: Da autora (2018).

Às 6h foi observada uma diferença de 13% entre os cenários 40% permeável – gramado (90,5%) e 0% permeável – cimentado (77,5%). A partir das 6h, os valores da umidade relativa do ar foram diminuindo, voltando a subir a partir das 15h. A umidade do ar interfere na amplitude térmica em uma relação inversa, isto é, quanto maior for a umidade do ar, menor será

a amplitude térmica, devido ao calor específico da água que conserva as temperaturas por mais tempo.

Os valores da temperatura radiante média para os cinco cenários hipotéticos estudados variaram segundo a Figura 64.

Figura 64 – TRM (°C) nos cinco cenários hipotéticos simulados, obtida a 1,5m de altura do solo



Fonte: Da autora (2018).

Os maiores valores das temperaturas radiante média foram encontrados no horário das 13h em todos os cenários e os menores no horário das 6h. O maior valor de TRM observado foi 82,3°C no ponto localizado no cenário 0% permeável – cimentado, às 13h e o menor foi de 22,1°C no cenário 40% permeável – gramado, às 6h.

Foi verificado, que no período de maior exposição da superfície à radiação solar, principalmente entre 8h e 16h, os valores da TRM nos cenários 0% permeável – cimentado e 10% permeável – gramado estavam próximos, distanciando-se dos valores encontrados nos cenários acima de 20% de área permeável.

A maior diferença encontrada foi de 7,7°C, às 11h, entre o cenário 40% permeável – gramado (71,5°C) e o cenário 0% permeável – cimentado (79,2°C).

Neste contexto, os cenários com menor ou nenhum percentual de área gramada (cenários 0% permeável – cimentado e 10% permeável – gramado) apresentaram resultados das variáveis

atmosféricas e do solo que contribuem para o incremento da temperatura do ar, como, por exemplo, os valores elevados das temperaturas radiante média, no período diurno, e das temperaturas da superfície, principalmente à noite, além da baixa umidade da superfície, podendo facilitar a formação de ilhas de calor e contribuir para o desconforto térmico humano ao longo do dia.

4.4 Síntese dos resultados das simulações

Os resultados referentes às simulações computacionais mostraram que o percentual de área revestida com solo permeável pode interferir na temperatura do ar de um determinado local, visto que o aumento desse percentual proporcionou uma redução no valor da temperatura do ar nos pontos estudados. Portanto, torna-se relevante a determinação de uma taxa de permeabilidade mínima para qualquer tamanho de lote.

A distribuição sequenciada de espaços vegetados atua de forma direta e positiva no microclima local. Entretanto, outros fatores devem ser levados em consideração, como os materiais que compõem o entorno edificado; os tipos de revestimentos empregados no solo, entre outras variáveis.

Das áreas permeáveis estudadas na simulação em cenário real, as áreas revestidas com vegetação apresentaram menores valores de temperatura do ar, principalmente nos pontos localizados nos lotes que possuíam 37% (ponto A) e 30% (ponto B) de área intralote gramada. Nessas áreas, os valores elevados da umidade relativa do ar e os valores reduzidos da temperatura radiante média favoreceram ao resultado da temperatura do ar com valores mais baixos. A umidade contribui para a conservação da temperatura por mais tempo, devido ao calor específico da água. O aproveitamento da radiação solar incidente na vegetação para suas funções vitais reduz a temperatura radiante média na superfície, possibilitando menor troca de calor com o ar. Além disso, a interceptação da radiação solar pela vegetação gramínea reduz o impacto gerado pela radiação no solo adjacente à vegetação.

A elevação das temperaturas do ar e da superfície de áreas impermeáveis no período noturno, associadas a outros fatores, como a redução da velocidade do vento em áreas adensadas são suscetíveis à formação de ilhas de calor urbanas (VYSOUDIL, 2015). A utilização de novas tecnologias que visam aumentar o albedo das cidades pode trazer resultados promissores para mitigação deste fenômeno (SANTAMOURIS, 2014). Entretanto, a reflexão da radiação solar para outras superfície pode trazer consequência como ofuscamento para os transeuntes no meio

urbano e o incremento da temperatura do ar interno das edificações, devido ao aumento da carga térmica do edifício. Portanto, o uso da vegetação na superfície do solo, além de reduzir a perda de calor por radiação e condução (menor valor da temperatura radiante média), reduz a reflexão da radiação solar (baixo albedo) para outras superfícies próximas. Com isso, a vegetação pode contribuir para o controle do calor urbano intralote, proporcionando menor temperatura do ar e melhores condições termo-ambientais nesses espaços.

As áreas com revestimento de solo exposto, mesmo sendo consideradas permeáveis, podem contribuir para o incremento do calor urbano, pois a compactação do solo dificulta a absorção da água pela superfície e favorece o aumento da sua temperatura. Diante disso, confirma-se a importância do incentivo do uso de vegetação urbana em áreas não edificadas de solo exposto, podendo contribuir com a qualidade térmica dos espaços urbanos. Além disso, os espaços gramados possibilitam a associação de outros elementos vegetados como arbustos e árvores.

Os resultados obtidos mostraram que o percentual de área permeável do solo intralote colaborou com a redução da temperatura do ar nos espaços estudados, principalmente no período noturno. As simulações nos cenários hipotéticos, mostraram uma diferença de $1,4^{\circ}\text{C}$ da temperatura do ar às 21h entre os pontos com 0% de área permeável (cimentado), $T_{\text{ar}} = 29,5^{\circ}\text{C}$, e 40% de área permeável (gramado), $T_{\text{ar}} = 28,1^{\circ}\text{C}$. A isenção da taxa de permeabilidade para lotes com até 1200 m^2 pode contribuir para o aumento da impermeabilização do solo urbano, gerando uma redução na umidade do solo e um aumento das temperaturas do solo e radiante média, que irão influenciar no valor da temperatura do ar nessas áreas. Para o planejamento urbano, além do percentual de solo permeável, definido pela taxa de permeabilidade, os demais parâmetros da ocupação do solo urbano devem ser igualmente verificados e estar contemplados nas normas em vigência, como os recuos e taxa de ocupação do lote.

5 CONCLUSÕES

O objetivo geral desta tese foi estabelecer a relação entre o percentual de permeabilidade do solo e o microclima de espaços intralotes de uma fração urbana na cidade de Maceió-AL. Para isso, buscou-se compreender como o revestimento permeável do solo urbano interfere no microclima. Foi observado que a sua influência no microclima depende das propriedades térmicas dos revestimentos permeáveis quanto à reflexão e absorção da radiação solar e à emissão de calor através das trocas térmicas. A capacidade de retenção de água pelos revestimentos permeáveis contribui para a troca de calor latente.

Dos revestimentos permeáveis naturais encontrados no solo urbano da cidade de Maceió-AL, os tipos de solo arenoso (exposto) e revestido com vegetação rasteira (gramínea) foram utilizados em uma análise comparativa com o asfalto e piso cimentício, que são revestimentos impermeáveis bastante encontrados nas áreas urbanas. Foi verificado o comportamento das variáveis temperaturas de superfície e o albedo de superfície em áreas localizadas no Condomínio Jardim do Horto I revestidas com esses materiais (arenoso, vegetado, cimentado e asfaltado), com a utilização de imagens do satélite Landsat-8 e o programa Qgis®. Observou-se que, com exceção da área revestida com vegetação, nas demais o aumento do albedo influenciou na redução da temperatura de superfície. Nas áreas vegetadas foram encontrados os menores valores de albedo (entre 9,8% e 13,3%) e da temperatura de superfície (entre 26,4°C e 29,1°C) em comparação com as outras áreas. Comprovou-se que as áreas vegetadas, além de reduzirem a reflexão da radiação incidente, contribui para menores valores da temperatura do solo abaixo da vegetação e, conseqüentemente da temperatura do ar, pela utilização de parte da radiação solar interceptada para o desenvolvimento de suas funções vitais. Por esse motivo, o solo revestido com vegetação, como a gramínea por exemplo, deve ter sua aplicação incentivada nas leis de uso e ocupação do solo nas áreas destinadas a possuir solo permeável.

Na identificação dos parâmetros referentes à permeabilidade do solo em instrumentos do planejamento urbano de diferentes cidades, verificou-se que a definição das áreas destinadas para uso de revestimentos permeáveis nos espaços intralotes depende da aplicação da taxa de permeabilidade. Esse parâmetro urbanístico apresentou variação quanto aos valores de referência, sendo a taxa de 20% a mais recorrente nos códigos de obras dos municípios brasileiros. Apesar de estar presente nos instrumentos urbanísticos de vários Estados do Brasil, a diversidade de nomenclaturas e dos cálculos pode contribuir para a desvalorização do

emprego desse parâmetro, que é um importante elemento para o controle da impermeabilização urbana, para o condicionamento térmico dos espaços e para a drenagem do solo urbano. Isso é evidenciado no Código de Urbanismo e Edificações de Maceió-AL (MACEIÓ, 2007), que permite a impermeabilização de grande parte da cidade, pois emprega a isenção da taxa de permeabilidade para lotes com área inferior a 1.200m². Além disso, a fiscalização da aplicação da taxa de permeabilidade, a conscientização da população urbana e estratégias compensatórias referentes às áreas impermeabilizadas são questões relevantes e devem fazer parte do planejamento das cidades. A existência de áreas permeáveis intralotes não pode substituir a construção e manutenção de equipamentos urbanos como praças e parques, além das áreas de preservação ambiental, devido às várias funções que desempenham e sua relevância como elemento drenante para a cidade.

Visto que a taxa de permeabilidade é um importante instrumento de controle da impermeabilização urbana, buscou-se averiguar o comportamento das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média, temperatura da superfície, albedo de superfície e umidade do solo em áreas com diferentes percentuais de permeabilidade intralotes, através de simulação computacional com a utilização do programa ENVI-met® (BRUSE, 2015). Foram utilizados os revestimentos de vegetação gramínea. Os resultados das simulações mostraram que os lotes com 0 % e 10% de área permeável apresentaram os maiores valores de temperatura radiante média e temperatura de superfície e baixa umidade do solo, em comparação com os demais pontos simulados ao longo do dia. Nos lotes simulados com a taxa de permeabilidade de 20%, em comparação aos lotes com 10% de área permeável, foram encontradas as maiores diferenças entre os valores das variáveis climáticas estudadas, sendo, portanto, sugerida como taxa de permeabilidade mínima para lotes com até 1200 m². No Código de Urbanismo e Edificações de Maceió-AL (MACEIÓ, 2007) o maior percentual da taxa de permeabilidade encontrado foi de 15% para lotes com área superior a 2400 m², o que mostra a ineficiência da taxa de permeabilidade atual e a necessidade de revisão desse parâmetro urbanístico.

Dessa forma, a hipótese norteadora deste trabalho, que consistiu em afirmar que o aumento do percentual de solo permeável em áreas intralotes contribui na redução da temperatura do ar nesses espaços, foi confirmada.

É importante salientar que as modificações apresentadas na segunda simulação (cenário hipotético) foram de um único tipo de revestimento permeável do solo (vegetação gramínea), o que possibilita outros desdobramentos para a presente investigação, como a utilização de solo

arenoso, por exemplo, de forma a analisar a relação do percentual de área permeável revestida com outros materiais, visando a qualidade térmica dos espaços urbanos.

As imagens de satélite associadas ao programa Qgis® (QGIS Development Team, 2017) foram ferramentas importantes para estimativa do albedo da superfície e da temperatura da superfície, permitindo, assim, identificar as áreas com altos e baixos valores dessas variáveis. Entretanto, sabe-se que informações obtidas correspondem ao horário de passagem do satélite, podendo sofrer variações ao longo do dia e do ano. Considera-se, portanto, uma limitação do presente trabalho a impossibilidade de estimar as variáveis ao longo do ano, pois as imagens utilizadas devem ser de um dia claro e sem nuvens, e a presença de nuvens é muito frequente na cidade de Maceió-AL. Particularmente nos últimos anos, Maceió-AL apresentou períodos de instabilidade climática, com a presença de chuvas intensas e nuvens ao longo do ano, dificultando também o uso de alguns dados extraídos da Estação Meteorológica Davis PRO2, sendo necessário o descarte dos mesmos.

O programa computacional ENVI-met® mostrou-se relevante enquanto ferramenta de simulação, possibilitando modificações nos cenários para melhor desenvolvimento das análises. O programa utiliza cálculos avançados, baseados nas principais equações do balanço de energia para áreas urbanas, proporcionando resultados quanto aos dados da atmosfera e do solo na área de estudo. Com isso, foi possível a análise da relação dos diferentes percentuais de área permeável com as variáveis ambientais e do solo, encontrando-se resultados coerentes e concisos.

Diante do que foi exposto, enfatiza-se aqui a importância de pesquisas que fomentem discussões sobre a qualidade térmica dos espaços intralotes, tendo em visto o planejamento das cidades. Esses estudos podem auxiliar na elaboração de projetos urbanísticos adequados ao clima da região, almejando melhores condições de uso e ocupação do solo urbano, além do condicionamento térmico para seus habitantes.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 9781. **Peças de concreto para pavimentação**. 1987. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/127070126/120738260-NBR-9781-1987>. Acesso em: 22 jul. 2016.
- ABNT. NBR 6502. **Rochas e solos**. 1995. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/30915157/NBR-06502-1995-Rochas-e-Solos>. Acesso em: 5 out. 2017.
- ABREU, Loyde Vieira de. **Contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: o caso de campinas**. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade). 2012. 135f.
- AHERN, Jack; CILLIERS, Sarel; NIEMELÄ, Jari. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 254-259, 2014.
- AKBARI, Hashem; MENON, Surabi; ROSENFELD, Arthur. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v. 95, 2009.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M., TREZZA, R. SEBAL - **Surface Energy Balance Algorithms for Land**. Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- ALUCCI, Marcia Peinado; SAWAYA, Sylvio de Barros. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica**. São Paulo: USP, 1993.
- ALVES, Elias D. L.; VECCHIA, Francisco A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**. Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.
- ALVES, L. E. R.; FREITAS, I. G. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; SANTOS, M. N. Using Landsat-8 images in the estimative of surface radiation balance. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, n. 2, p. 91-100, 2017.
- ALMEIDA, Eveline M. de A.; BARBIRATO, Gianna M. A morfologia urbana como determinante de variações climáticas locais: estudo comparativo das orlas marítima e lagunar de Maceió-AL. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais**. São Paulo, 2004.
- AMS. American Meteorological Society. **Glossary of Meteorology**. 2019. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/glossary-of-meteorology/>. Acesso em: mar. 2019.
- ANDRADE, Silvia; VIEIRA, Valmir; MORAIS, Heliene; ALBUQUERQUE, Erickson; SANTOS, Carlos. Estimativa de albedo, NDVI e temperatura de superfície no município de

Santarém-PA. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu, 2013.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

ARAÚJO, Tereza C. M. *et al.* Alagoas. In: MUEHE, Dieter (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

ARAÚJO; Taciana Lima; DI PACE, Frederico Tejo. Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió-AL, com base em imagens TM - Landsat 5. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, INPE, p. 3.717-3.724, 2007.

ASSIS, Eleonora S. de. Abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: VIII Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC / ELACAC 2005. **Anais**. Maceió, 2005.

BAHIA. Prefeitura Municipal de Salvador-BA. **Lei Nº 9.069/2016. Plano diretor desenvolvimento urbano do município de Salvador-BA**. Salvador, 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-salvador-ba>. Acesso em: 18 ago. 2016.

BARANDIER, Henrique; ALMEIDA, Maria Cristina T. S. de; MORAES, Ricardo. **Planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL, 2013.

BARBIRATO, Gianna M. Modelo de balanço de Energia aplicado ao caso da cidade de Maceió – AL, e suas implicações para o planejamento urbano. **Revista Fórum Patrimônio: ambiente construído e Patrimônio Sustentável**. Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 2010.

BARBIRATO, Gianna M. *et al.* Análise do clima urbano de Maceió-AL: comparações entre diversas escalas. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais**. Rio de Janeiro, p. 628-634, 2000.

BARBIRATO, Gianna Melo; MATTOS, Arthur. Microclimas Urbanos em Maceió. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, 1999. **Anais**. Fortaleza: ANTAC, 1999.

BARBIRATO, Gianna Melo *et al.* Diretrizes bioclimáticas para o planejamento urbano a partir da aplicação de metodologias de análise do clima local. **Engenharia Civil UM**, Braga, v. 40, p. 75-86, 2011.

BARBOSA, Ricardo. **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 2009.

BARBOSA, Ricardo; BARBIRATO, Gianna; VECCHIA, Francisco. Vegetação urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido. In: VII Encontro Nacional sobre

- Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações - ENCAC/COTEDI, 2003. Curitiba. **Anais**, 2003.
- BARBOSA, Ricardo V. R. *et al.* A influência da proximidade de massas d'água em ambiente climático urbano de Maceió-AL. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC. **Anais**. São Pedro, 2001.
- BARREIROS, Mário Antônio Ferreira; ABIKO, Alex Kenya. Reflexões sobre o Parcelamento do Solo Urbano. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, 1998.
- BARROS, C. P. G.; COSTA, S. B.; BARBOSA, R. V. R. Vegetação e microclima urbano: estudo de caso em ruas residenciais de bairros litorâneos em Maceió-Alagoas. In.: 7º Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável - PLURIS. **Anais**. Maceió, 2016.
- BARSI, J. A. *et al.* The spectral response of the Landsat-8 Operational Land Imager. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 10.232-10.251, 2014.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Lei Nº 7.166, de 27 de agosto de 1996. Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo - LPOUS**. Minas Gerais, 1996.
- BEZERRA, M. V. C. **Uso de imagens de satélite na determinação do coeficiente de cultivo, da evapotranspiração real e da produtividade de água na cultura do algodoeiro irrigado**. Tese (Doutorado em Meteorologia). Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. 2009. 114f.
- BITAN, Arie. The high climate quality city of the future. **Atmospherec Environment**. Oxford, v. 26B, n. 3, p. 313-329, 1992.
- BRANDÃO, R. S. **As intervenções espaciais urbanas e o clima**: incorporação de análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). São Paulo, Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 2009.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mudanças do clima**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima>. Acesso: maio 2017.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php. Acesso em: 25 maio 2015.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: maio 2018.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMCM e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em maio de 2017.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei Federal 6.766/79, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766compilado.htm. Acesso em: julho 2016.

BRASIL. Senado Federal. **Estatuto da Cidade e Legislação Correlata:** dispositivos constitucionais Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001; Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. 2. ed. Brasília: Senado Federal, 2002. Disponível em: <http://www.vsilva.com.br/dados/Estatuto%20da%20Cidade.pdf>. Acesso em: 4 maio 2017.

BROWN, Rachael; FARRELY, Lorraine. **Materiais no design de interiores.** São Paulo: Gustavo Gili, 2014.

BRUSE, Michael. **ENVI-met 4.** A holistic microclimate model. 2015. Disponível em: <http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=root:start>. Acesso em: nov. 2015.

CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio *et al.* Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 10, n. 23, p. 207-223, 2011.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. Rio Janeiro. **RBE: Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 79-94, 1994.

CARFAN, A. C. **Análise do conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos-SP.** Tese (Doutorado em Ciências – Geografia física). FFLCH – Universidade de São Paulo, 2011.

CARNIELO, E.; ZINZI, M. Optical and thermal characterization of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. **Building and Environment**, n. 60, p. 56-65, 2013.

CAVALCANTE, M. R. C.; ÁVILA, I.; BARBIRATO, G. M. Efeito microclimático da presença de vegetação em recintos urbanos em Maceió-AL. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais.** Maceió-AL, Brasil, 2005.

CAVALCANTE, M. R. C.; BARBIRATO, G. M. Análise comparativa dos mapas comportamentais e condicionantes térmicos para a praça Ricardo Lessa, Maceió - AL. In: XXIV Congresso Pan-Americano de Arquitetos. **Anais.** Maceió-AL, Brasil, 2012.

CHANDLER, Tony J. **The climate of London.** Hutchinson & CO: University College London, 1965.

CHANDLER, Tony J. Urban climatology and its relevance to urban design. **WMO**, Geneva: World Meteorological Organization, n. 438, 1976.

CHANDRAPALA, L.; WIMALASUIYA, M. Satellite Measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka. **Agricultural Water Management**, v. 58, p. 89-107, 2003.

COMISSÃO EUROPEIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012.

COSBY, B. J. *et al.* A Statistical Exploration of the Relationships of Soil Moisture Characteristic to the Physical Properties of Soils. **Water Resources Research**, v. 20, n. 6, p. 682-690, 1984.

COSTA, Angelina Dias Leão. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 225f.

DAVIS. **Manual de Instalação Vantage Pro2™ (ISS)**: conjunto de sensores integrados. Rev. A, 14 set. 2004. Disponível em: http://meteorologia.agrosystem.com.br/produtos/estacoes-meteorologicas/davis/vantage-pro2/?gclid=EAIaIQobChMIzcb9I7S92wIVB4GRCh1kPQHqEAAAYASAAEgJ0IPD_BwE. Acesso em: jan. 2017.

DE MARCO, Júlio; ASSIS, Eleonora Sad de. Requisitos de desenvolvimento sustentável na legislação urbanística de Belo Horizonte – o caso da Taxa de Permeabilidade. In: XII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Brasília, 2013.

DÍAZ, Sandra; CABIDO, Marcelo. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. **Journal of Vegetation Science**. Suécia, n. 8, p. 463-474, 1997.

DUARTE, Denise. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). São Paulo: FAUUSP, 2000.

DUARTE, Denise H. S.; SHINZATO, Paula; GUSSON, Carolina dos S.; ALVES, Carolina A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, n. 14, p. 224-239, 2015.

DULLEY, Richard Domingues. Noções de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agric**. São Paulo, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.

EVANS, John Martin; SCHINLLER, Silvia. Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, na exinting urban district and urban river front development. **Atmospheric Environment**. Oxford, v. 30, n. 3, p. 361-364, 1996.

- FELLIPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG. **Geografias**, Belo Horizonte: UFMG, v. 8, n. 2, p. 08-23, 2012.
- FEYISA, Gudina Legese; DONS, Klaus; MEILBY, Henrik. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. **Landscape and Urban Planning**, v. 123, p. 87-95, 2014.
- FONTES, M. S. G. de C.; MELO, L. F. Influência do desenho e do microclima urbano nos usos de espaços públicos. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho energético de edificações. **Anais**. Curitiba, 2003.
- FUTCHER, Julie Ann; KERSHAW, Tristan; MILLS, Gerald. Urban form and function as building performance parameters. **Building and Environment**, n. 62, p. 112-123, 2013.
- GUARDA, E. L. A. *et al.* Análise da relação entre a cobertura vegetal e as variações de temperatura do bairro jardim imperial, no município de Sinop, MT. In: 7º Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável - PLURIS. **Anais**. Maceió, 2016.
- GIVONI, B. **Climate considerations in Buidins and and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- GOMES, Heliofábio Barros. **Balances de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. Tese (Doutorado em Meteorologia). Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
- GOMES, H. F. *et al.* Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat5. **Geociências**. São Paulo: UNESP, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.
- GOOGLE. **Google Earth PRO®**, Versão 7.1.8.3036, 2015. Acesso em: jan. 2016.
- GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Aerodynamic Properties of urban áreas derived from analysis of surface form. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 1.262-1.292, 1998.
- HASELBACK L. M; VALAVALA, S.; MONTES, F. Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems. **Journal of environmental management**, v. 81, n. 1, p. 42-49, 2006.
- HONG, B. *et al.* Study on the impacts of vegetation on wind environment in residential district combined numerical simulation and field experiment. **Procedia Environmental Sciences**, n. 13, p. 1.708-1.717, 2012.
- HOWARD, Luke. The Climate of London deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and Various Places Around It. 2. ed., Londres, 1833. In: **Associação internacional para o clima urbano** (*Internacional Association for urban climate – IAUC*).
- IBGE. **Cidades: resultado do universo – Censo 2010**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao Acesso: abr. 2015.

INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normais climatológicas 1981-2010**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 13 mar. 2018.

JACINTHO, Luiz Roberto de Campos; ALMEIDA, Teodoro Isnard Ribeiro de; GOVEIA, Sidney Schaberle. Estimativa da impermeabilização do solo urbano da cidade de São Paulo combinando dados demográficos e de sensoriamento remoto. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal. INPE, 2009, p. 707-714.

JUSTINO, Eliane Aparecida; MARTINS DE PAULA, Heber; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, v. 13, n. 2, p. 16-38, 2011.

KRATZER, Albert. **The climate of cities**. Boston, Massachusetts: Friedr. Vieweg and Sohn Braunschweig, 1956. Disponível em: <http://urban-climate.com/wp3/wp-content/uploads/2011/06/ClimateOfCities110617.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

KOENIGSBERGER *et al.* **Manual of tropical housing and building**. Londres: Longman, 1977.

KRÜGER, E. L.; GONZALEZ; D. E. G. Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 89-106, 2016.

LANDSBERG, H.E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LIMA, Lorena Cavalcante; ZANELLA, Maria Elisa. A climatologia aplicada ao planejamento urbano e ambiental de Aquiraz/CE-BR. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, n. Especial EGAL, p. 1-13, 2011.

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

MASCARO, L.; MASCARO, J. **Vegetação urbana**. Porto Alegre: Sagra/DC Luzatto, 2002.

MACEIÓ. Estado de Alagoas. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Município de Maceió**. Alagoas, 2011. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/boletins-e-analises-tecnicas/balanco-hidrico/2011/janeiro/litoral/MACEIO.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. Secretaria de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente. Lei Municipal Nº 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. **Código de urbanismo e edificações de Maceió**. Alagoas, 2007. Disponível em: <http://www.sempla.maceio.al.gov.br/planodiretor.html>. Acesso em: 28 jan. 2014.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento. **Plano diretor**. Alagoas, 2005a. Disponível em: <http://www.sempla.maceio.al.gov.br/planodiretor.html>. Acesso em: 16 jun. 2014.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento. Mapas. **Regiões administrativas 2005**. Alagoas, 2005b. Disponível em: <http://www.sempla.maceio.al.gov.br/planejamentourbano.htm>. Acesso em: 18 jul. 2016.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió-AL. Secretaria Municipal de Controle e Convívio Urbano. **Quadro de dados técnicos do condomínio Jardim do Horto**. Alagoas, 2016.

MACIEL, Carolina *et al.* Avaliação do impacto do uso de superfícies frias em espaços urbanos por meio do software ENVI-met. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Campinas, 2015.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento intertravado permeável: melhores práticas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010.

MASIERO, Érico. **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). São Carlos: UFScar, 2014.

MIDDELA, A. *et al.* Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 16-28, 2014.

MODNA, D.; VECCHIA, F. Calor e áreas verdes: um estudo preliminar de São Carlos, SP. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho energético de edificações – ENCAC. **Anais**. Curitiba - PR, Brasil, 2003 (CD ROM).

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, p. 7-24, 2008.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e Clima Urbano. In: MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (Orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MOTA, Érika (Coord.). **Projeto técnico: pavimentos permeáveis**. Programa Soluções para a cidade. ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2013. Disponível em: http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf. Acesso em: jun. 2016.

MOTA, Francisco S. B. **Disciplinamento do uso e ocupação do solo urbano visando a preservação do meio ambiente**. São Paulo, 1980. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. 254f.

MOTTA JR., J. C.; TUCCI, C. E. M. Simulation of the urbanization effect in flow. Oxford. **Hidrological Sciences Journal**, v. 29, n. 2, p. 131-147, 1984.

MOURA, Flavia de Barros Prado (Org.). **A mata Atlântica em Alagoas: conversando sobre ciências em Alagoas**. Maceió: EDUFAL, 2006.

NATAL. Prefeitura Municipal. **Lei Complementar Nº 082, de 21 de junho de 2007**. Dispõe sobre o Plano diretor de Natal e dá outras providências. Natal: Prefeitura Municipal de Natal, 2007.

NUNES, Fabrizia Gioppo. Uso da técnica de fotogrametria digital na análise temporal da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas urbanas. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, 2011.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. New York: Taylor & Francis, 2002.

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban site, instrument and methods of observations programa. **IOM Report**, Geneva: World Meteorological Organization, n. 81, 2006.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, n. 11, p. 103-113, 1988.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Physical Geography**, 1988.

OKE, T.R. *et al.* Parametrization of heat storage in urban areas. **Urban Ecology**, Netherlands, v. 5, 1981.

OLIVEIRA, Ângela Santana de; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque. Relações entre vegetação arbórea e uso de praças públicas: estudo de caso em cidade de clima tropical. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Brasília, 2013.

OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa de *et al.* A importância das áreas verdes em uma cidade de pequeno porte: estudo de caso na cidade de Irati-PR. **REVSBAU**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 89-99, 2013.

OLIVEIRA, Sandra; ANDRADE, Henrique; VAZ, Teresa. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Building and Environment**, n. 46, p. 2.186-2.194, 2011.

ONU. Organização das Nações Unidas. **ONU: mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050**. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/> Acesso em: dez. 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEREIRA, Cláudia; GHISI, Enedir; GÜTHS, Saulo. Comparação do desempenho térmico de revestimentos brancos. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e

VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Brasília, 2013.

PERES, Ângela *et al.* A influência da vegetação e diferentes tipos de revestimentos do solo sob a ótica das condições ambientais e dos microclimas em praças na cidade de Cuiabá-MT. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Brasília, 2013.

PERUSSI, Rafael; VECCHIA, Francisco Arthur da Silva. Análise do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde utilizando plataformas de teste. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 225-236, 2016.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS®**. Quantum GIS User Guide - Version 2.18 “Wroclaw”. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: jun. 2017.

RAMÍREZ, Aniceto Zaragoza; MUÑOZ, César Bartolomé. Albedo Effect and Energy Efficiency of Cities. Sustainable Development – Energy, Engineering and Technologies – **Manufacturing and Environment**. Prof. Chaouki Ghenai Ed: In Teck, 2012. Disponível em: http://cdn.intechopen.com/pdfs/29929/InTech-Albedo_effect_and_energy_efficiency_of_cities.pdf.

RECIFE. Prefeitura da Cidade do Recife. **Lei Nº 17.511/2008**. Promove a revisão do Plano diretor do município do Recife. Recife, 2008. Disponível em: [https://leismunicipais.com.br/pdf/Lei-ordinaria-17511-2008-Recife-PE-consolidada-\[17-12-2014\].pdf](https://leismunicipais.com.br/pdf/Lei-ordinaria-17511-2008-Recife-PE-consolidada-[17-12-2014].pdf). Acesso em: 13 set. 2015.

RECIFE. **Lei nº 16.176/96**. Estabelece a Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife. Recife, 1996. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-recife-pe>. Acesso em: 13 set. 2015.

MAIA, Ruany Gomes Xavier. **Padrões de escoamento do vento na região metropolitana de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Maceió: UFAL, 2016.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, n. 103, p. 682-703, 2014.

SALVADOR. Prefeitura Municipal do Salvador. **Lei Nº 9.148/2016**. Dispõe sobre a Lei de ordenamento, uso e ocupação do solo do município de Salvador-BA. Salvador, 2016. Disponível em: <http://www.sucom.ba.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/LEI-n.-9.069-PDDU-2016.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.

SALVADOR. **Lei Nº 3.377/84**. Dispõe sobre a Lei de ordenamento, uso e ocupação do solo do município de Salvador-BA. Salvador, 1984. Disponível em: http://www.plano500.salvador.ba.gov.br/fotos/conheca/5/mg/Lei_n_3.37784_Lous_Lei_de_Ordenamento_do_Uso_e_da_Ocupao_do_Solo.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

SHAHIDAN, M. F. *et al.* An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. **Building and Environment**, n. 58, p. 245-257, 2012.

SKOULIKA, Fotini *et al.* On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. **Landscape and Urban Planning**, n. 123, p. 73-86, 2014.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 324-332, 2010.

SILVA, B. B. *et al.* Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, B. B. da *et al.* Variabilidade espaço temporal do albedo da superfície no semiárido pernambucano com base em imagens do TM/Landsat 5. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2013.

SILVA, R. A. F. *et al.* Caracterização termo física mecânica de pavimento confeccionado com concreto permeável destinado à pavimentação urbana. In: 56º Congresso Brasileiro de Concreto – CBC de 2014. **Anais**. 2014.

SINDUSCON/NH. Sindicato da Indústria da Construção Civil de Novo Hamburgo. **Manual de uso operação e manutenção**. Novo Hamburgo, 2013. Disponível em: http://www.sinduscon-nh.org.br/public/files/arquivos_down/arquivo_download_42.pdf. Acesso em: mai. 2017.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **American Meteorological Society**, p. 1.979-1.900, dez. 2012.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, n. 8, p. 968-981, 2006.

SOUZA, C. A. de S. *et al.* Análise da influência da vegetação na densidade urbana no centro de belo horizonte, Brasil, através de modelagem micrometeorológica. In: 7º Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável - PLURIS. **Anais**. Maceió, 2016.

TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. **Lei 3.562**. Dispõe sobre as diretrizes para ocupação do solo. Teresina, 2006. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/3.562-2006.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

TORRES, Simone Carnaúba *et al.* **Bioclimatologia e sustentabilidade urbana: suas interfaces conceituais e as implicações no processo de planejamento urbano.** In: XV Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano – ENANPUR. Recife, 2013a.

TORRES, Simone Carnaúba *et al.* Climatologia urbana, planejamento e sustentabilidade: discussões a partir da análise do Plano diretor de Arapiraca – AL. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais.** Brasília, 2013b.

TOUCHAEI, Ali G.; AKBARI, Hashem; TESSUM, Christopher W. Effect of increasing urban albedo on meteorology and air quality of Montreal (Canada) e Episodic simulation of heat wave in 2005. **Atmospheric Environment**, n. 132, p. 188-206, 2016.

TSO, C. P.; CHAN, B. K.; HASHIM, M. A. An improvement to the basic energy balance model for urban thermal environment analysis. **Energy and Buildings**, n. 14, p. 143-152, 1990.

TUCCI, Carlos E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

UBC. University of British Columbia. Department of Geography. **Tim Oke, PhD.** Canada, 2017. Disponível em: <https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://www.geog.ubc.ca/persons/tim-oke/&prev=search>. Acesso em: mar. 2017.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 1993.

USGS. United State Geological Survey. **Using the USGS Landsat 8 Product.** 2016. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Acesso em: out. 017.

VILLAR FILHO, Orlando de C.; ARAÚJO, Virgínia M. D. de; COSTA, Angelina D. L. Estudos Microclimáticos de Revestimentos das Estruturas Viárias em uma Fração Urbana de João Pessoa/PB. XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais.** Brasília, 2013.

VRSCAJ, Borut; POGGIO, Laura; MARSAN, Franco Ajmone. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, n. 88, p. 81-94, 2008.

VYSOUDIL, Miroslav. Urban space and climate: Introduction to the Special Issue. **Moravian Geographical Reports**, v. 23, p. 2-7, 2015.

WONG, Nyuk Hien; YU, Chen. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat international**, v. 29, p. 547-558, 2005.

YANG, F. *et al.* Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. **Building and Environment**, n. 70, p. 122-137, 2013.

YAGHOUBIAN, N.; KLEISSL, J. Effect of reflective pavements on building energy use. **Urban Climate**, n. 2, p. 25-42, 2012.

ZACARIAS, Paula Regina Vieira. Verticalização e legislação urbanística: estudo de caso para o bairro de Ponta Verde, Maceió-AL, Brasil. In: **VII Seminário Internacional da Latin American Real Estate Society**. São Paulo, 2007.

ZHANG, Biao *et al.* The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. **Building and Environment**, n. 76, p. 37-43, 2014.

APÊNDICE 1 - QUADRO DA TAXA DE PERMEABILIDADE MÍNIMA POR CIDADE

REGIÃO	CIDADE	LEI	TAXA DE PERMEABILIDADE
Nordeste	Maceió	Código de urbanismo e edificações de Maceió. Capítulo VI - Da taxa de permeabilidade Página: 66 Ano: 2007	Art. 281. Nas zonas urbanas e corredores urbanos previstos no Quadro 1 do Anexo III desta Lei, a taxa de permeabilidade mínima para terrenos ou lotes será de: I – para os terrenos ou lotes com área igual ou inferior a 1.200,00 m ² (um mil e duzentos metros quadrados), os quais serão isentos dessa taxa; II – 5% (cinco por cento) , nos imóveis com área superior a 1.200,00 m ² (um mil e duzentos metros quadrados) até 1.800,00 m ² (um mil e oitocentos metros quadrados); III – 10% (dez por cento) , nos imóveis com área superior a 1.800,00 m ² (um mil e oitocentos metros quadrados) até 2.400,00 m ² (dois mil e quatrocentos metros quadrados); IV – 15% (quinze por cento) , nos imóveis com área superior a 2400,00 m ² (dois mil e quatrocentos metros quadrados); V – para os terrenos e lotes onde houver exigência de reserva de áreas para destino final dos efluentes de tanques sépticos, aplicando-se, nesses casos, o disposto no Quadro 1 do Anexo III desta Lei. Art. 282. Se a construtora apresentar projeto técnico que garanta a permeabilidade do terreno, elimina-se a exigência de área de reserva.
	Natal	Plano diretor de Natal - Lei complementar N° 082, de 21 de junho de 2007. Capítulo III – Das prescrições urbanísticas adicionais Página: 11 Ano: 2007	VIII - área permeável - área do lote onde é possível infiltrar no solo as águas pluviais, limitada em, no mínimo, 20% (vinte por cento) do terreno.
	João Pessoa	Plano diretor de João Pessoa e Código de obras de João Pessoa	*
	Recife	Lei de uso e ocupação do solo da cidade do Recife – LEI N° 16.176/96. Capítulo IV – Da ocupação do solo SEÇÃO I – Da definição dos parâmetros urbanísticos Página: 13 Ano: 1997	SUBSEÇÃO I - Da taxa de solo natural Art. 65 - A taxa de solo natural - TSN é o percentual mínimo da área do terreno a ser mantida nas suas condições naturais, tratada com vegetação e variável por zona. § 1º - Parte da área referida no caput deste artigo poderá ser tratada com revestimento permeável, de acordo com as condições e percentuais definidos por zona. § 2º - As quadras esportivas e passeios ou acessos, quando revestidos por material impermeável, não serão consideradas áreas de solo natural. Art. 66 - Na ZUP 1, a Taxa de Solo Natural será de 25% (vinte e cinco) por cento, admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10 m ² (dez metros quadrados) por árvore, não podendo o somatório dos valores correspondentes às arvores exceder a 5% (cinco por cento) da área total do terreno. Art. 67 - Na ZUP 2, a Taxa de Solo Natural será de 50% (cinquenta por cento) , admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável que não ultrapasse 10% (dez por cento) da área total do terreno, ressalvado o disposto no parágrafo único deste artigo. Parágrafo Único - Poderá ser concedida uma ampliação da área a ser tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10m ² (dez metros quadrados) por árvore, desde que o somatório dos valores correspondentes às árvores não exceda a 10% (dez por cento) da área total do terreno. Art. 68 - A área resultante do índice determinado nos artigos 66 e 67, deverá ser tratada com vegetação sendo que uma parte, equivalente a 50% (cinquenta por cento), deverá ter plantio de árvores de porte. Art. 69 - Na ZUM, a taxa de solo natural será de 20% (vinte por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável. Art. 70 - Na ZUR, a taxa de solo natural será de 70% (setenta por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável. Art. 71 - Nas ZDEs, a taxa de solo natural será estabelecida de acordo com as condições previstas na Seção II deste capítulo. Art. 72 - A taxa de solo natural - TSN para os usos geradores de incômodo à vizinhança será a da zona em que se localizam, conforme o disposto no <u>Anexo 10</u> .

* Não encontrado

REGIÃO	CIDADE	LEI	TAXA DE PERMEABILIDADE
Nordeste	Fortaleza	Uso e ocupação do solo - Lei Nº 7987 de 23 de dezembro de 1996. Anexo 5 Página: 37 Ano: 1996	20% (vinte por cento) – ZU 1, 2; Orla Trecho II a IV. 30% (trinta por cento) – ZU 3-1; ZU 4-1; ZU 6; ZU 7-1; ZI – 1 e 2; Orla Trecho I e V. 40% (quarenta por cento) – ZU 3-2 a 3-4; ZU 4-2 e 4-3; ZU 5; ZA 1; ZA 2-1 e 2-2; ZA 3; ZA 4-1 e 4-2; ZT; Dunas Trecho I e II; Orla Trecho VI e VII. 50% (trinta por cento) – Qualquer área de proteção
	Aracaju	Código municipal de parcelamento, uso e ocupação do solo. Índice de permeabilidade Página:47 Ano: 2010	10% (dez por cento) – ZAP 1 a 5; ZAB 1 e 2 30% (trinta por cento) – ZAR.
		Plano diretor de Aracaju. Capítulo II - Da ocupação do solo Página: 52 Ano: 2000	Art. 169 - Será obrigatória a manutenção de uma taxa mínima de permeabilidade do lote igual a 5% (cinco por cento) de sua área, à exceção da ZAP-1 (Zona de adensamento preferencial-1) onde é isenta.
	Salvador	Lei de ordenamento de uso e ocupação do solo – LOUOS. Lei Nº 9.148 / 2016. Índice de permeabilidade mínima (Ip) Página: 40 Ano: 2016	Art. 84. Todos os empreendimentos deverão atender ao índice de permeabilidade – IP, que estabelece a área permeável mínima exigida para cada zona de uso, conforme o Quadro 06 do Anexo 01 desta Lei, observadas as seguintes exigências: I – do total das áreas permeáveis exigidas para o atendimento ao IP, pelo menos 50% (cinquenta por cento) deverão ser mantidos em solo natural ou revestimento semipermeável, admitindo-se tratamento paisagístico; II - os 50% (cinquenta por cento) restantes poderão ser admitidos na forma de revestimentos semipermeáveis ou de reservatórios para a canalização das águas pluviais, visando ao reuso, não sendo admitido, nessa hipótese, o direcionamento para a rede pública de drenagem. § 1º Para fins do que dispõe o inciso II deste artigo, considera-se reservatório qualquer dispositivo dimensionado de acordo com a fórmula: $V = (0,15 \times At - Atp) \times P \times t$, onde: V = volume do dispositivo adotado; At = área total do terreno; Atp = área do terreno livre de pavimentação ou construção; P = índice pluviométrico igual a 0,06m (sessenta milímetros) / hora; t = tempo de duração da chuva igual a 1(uma) hora. § 2º A fim de assegurar o pleno atendimento ao índice de permeabilidade exigido no <i>caput</i> deste artigo, na forma prevista em seu inciso II, quando da utilização de revestimentos semipermeáveis, deverá ser anexada a especificação técnica do fabricante, informando o percentual de permeabilidade do material, o qual deverá constar também nas peças gráficas. § 3º Ao empreendimento que optar pela captação de água pluvial de 100% (cem por cento) do telhado, será reduzido à metade o índice de permeabilidade mínima prevista no Quadro 06 do Anexo I desta Lei.
		Quadro 06 do Anexo I Ano: 2016	10% (Dez por cento) – ZCMe – CA; ZCMu 1 e 2; ZCLMe; ZCLMu; ZDE 1 E 2 20% (vinte por cento) – ZPR 3ZCMe 1/01 a 1/03; ZCMe 2 30% (trinta por cento) – ZPR 1 E 2; ZUSI 40% (quarenta por cento) – ZIT ZEIS 1 a 5 – 5% (cinco por cento) - terrenos com área inferior a 64m ² ; 10% (Dez por cento) - terrenos com área entre 64 m ² e 125 m ² ; 15% (quinze por cento) - terrenos com área superior a 125 m ²
	Teresina	Lei complementar Nº 3.562 - Ocupação do solo Plano diretor de Teresina	*
	São Luís	Lei de zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo. Anexo I Tabela consolidada de índices urbanísticos Página: 25 Ano: 2015	Taxa mínima de permeabilidade (TP) 20% (vinte por cento) – Zona residencial: ZR1, ZR2, ZR3, ZR4, ZR5, ZR6, ZR7; Zona mista comercial: ZMC1 e ZMC2; Zona mista institucional: ZMIT; Zona mista industrial: ZMID; Zona mista rural: ZMRU; Zona turística: ZT1, ZT2; Zona de segurança aeroportuária: ZSA1 e ZSA2; Zona especial de interesse social: ZEIS 1 e ZEIS 2; Zona industrial de porto e retroporto – ZIPR; Zona industrial de logística: ZIL; Zona industrial de grande porte: ZIGP; Zona de expansão urbana: ZEU; Corredor primário: CP; Corredor secundário: CS1, CS2, CS3, CS4, CS5, CS6, CS7, CS8, CS9 e CS10; Corredores consolidados: CC1 e CC2; Zona rural: ZRU

* Não encontrado

REGIÃO	CIDADE	LEI	TAXA DE PERMEABILIDADE
Sudeste	Belo Horizonte	Lei de parcelamento, ocupação e uso do solo –LPOUS. Zoneamento e parâmetros urbanísticos Página: 23 Ano: 1996	Art. 50 - Considera-se taxa de permeabilidade a área descoberta e permeável do terreno em relação à sua área total, dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático e propicie alívio para o sistema público de drenagem urbana. § 1º - Os valores da taxa de permeabilidade mínima são os definidos no Anexo VI desta Lei, observado o seguinte: I - para terreno situado na ADE da Bacia da Pampulha, a taxa de permeabilidade mínima é de 30% (trinta por cento) ; II - para terreno situado nas demais ADEs, prevalecem os valores previstos em suas regulamentações; III - para terreno situado em ZPAM, ZP-1, ZP-2 e ZP-3 prevalecem os valores determinados no Anexo VI desta Lei; IV - para terreno que não se enquadre nos incisos I a III deste parágrafo, prevalece: a) 10% (dez por cento) , se o terreno tiver área menor ou igual a 360m ² (trezentos e sessenta metros quadrados); b) 20% (vinte por cento) , se o terreno tiver área superior a 360m ² (trezentos e sessenta metros quadrados). § 2º - As edificações, exceto as localizadas na ZPAM e nas ZPs, podem impermeabilizar até 100% (cem por cento) da área do terreno, desde que: I - nelas haja área descoberta - equivalente à área de permeabilidade mínima - dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático; II - seja construída caixa de captação e drenagem que retarde o lançamento das águas pluviais provenientes da área de que trata o inciso I deste parágrafo. § 3º - A caixa referida no inciso II do parágrafo anterior deve possibilitar a retenção de até 30l (trinta litros) de água pluvial por metro quadrado de terreno impermeabilizado que exceda o limite previsto no <i>caput</i> . § 4º - Podem ser utilizados, simultaneamente, as áreas permeáveis de terreno e os mecanismos previstos no § 2º deste artigo para atingir a Taxa de Permeabilidade. § 5º - Pode ser dispensada a taxa prevista neste artigo nos casos em que comprovadamente, por meio de parecer técnico, seja desaconselhável a permeabilização do terreno. § 6º - Quando exigido o recuo de alinhamento, não será considerada, para aplicação da Taxa de Permeabilidade, a área do terreno resultante do referido recuo. § 7º - A Taxa de Permeabilidade estará atendida com a manutenção de área descoberta e permeável, podendo a área dotada de vegetação situar-se em área equivalente à permeável sobre lajes, jardineiras ou pavimentos elevados. § 8º - A área permeável, livre e vegetada, implantada no afastamento frontal de edificação e inteiramente visível do logradouro público, poderá ser convertida em pagamento do potencial construtivo adicional utilizado no próprio lote, observadas as demais exigências legais. § 9º - Aplica-se a permissão prevista no § 8º deste artigo aos terrenos lindeiros a vias arteriais, exceto nas ruas que apresentem intenso fluxo de pedestres, conforme dispuser o regulamento. § 10 - Não se aplica o disposto nos §§ 2º e 3º, 7º, 8º e 9º deste artigo aos terrenos situados em ADEs de Interesse Ambiental.
	Vitória	Plano diretor urbano do município de Vitória. Anexo 9 Página: 214 Ano: 2006	10% (dez por cento) – Demais ZOLs; ZOR; ZOC 1 a 4; ZEIS 2; ZOP 1 a 3; ZAR 1 a 4; ZPT; ZOR 11; ZOL 18. Isento na ZOL/01 ZEIS 1 – serão definidos índices específicos para cada área no Plano de desenvolvimento local.
	Rio de Janeiro	Código de obras Decreto N. 23.296, de 21 de agosto de 2003. Taxa de permeabilidade (TP) Página: 10 Ano: 2004	10% (dez por cento) - Zona residencial (ZR) 1, 2, 3 e 4; Zona comércio e serviço (ZCS) 1 e 2; 20% (vinte por cento) - Zona de uso misto (ZUM), Zona de uso predominantemente industrial (ZUPI), Zona de uso estritamente industrial (ZEI); 70% (setenta por cento) - Zona de conservação ambiental (ZCA) 75% (setenta e cinco por cento) - Zona agrícola (ZA1) 1 e 2

* Não encontrado

REGIÃO	CIDADE	LEI	TAXA DE PERMEABILIDADE
Sudeste	São Paulo	Plano diretor estratégico do município de São Paulo. Página: 57 Ano: 2014	Dos eixos de estruturação da transformação urbana 20% (vinte por cento) - Lotes com área superior a 5000 m ² Das áreas verdes 80% (oitenta por cento) – 1000 a 10.000 m ² e acima de 50.000 m ² 90% (noventa por cento) – 10.000 m ² a 50.000 m ²
		Lei de parcelamento, ocupação e uso do solo –LPOUS. Quadro 3A Ano: 2014	10% (dez por cento) – MUC-2; MQU-1 a 4; MRV-1 a 3 15% (quinze por cento) – MEM -1 a 8, MUC-1 20% (vinte por cento) – MRVRA-1 a 3; MCQA-1 e 2 25% (vinte e cinco por cento) – MCQA-3 e 4
Sul	Curitiba	Lei de parcelamento, ocupação e Uso do solo –LPOUS. Quadro I a XLIV Ano: 2000	10% (dez por cento) – MUC-2; MQU-1 a 4; MRV-1 a 3 15% (quinze por cento) – MEM -1 a 8, MUC-1 20% (vinte por cento) – MRVRA-1 a 3; MCQA-1 e 2 25% (vinte e cinco por cento) – MCQA-3 e 4
	Florianópolis	Plano diretor Tabela de limites de ocupação Ano: 2014	Taxa de impermeabilização máxima (TI) 15% (quinze por cento) – APL; 25% (vinte e cinco por cento) – ARR; AUE; 50% (cinquenta por cento) – ARP 2.3 60% (sessenta por cento) – ARM 2.4, 3.4; ARP 2.4, 4.4; ATR 3.4 70% (setenta por cento) – AMC 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 8.5, 10.5, 12.5, 14.5, 16.5; AMS 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5; ARM 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 12.5, 14.5, 16.5; ARP 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 12.5; ATR 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5; ATL 2.5, ATL 6.5; ARC 2.5; 80% (oitenta por cento) – AMS 8.5, 10.5, 12.5, 14.5, 16.5; ARM 8.5, 10.5; ZEIS
	Porto Alegre	*	*
Centro-oeste	Cuiabá	Parâmetros de uso e ocupação do solo Quadro de índices urbanísticos Página: 45 Ano: 2015	20% (vinte por cento) – ZAC; ZCR; ZIH; ZEIS 1 e 2; ZERE; 25% (vinte e cinco por cento) – ZUM; ZPR; ZINS; ZCTR 1 a 3 40% (quarenta por cento) – ZAI; 70% (setenta por cento) – ZIA 1 85% (oitenta e cinco por cento) – ZEX 90% (noventa por cento) – ZIA 2 95% (noventa e cinco por cento) – ZIA 3
	Campo Grande	Lei complementar N° 94/2006 Página: 21 Ano: 2006	60% (sessenta por cento) - ZEIA
		Lei complementar N° 211/2012 Anexo III Página: 33 Ano: 2012	0,125 - Z 1 a 10 e Z 13; C 1 a 6; Rochedinho e Área Rural.
	Goiânia	Plano diretor do município de Goiânia. Seção V Dos parâmetros urbanísticos Página: 36 Ano: 2007	Macrozona construída - Áreas de restrição à ocupação urbana (dimensão mínima dos lotes de 360m ²): III – Índice de permeabilidade do terreno, igual ou maior que 25% (vinte e cinco por cento) ; VI – Garantia de 10% (dez por cento) de área de cobertura vegetal interna ao lote. Área de preservação ambiental – APA – do Morro do Mendanha (unidade imobiliária igual ou maior que 1.250m ²): Art. 128. Fica estabelecido o Índice de Permeabilidade mínimo de 15% (quinze por cento) da área do terreno, para todos os lotes e glebas da Macrozona Construída. Parágrafo único. Em complementação do índice de permeabilidade, admite-se a implantação de caixas de recarga do lençol freático, observados os seguintes critérios técnicos.
Brasília	*	*	
Norte	Manaus	*	*
	Belém	*	*
	Rio Branco	*	*
	Porto Velho	*	*
	Palmas	*	*
	Boa Vista	*	*
	Macapá	*	*

* Não encontrado

**APÊNDICE 2 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DO AR (°C)
NOS PONTOS**

DATA	HORA	A - 37%	B - 30%	C - 20%	D - 13%	E - 9%	F - 0%
11/11/2017	00:00	23,85	23,24	23,71	23,62	23,59	23,92
11/11/2017	01:00	23,67	23,05	23,52	23,42	23,39	23,73
11/11/2017	02:00	23,5	22,87	23,35	23,24	23,19	23,55
11/11/2017	03:00	23,34	22,7	23,19	23,06	23,01	23,38
11/11/2017	04:00	23,19	22,55	23,04	22,91	22,85	23,22
11/11/2017	05:00	23,04	22,4	22,88	22,75	22,69	23,07
11/11/2017	06:00	23,99	23,54	23,91	24,06	24,14	24,5
11/11/2017	07:00	24,67	24,45	24,65	25,22	25,55	25,8
11/11/2017	08:00	25,94	25,78	25,98	26,81	27,2	27,48
11/11/2017	09:00	27,33	27,24	27,4	28,53	28,95	29,35
11/11/2017	10:00	28,78	28,74	28,86	30,23	30,73	31,24
11/11/2017	11:00	30,06	30,01	30,12	31,59	32,14	32,67
11/11/2017	12:00	30,92	30,86	30,96	32,4	32,98	33,43
11/11/2017	13:00	31,3	31,21	31,33	32,65	33,25	33,58
11/11/2017	14:00	31,12	30,99	31,15	32,27	32,88	33,08
11/11/2017	15:00	30,41	30,21	30,43	31,21	31,84	31,91
11/11/2017	16:00	29,07	28,75	29,07	29,46	29,91	29,97
11/11/2017	17:00	27,37	26,9	27,3	27,46	27,6	27,81
11/11/2017	18:00	26,51	26	26,41	26,51	26,64	26,89
11/11/2017	19:00	25,9	25,38	25,8	25,85	25,98	26,25
11/11/2017	20:00	25,43	24,9	25,33	25,35	25,48	25,76
11/11/2017	21:00	25,06	24,53	24,95	24,95	25,09	25,37
11/11/2017	22:00	24,74	24,21	24,63	24,61	24,76	25,05
11/11/2017	23:00	24,47	23,94	24,36	24,32	24,47	24,76
12/11/2017	00:00	24,22	23,69	24,1	24,05	24,21	24,5

APÊNDICE 3 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (%) NOS PONTOS

DATA	HORA	A - 37%	B - 30%	C - 20%	D - 13%	E - 9%	F - 0%
11/11/2017	00:00	86,83	83,61	84,45	85,65	85,24	83,49
11/11/2017	01:00	87,24	83,95	84,81	86,08	85,71	83,88
11/11/2017	02:00	87,59	84,27	85,15	86,5	86,18	84,3
11/11/2017	03:00	87,96	84,6	85,5	86,92	86,64	84,7
11/11/2017	04:00	88,33	84,92	85,84	87,31	87,09	85,09
11/11/2017	05:00	88,75	85,3	86,25	87,76	87,57	85,5
11/11/2017	06:00	85,43	82,67	83,32	83,99	83,4	81,46
11/11/2017	07:00	78,29	76,38	76,7	76	75,15	73,39
11/11/2017	08:00	71,53	70,17	70,06	68,38	67,44	65,75
11/11/2017	09:00	65,43	64,62	64,29	61,47	60,51	58,62
11/11/2017	10:00	59,92	59,37	59,04	55,47	54,29	52,25
11/11/2017	11:00	55,55	55,05	54,83	51,15	49,87	48,02
11/11/2017	12:00	52,75	52,18	52,07	48,68	47,36	45,86
11/11/2017	13:00	51,36	50,7	50,66	47,7	46,29	45,14
11/11/2017	14:00	51,51	50,67	50,66	48,16	46,64	45,77
11/11/2017	15:00	53,16	52,05	52,05	50,33	48,53	47,93
11/11/2017	16:00	56,76	55,18	55,29	54,45	52,76	52,16
11/11/2017	17:00	61,81	59,62	60,02	59,78	58,57	57,57
11/11/2017	18:00	64,49	62,1	62,59	62,57	61,32	60,15
11/11/2017	19:00	66,28	63,8	64,33	64,48	63,2	61,95
11/11/2017	20:00	67,66	65,12	65,68	65,96	64,63	63,34
11/11/2017	21:00	68,71	66,14	66,72	67,11	65,72	64,4
11/11/2017	22:00	69,59	67	67,6	68,07	66,63	65,28
11/11/2017	23:00	70,38	67,77	68,37	68,93	67,43	66,07
12/11/2017	00:00	71,11	68,5	69,1	69,74	68,2	66,83

**APÊNDICE 4 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA RADIANTE
MÉDIA (°C) NOS PONTOS**

DATA	HORA	A - 37%	B - 30%	C - 20%	D - 13%	E - 9%	F - 0%
11/11/2017	00:00	19,2	19,3	19,3	19,3	19,3	19,2
11/11/2017	01:00	19,0	19,1	19,1	19,1	19,1	18,9
11/11/2017	02:00	18,7	18,8	18,8	18,8	18,8	18,7
11/11/2017	03:00	18,5	18,6	18,6	18,6	18,6	18,5
11/11/2017	04:00	18,3	18,4	18,4	18,4	18,4	18,3
11/11/2017	05:00	18,1	18,2	18,2	18,2	18,2	18,1
11/11/2017	06:00	33,8	34,0	34,1	34,2	34,1	34,6
11/11/2017	07:00	47,3	47,8	47,8	48,1	47,9	49,1
11/11/2017	08:00	54,7	55,5	55,5	55,8	55,6	57,4
11/11/2017	09:00	58,7	59,7	59,7	60,1	59,9	61,9
11/11/2017	10:00	59,8	61,0	60,9	61,5	61,2	63,4
11/11/2017	11:00	60,8	61,9	61,9	62,5	62,2	64,5
11/11/2017	12:00	63,7	64,7	64,7	65,2	64,9	67,2
11/11/2017	13:00	64,1	65,0	64,9	65,4	65,1	67,2
11/11/2017	14:00	60,3	61,0	60,9	61,3	61,1	62,9
11/11/2017	15:00	51,9	52,3	52,2	52,6	52,4	53,8
11/11/2017	16:00	34,6	34,4	34,3	34,5	34,4	35,2
11/11/2017	17:00	26,0	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
11/11/2017	18:00	24,8	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
11/11/2017	19:00	23,9	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
11/11/2017	20:00	23,2	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3
11/11/2017	21:00	22,6	22,8	22,8	22,8	22,8	22,7
11/11/2017	22:00	22,2	22,3	22,3	22,3	22,3	22,2
11/11/2017	23:00	21,8	21,9	21,9	21,9	21,9	21,8
12/11/2017	00:00	21,4	21,5	21,5	21,5	21,5	21,4

APÊNDICE 5 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (°C) NOS PONTOS

DATA	HORA	A - 37%	B - 30%	C - 20%	D - 13%	E - 9%	F - 0%
11/11/2017	00:00	18,9	18,6	19,0	18,7	18,4	21,0
11/11/2017	01:00	18,6	18,3	18,8	18,5	18,2	20,7
11/11/2017	02:00	18,4	18,1	18,5	18,2	18,0	20,5
11/11/2017	03:00	18,2	17,8	18,3	18,0	17,8	20,3
11/11/2017	04:00	18,0	17,6	18,1	17,8	17,6	20,1
11/11/2017	05:00	17,8	17,4	18,0	17,7	17,4	19,9
11/11/2017	06:00	17,7	17,3	17,8	17,5	17,3	19,7
11/11/2017	07:00	19,4	20,3	20,6	20,2	19,8	21,4
11/11/2017	08:00	24,4	25,3	25,3	24,7	24,2	25,3
11/11/2017	09:00	28,2	29,3	29,5	28,7	27,9	28,8
11/11/2017	10:00	32,3	33,7	34,1	33,0	32,0	31,9
11/11/2017	11:00	36,5	38,5	38,9	37,7	36,3	34,4
11/11/2017	12:00	39,6	42,6	42,0	41,2	39,6	36,3
11/11/2017	13:00	40,7	44,2	42,8	42,4	40,9	37,2
11/11/2017	14:00	39,9	43,4	41,7	41,5	40,1	37,1
11/11/2017	15:00	37,5	40,6	39,0	38,9	37,7	35,9
11/11/2017	16:00	33,8	36,2	34,9	34,7	33,8	33,7
11/11/2017	17:00	28,9	30,3	29,5	28,4	28,7	30,4
11/11/2017	18:00	24,7	25,1	25,2	24,8	24,4	27,2
11/11/2017	19:00	23,6	23,8	24,0	23,6	23,2	25,9
11/11/2017	20:00	22,8	22,8	23,2	22,8	22,4	25,1
11/11/2017	21:00	22,2	22,2	22,5	22,1	21,8	24,5
11/11/2017	22:00	21,7	21,6	22,1	21,6	21,3	23,9
11/11/2017	23:00	21,3	21,2	21,7	21,2	20,9	23,5
12/11/2017	00:00	20,9	20,8	21,3	20,9	20,6	23,1

**APÊNDICE 6 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE DA SUPERFÍCIE
(%) NOS PONTOS**

DATA	HORA	A - 37%	B - 30%	C - 20%	D - 13%	E - 9%	F - 0%
11/11/2017	00:00	15,3	15,4	15,3	15,5	15,4	14,9
11/11/2017	01:00	15,2	15,3	15,2	15,4	15,3	14,8
11/11/2017	02:00	15,1	15,2	15,1	15,3	15,2	14,7
11/11/2017	03:00	15,0	15,1	15,1	15,2	15,1	14,6
11/11/2017	04:00	15,0	15,1	15,0	15,1	15,0	14,5
11/11/2017	05:00	14,9	15,0	14,9	15,1	14,9	14,5
11/11/2017	06:00	14,8	14,9	14,9	15,0	14,9	14,4
11/11/2017	07:00	15,5	16,2	15,9	16,0	15,8	14,7
11/11/2017	08:00	17,1	18,4	17,4	17,8	17,5	15,4
11/11/2017	09:00	17,3	18,8	17,4	17,9	17,7	15,0
11/11/2017	10:00	16,8	18,4	16,7	17,4	17,3	14,8
11/11/2017	11:00	15,8	17,0	15,4	16,1	16,3	14,5
11/11/2017	12:00	14,9	15,4	14,5	15,0	15,2	14,3
11/11/2017	13:00	14,4	14,5	14,2	14,4	14,6	14,1
11/11/2017	14:00	14,2	14,2	14,0	14,2	14,3	14,0
11/11/2017	15:00	14,1	14,0	13,9	14,1	14,2	13,8
11/11/2017	16:00	14,0	13,9	13,8	14,0	14,1	13,7
11/11/2017	17:00	13,9	13,8	13,7	13,9	14,0	13,6
11/11/2017	18:00	13,8	13,6	13,5	13,9	13,9	13,6
11/11/2017	19:00	13,8	13,7	13,6	13,9	13,9	13,5
11/11/2017	20:00	13,7	13,7	13,5	13,9	13,9	13,5
11/11/2017	21:00	13,7	13,7	13,5	13,8	13,9	13,4
11/11/2017	22:00	13,7	13,6	13,5	13,8	13,8	13,4
11/11/2017	23:00	13,6	13,6	13,5	13,8	13,8	13,3
12/11/2017	00:00	13,6	13,6	13,4	13,8	13,8	13,3

APÊNDICE 7 – TABELA DA CORREÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL DAVIS PRO2

DATA 19/05/2017	INMET (ESTIMADA)	MÓVEL UFAL (MEDIDA)	ESTIMADA - MEDIDA	RMSE	TEMP. DO AR (°C) (MEDIDA)	ESTIMADA - MEDIDA	RMSE
HORA	TEMP. DO AR (°C)	TEMP. DO AR (°C)	bx - cx	ex ²	com correção (+1,52)	com correção	com correção
0	25,1	24,4	0,7	0,5	25,9	-0,8	0,6
1	24,8	23,7	1,1	1,2	25,2	-0,4	0,1
2	24,2	22,7	1,5	2,3	24,2	0,0	0,0
3	23,9	22	1,9	3,4	23,5	0,4	0,2
4	23,7	22,5	1,2	1,4	24,0	-0,3	0,1
5	23,3	21,7	1,6	2,6	23,2	0,1	0,0
6	23,4	21,7	1,7	2,7	23,2	0,2	0,0
7	25,1	22,7	2,4	5,8	24,2	0,9	0,9
8	27,4	25,7	1,7	2,7	27,2	0,2	0,0
9	28,4	26,8	1,6	2,6	28,3	0,1	0,0
10	28,8	27,6	1,2	1,4	29,1	-0,3	0,1
11	29,1	28,3	0,8	0,6	29,8	-0,7	0,4
12	29,1	28,1	1,0	1,0	29,6	-0,5	0,2
13	28,6	27,7	0,9	0,7	29,2	-0,6	0,4
14	28,6	27,7	0,9	0,8	29,2	-0,6	0,3
15	28,4	27,4	1,0	0,9	28,9	-0,5	0,3
16	27,7	26,9	0,8	0,6	28,4	-0,7	0,5
17	27,1	26,2	0,9	0,7	27,7	-0,6	0,4
18	26,4	25	1,4	2,0	26,5	-0,1	0,0
19	26,2	24,4	1,8	3,2	25,9	0,3	0,1
20	26,4	23,8	2,6	6,8	25,3	1,1	1,3
21	26,1	23,1	3,0	9,0	24,6	1,5	2,4
22	25,8	23,4	2,4	5,5	24,9	0,9	0,8
23	25,6	22,9	2,7	7,3	24,4	1,2	1,5
Número de variáveis: 24		Somatório: 36,4		65,7	Somatório: 1,4		10,6
MBE = 36,4/24 = 1,52				RMSE = RAIZ((65,7/24)) = 1,62			
MBE COM CORREÇÃO = 1,4/24 = 0,1				RMSE COM CORREÇÃO = RAIZ((10,6/24)) = 0,66			

APÊNDICE 8 – TABELA DA CORREÇÃO DOS DADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL DAVIS PRO2

DATA 19/05/2017	INMET (ESTIMADA)	MÓVEL UFAL (MEDIDA)	ESTIMADA - MEDIDA	RMSE	UMID. REL. DO AR (%) (MEDIDA)	ESTIMADA - MEDIDA	RMSE		
HORA	UMID. REL. DO AR (%)	UMID. REL. DO AR (%)	bx - cx	ex ²	com correção (-1,0)	com correção	com correção		
0	87	80	7	42	79	8	56		
1	88	81	7	49	80	8	64		
2	90	86	4	12	85	5	20		
3	91	91	0	0	90	1	0		
4	92	91	1	0	90	2	2		
5	92	94	-2	4	93	-1	1		
6	93	94	-1	2	93	-1	0		
7	91	94	-3	12	93	-3	6		
8	81	77	4	12	76	5	20		
9	69	77	-8	64	76	-7	49		
10	69	72	-3	12	71	-3	6		
11	67	65	2	2	64	3	6		
12	68	67	1	1	66	2	4		
13	72	70	2	2	69	3	6		
14	70	69	1	1	68	2	4		
15	70	72	-2	4	71	-1	1		
16	73	70	3	6	69	4	12		
17	76	72	4	12	71	5	20		
18	78	80	-2	6	79	-2	2		
19	79	81	-2	4	80	-1	1		
20	79	86	-7	49	85	-6	36		
21	80	89	-9	90	88	-9	72		
22	81	87	-6	42	86	-6	30		
23	82	89	-7	49	88	-6	36		
Número de variáveis: 24		Somatório:		-23,5	481	Somatório:		0,5	458
MBE = -23,5/24 = -1,0				RMSE = RAIZ((480,8/24)) = 4,5					
MBE COM CORREÇÃO = 0,5/24 = 0,0				RMSE COM CORREÇÃO = RAIZ((457,8/24)) = 4,4					

APÊNDICE 9 – TABELA DOS DADOS HORÁRIOS DO DIA 11/11/2017 DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MÓVEL DAVIS PRO2 NA ÁREA DE ESTUDO

HORA	TEMP. DO AR (°C)	TEMP. MÁXIMA DO AR (°C)	TEMP. MÍNIMA DO AR (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	PONTO DE CONDENSAÇÃO (°C)	VELOC. DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO	RESFRIAMENTO PELO VENTO (°C)	ÍNDICE DE CALOR (°C)	PRESSÃO BAROM.	CHUVA (mm)	TAXA DE PRECIP. (mm/h)
00:00	26,9	25,5	25,3	77	21,2	0,0	S	25,3	26,5	29.844	0,00	0,00
01:00	26,5	25,3	25,0	79	21,3	0,0	S	25,0	26,7	29.829	0,00	0,00
02:00	25,4	25,0	23,9	83	21,0	0,0	---	23,9	25,5	29.811	0,00	0,00
03:00	24,7	23,9	23,2	85	20,7	0,0	---	23,2	24,4	29.791	0,00	0,00
04:00	24,7	23,2	23,1	87	21,1	0,0	WNW	23,2	24,4	29.814	0,01	0,53
05:00	24,2	23,2	22,7	91	21,3	0,0	NW	22,7	24,2	29.808	0,05	0,79
06:00	24,1	22,7	22,6	92	21,4	0,0	---	22,6	24,0	29.823	0,00	0,00
07:00	24,3	22,8	22,4	92	21,6	0,0	NW	22,8	24,3	29.838	0,00	0,00
08:00	26,1	24,6	22,8	89	22,8	0,0	NNW	24,6	26,7	29.859	0,00	0,00
09:00	28,7	27,2	24,6	78	23,3	0,0	NNW	27,2	30,2	29.860	0,00	0,00
10:00	31,1	29,6	27,2	67	23,0	1,0	SSW	29,6	33,7	29.852	0,00	0,00
11:00	32,6	31,1	29,4	62	23,2	1,0	SSW	31,1	35,6	29.843	0,01	0,00
12:00	32,7	31,5	31,1	63	23,6	1,0	SSW	31,2	35,9	29.828	0,00	0,00
13:00	32,6	31,5	31,1	62	23,2	2,0	SSW	31,1	35,6	29.804	0,00	0,00
14:00	32,5	31,5	30,9	63	23,3	2,0	SSW	30,9	35,6	29.766	0,00	0,00
15:00	32,4	31,2	30,7	60	22,5	2,0	SSW	30,9	34,9	29.753	0,00	0,00
16:00	31,6	30,9	30,1	63	22,6	2,0	SSW	30,1	34,2	29.753	0,00	0,00
17:00	30,6	30,1	29,1	68	22,8	2,0	SSW	29,1	33,0	29.746	0,00	0,00
18:00	29,2	29,1	27,6	74	22,8	1,0	SW	27,7	30,6	29.760	0,00	0,00
19:00	28,1	27,6	26,6	77	22,4	1,0	SSW	26,6	28,8	29.777	0,00	0,00
20:00	27,7	26,6	26,2	79	22,4	0,0	SW	26,2	28,3	29.796	0,00	0,00
21:00	27,4	26,2	25,8	81	22,5	0,0	SW	25,8	28,0	29.815	0,00	0,00
22:00	27,2	25,8	25,7	81	22,4	0,0	SSE	25,7	27,8	29.827	0,00	0,00
23:00	26,9	25,7	25,3	83	22,4	0,0	---	25,3	27,4	29.836	0,00	0,00

**APÊNDICE 10 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE TEMPERATURA DO AR (°C)
NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO**

DATA	HORA	0% Permeável	10% Permeável	20% Permeável	30% Permeável	40% Permeável
11/11/2017	00:00	28,03	27,41	26,8	26,26	25,9
11/11/2017	01:00	27,7	27,12	26,49	25,98	25,63
11/11/2017	02:00	27,42	26,86	26,21	25,74	25,45
11/11/2017	03:00	27,17	26,6	25,98	25,53	25,28
11/11/2017	04:00	26,94	26,37	25,79	25,36	25,13
11/11/2017	05:00	26,72	26,14	25,62	25,23	25
11/11/2017	06:00	26,52	25,97	25,48	25,1	24,88
11/11/2017	07:00	27,37	26,93	26,47	26,17	25,94
11/11/2017	08:00	29,52	29,28	29,07	28,84	28,65
11/11/2017	09:00	30,59	30,29	30,04	29,78	29,58
11/11/2017	10:00	31,76	31,47	31,23	30,93	30,69
11/11/2017	11:00	32,96	32,68	32,48	32,19	31,95
11/11/2017	12:00	34,07	33,85	33,7	33,42	33,18
11/11/2017	13:00	34,94	34,8	34,74	34,5	34,3
11/11/2017	14:00	35,45	35,37	35,36	35,19	35,03
11/11/2017	15:00	35,52	35,46	35,46	35,31	35,18
11/11/2017	16:00	35,17	35,07	35,01	34,82	34,68
11/11/2017	17:00	34,32	34,13	33,91	33,64	33,44
11/11/2017	18:00	33,21	32,95	32,65	32,34	32,1
11/11/2017	19:00	32,5	32,22	31,9	31,57	31,32
11/11/2017	20:00	31,95	31,63	31,29	30,92	30,68
11/11/2017	21:00	31,49	31,15	30,79	30,38	30,09
11/11/2017	22:00	31,1	30,74	30,33	29,92	29,58
11/11/2017	23:00	30,75	30,35	29,93	29,47	29,18
12/11/2017	00:00	30,4	29,98	29,5	29,11	28,82

APÊNDICE 11 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (%) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO

DATA	HORA	0% Permeável	10% Permeável	20% Permeável	30% Permeável	40% Permeável
11/11/2017	00:00	72,18	75,78	79,43	83,6	86,76
11/11/2017	01:00	73,48	76,87	80,78	85,09	88,34
11/11/2017	02:00	74,5	77,75	82,21	86,2	88,68
11/11/2017	03:00	75,34	78,72	83,3	87,21	89,23
11/11/2017	04:00	76,1	79,54	84,05	87,72	89,58
11/11/2017	05:00	76,83	80,79	84,62	88,18	90,16
11/11/2017	06:00	77,49	81,33	84,88	88,3	90,48
11/11/2017	07:00	75,64	78,36	82,03	84,58	86,53
11/11/2017	08:00	65,69	68,67	71,68	74,19	76
11/11/2017	09:00	60,9	63,45	66,15	68,8	70,76
11/11/2017	10:00	56,31	58,71	61,19	63,88	65,96
11/11/2017	11:00	52,07	54,31	56,46	59,07	61,11
11/11/2017	12:00	48,31	50,18	51,95	54,35	56,25
11/11/2017	13:00	45,54	46,96	48,23	50,24	51,85
11/11/2017	14:00	43,96	45,04	45,99	47,59	48,89
11/11/2017	15:00	43,55	44,48	45,3	46,69	47,81
11/11/2017	16:00	44,27	45,25	46,19	47,61	48,72
11/11/2017	17:00	46,28	47,56	48,97	50,66	51,96
11/11/2017	18:00	49	50,47	52,08	53,88	55,28
11/11/2017	19:00	50,77	52,28	53,95	55,83	57,3
11/11/2017	20:00	52,04	53,69	55,48	57,46	58,92
11/11/2017	21:00	53,13	54,84	56,72	58,85	60,49
11/11/2017	22:00	54,06	55,84	57,93	60,11	61,95
11/11/2017	23:00	54,9	56,88	59,02	61,44	63,15
12/11/2017	00:00	55,79	57,84	60,27	62,56	64,27

**APÊNDICE 12 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DA TEMPERATURA
RADIANTE MÉDIA (°C) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO**

DATA	HORA	0% Permeável	10% Permeável	20% Permeável	30% Permeável	40% Permeável
11/11/2017	00:00	26,43	25,52	24,68	23,96	23,44
11/11/2017	01:00	26,04	25,15	24,34	23,65	23,15
11/11/2017	02:00	25,7	24,82	24,04	23,37	22,89
11/11/2017	03:00	25,39	24,52	23,77	23,13	22,67
11/11/2017	04:00	25,1	24,25	23,52	22,9	22,47
11/11/2017	05:00	24,84	24	23,3	22,71	22,29
11/11/2017	06:00	24,59	23,78	23,1	22,53	22,13
11/11/2017	07:00	46,68	45,69	44,2	43,49	43,01
11/11/2017	08:00	61,63	60,49	58,08	57,18	56,6
11/11/2017	09:00	70,97	69,6	66,35	65,2	64,46
11/11/2017	10:00	76,67	75,21	71,53	70,19	69,28
11/11/2017	11:00	79,22	77,76	73,82	72,44	71,54
11/11/2017	12:00	80,65	79,34	75,32	74,01	73,16
11/11/2017	13:00	82,32	81,25	77,54	76,41	75,7
11/11/2017	14:00	81,14	80,27	77,03	76,09	75,52
11/11/2017	15:00	75,92	75,19	72,55	71,74	71,26
11/11/2017	16:00	66,27	65,59	63,48	62,72	62,25
11/11/2017	17:00	48,48	47,73	46,03	45,22	44,67
11/11/2017	18:00	33,34	32,76	32	31,4	30,96
11/11/2017	19:00	32,12	31,52	30,82	30,22	29,77
11/11/2017	20:00	31,25	30,64	29,97	29,34	28,89
11/11/2017	21:00	30,56	29,94	29,28	28,63	28,15
11/11/2017	22:00	29,99	29,35	28,69	28,02	27,53
11/11/2017	23:00	29,5	28,84	28,17	27,49	27
12/11/2017	00:00	29,06	28,38	27,7	27,02	26,53

APÊNDICE 13 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (°C) NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO

DATA	HORA	0% Permeável	10% Permeável	20% Permeável	30% Permeável	40% Permeável
11/11/2017	00:00	30,38	29,82	25,69	25,35	25,12
11/11/2017	01:00	29,95	29,41	25,39	25,09	24,89
11/11/2017	02:00	29,59	29,06	25,15	24,87	24,69
11/11/2017	03:00	29,28	28,75	24,93	24,68	24,51
11/11/2017	04:00	28,99	28,46	24,74	24,5	24,35
11/11/2017	05:00	28,73	28,2	24,56	24,36	24,22
11/11/2017	06:00	28,48	27,96	24,4	24,21	24,09
11/11/2017	07:00	29,46	28,96	26,46	26,24	26,07
11/11/2017	08:00	34,11	33,69	31,8	31,52	31,28
11/11/2017	09:00	37,72	37,34	35,24	34,82	34,5
11/11/2017	10:00	41,01	40,65	38,91	38,3	38,02
11/11/2017	11:00	43,7	43,36	42,89	42,08	41,55
11/11/2017	12:00	45,64	45,33	46,81	45,9	45,17
11/11/2017	13:00	46,65	46,41	49,39	48,7	47,97
11/11/2017	14:00	46,62	46,43	49,54	49,18	48,55
11/11/2017	15:00	45,46	45,31	47,42	47,21	46,97
11/11/2017	16:00	43,21	43,05	43,45	43,25	43,05
11/11/2017	17:00	39,96	39,75	37,74	37,46	37,23
11/11/2017	18:00	36,84	36,6	33,2	32,92	32,69
11/11/2017	19:00	35,58	35,32	31,99	31,7	31,47
11/11/2017	20:00	34,74	34,46	31,11	30,8	30,57
11/11/2017	21:00	34,08	33,78	30,39	30,06	29,81
11/11/2017	22:00	33,54	33,23	29,77	29,43	29,15
11/11/2017	23:00	33,08	32,75	29,23	28,87	28,61
12/11/2017	00:00	32,67	32,32	28,73	28,39	28,14

**APÊNDICE 14 – TABELA DE DADOS SIMULADOS DA UMIDADE DO SOLO (%)
NOS PONTOS – CENÁRIO HIPOTÉTICO**

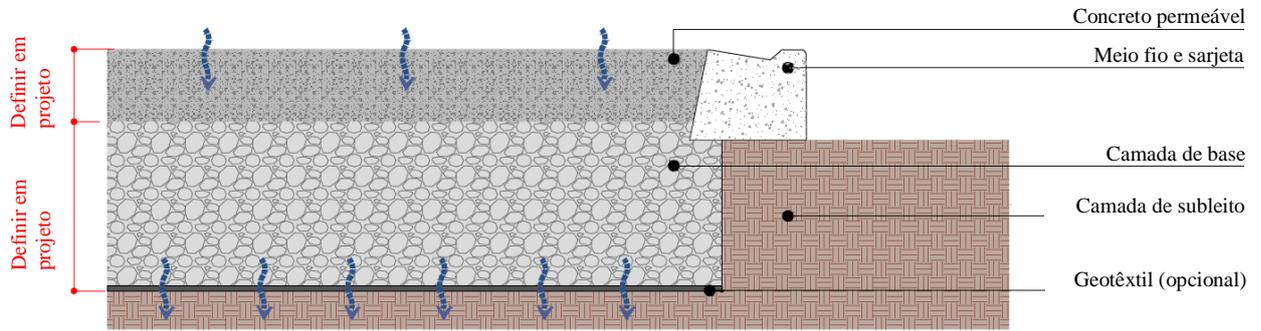
DATA	HORA	0% Permeável	10% Permeável	20% Permeável	30% Permeável	40% Permeável
11/11/2017	00:00	16,48	16,7	17,55	17,76	17,94
11/11/2017	01:00	16,46	16,64	17,51	17,74	17,92
11/11/2017	02:00	16,42	16,58	17,5	17,7	17,8
11/11/2017	03:00	16,36	16,53	17,46	17,66	17,72
11/11/2017	04:00	16,31	16,48	17,41	17,58	17,63
11/11/2017	05:00	16,25	16,51	17,34	17,52	17,59
11/11/2017	06:00	16,2	16,46	17,26	17,42	17,51
11/11/2017	07:00	16,62	16,77	18,38	18,53	18,62
11/11/2017	08:00	16,37	16,87	20,96	21,38	21,61
11/11/2017	09:00	16,13	16,52	21,65	22,22	22,59
11/11/2017	10:00	15,94	16,35	21,57	22,31	22,89
11/11/2017	11:00	15,77	16,2	20,47	21,38	22,03
11/11/2017	12:00	15,58	15,98	18,65	19,59	20,27
11/11/2017	13:00	15,42	15,77	17,06	17,8	18,37
11/11/2017	14:00	15,3	15,61	16,28	16,77	17,16
11/11/2017	15:00	15,22	15,49	15,99	16,34	16,63
11/11/2017	16:00	15,17	15,43	15,9	16,19	16,42
11/11/2017	17:00	15,14	15,39	15,87	16,13	16,34
11/11/2017	18:00	15,06	15,28	15,74	15,96	16,13
11/11/2017	19:00	14,99	15,19	15,71	15,9	16,05
11/11/2017	20:00	14,9	15,09	15,67	15,84	15,97
11/11/2017	21:00	14,82	15	15,65	15,8	15,92
11/11/2017	22:00	14,74	14,92	15,63	15,78	15,89
11/11/2017	23:00	14,67	14,85	15,61	15,76	15,88
12/11/2017	00:00	14,62	14,8	15,61	15,77	15,88

APÊNDICE 15 – TABELA DE IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS TOTAIS, EDIFICADAS, LIVRES DE EDIFICAÇÕES E REVESTIDAS COM MATERIAIS PERMEÁVEIS PARA CADA LOTE ESTUDADO

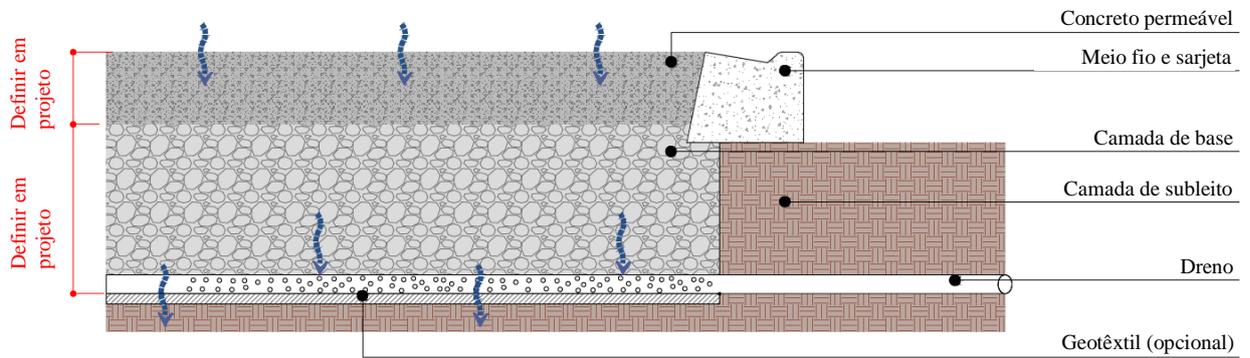
LOTE	ÁREA TOTAL (m²)	ÁREA EDIFICADA (m²)	ÁREA LIVRE (m²)	ÁREA PERMEÁVEL (%)
1	1.030	374	656	30
2	450	217	233	4
3	450	224	226	12
4	450	217	233	21
5	450	0	450	100
6	450	306	144	9
7	450	0	450	100
8	450	0	450	100
9	450	0	450	100
10	450	250	200	0
11	900	0	900	100
12	690	395	295	37
13	580	325	255	20
14	450	320	130	0
15	450	250	200	11
16	450	284	166	0
17	450	250	200	13
18	450	0	450	100
19	450	336	114	2
20	450	0	450	100
21	675	468	207	7
22	675	385	290	10
23	450	312	138	8
24	450	225	225	4
25	690	424	266	27
Quadra	13.340 m²	5562 m²	7778 m²	36,6 %

ANEXO A – CORTES ESQUEMÁTICOS PARA INSTALAÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

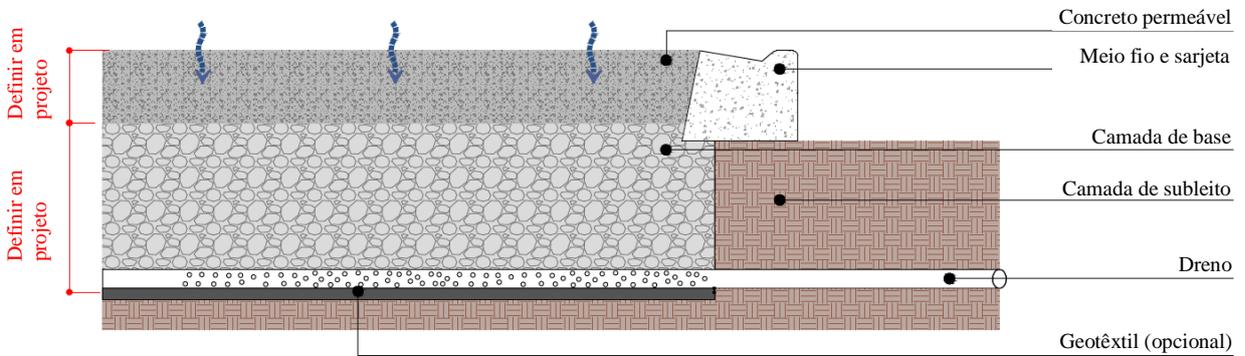
a) com infiltração total no solo



b) com infiltração parcial no solo



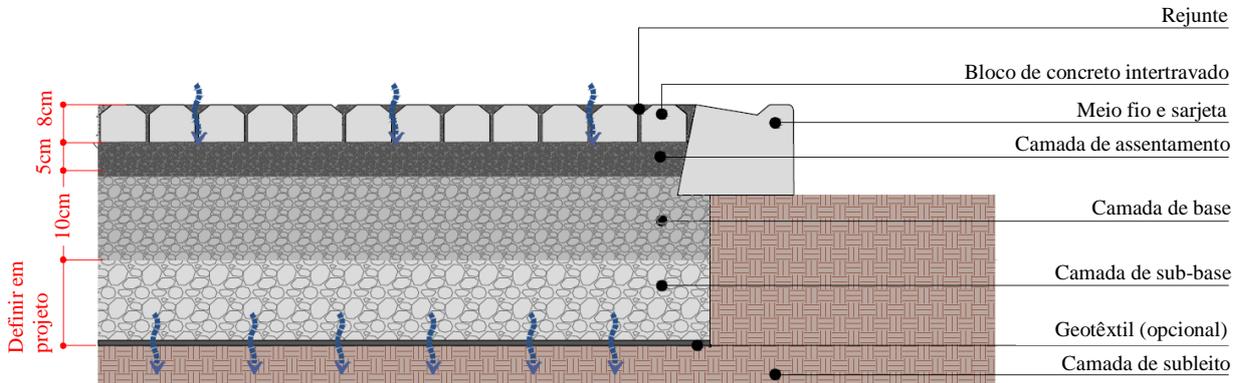
c) sem infiltração no solo



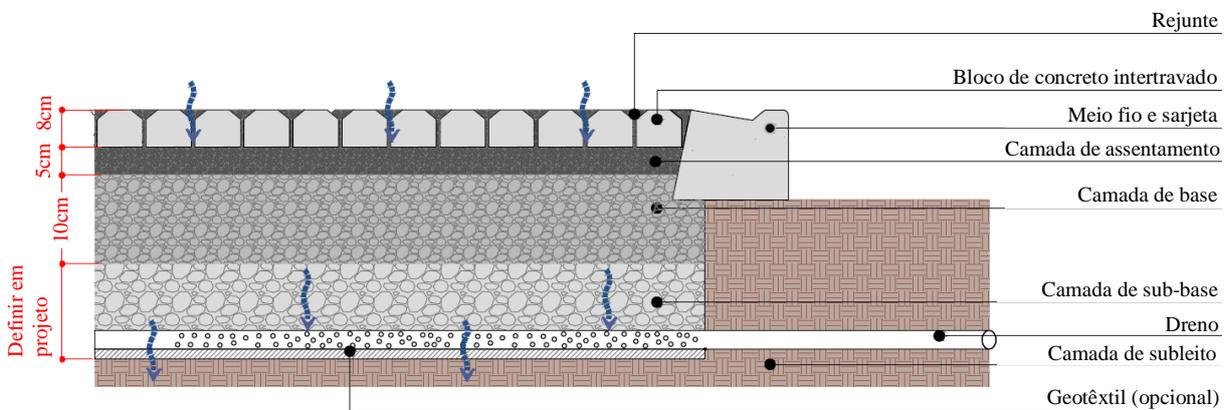
Fonte: Mota (2013).

ANEXO B – CORTES ESQUEMÁTICOS PARA INSTALAÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO

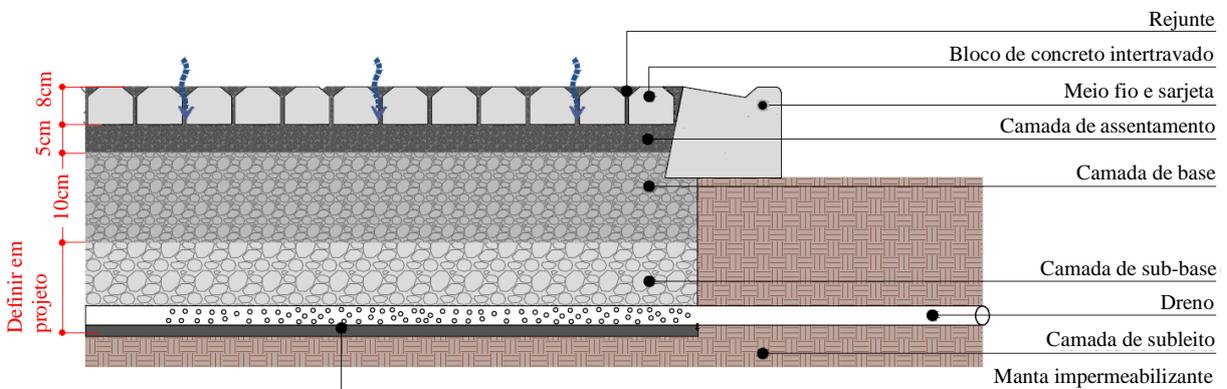
a) com infiltração total no solo



b) com infiltração parcial no solo

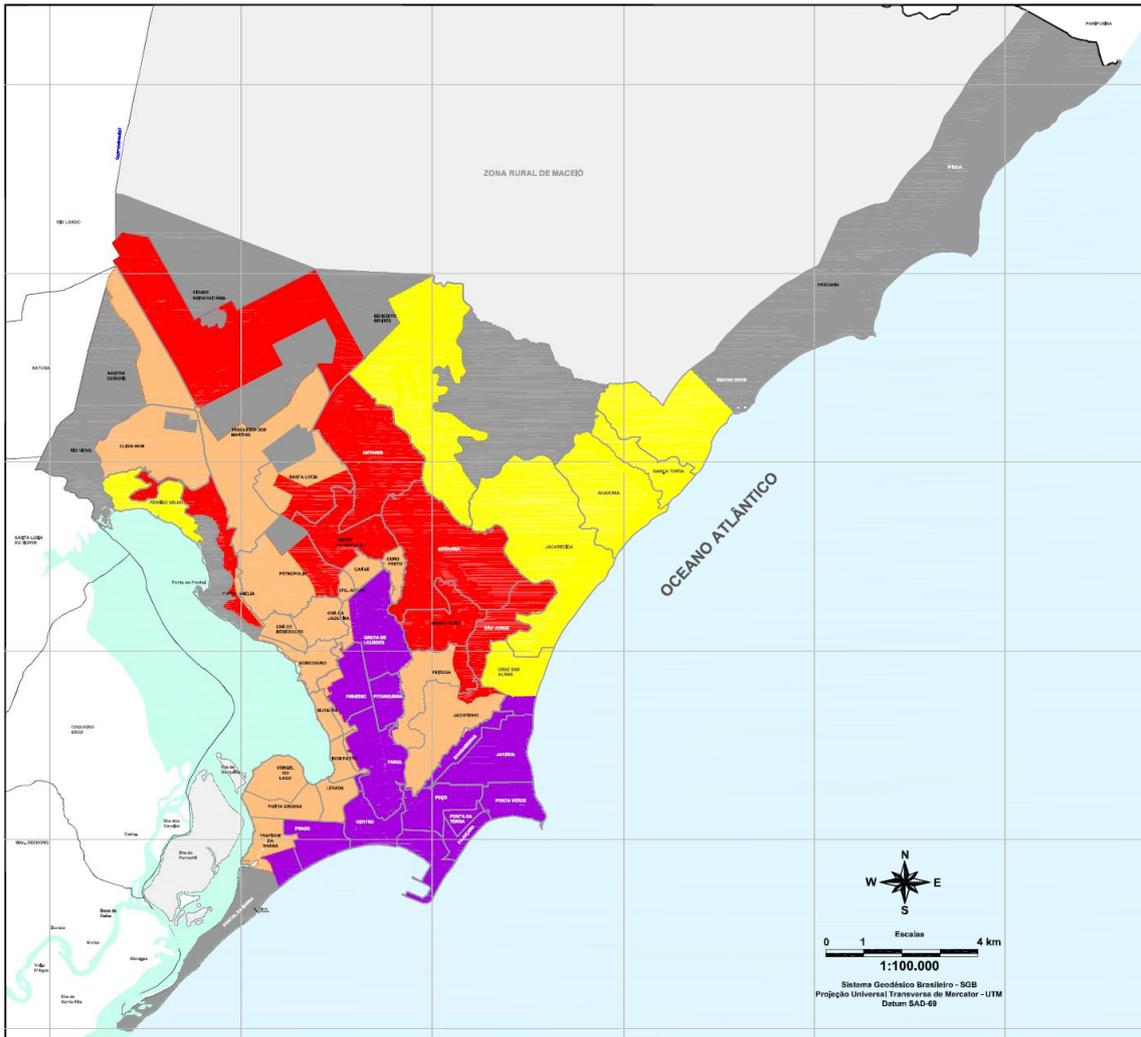


c) sem infiltração no solo



Fonte: Mota (2013).

ANEXO C – MACROZONAS URBANAS



LEGENDA

Elementos Cartográficos:

-  oceano
-  lagoa
-  área urbana
-  área rural
-  limite municipal
-  limite bairro

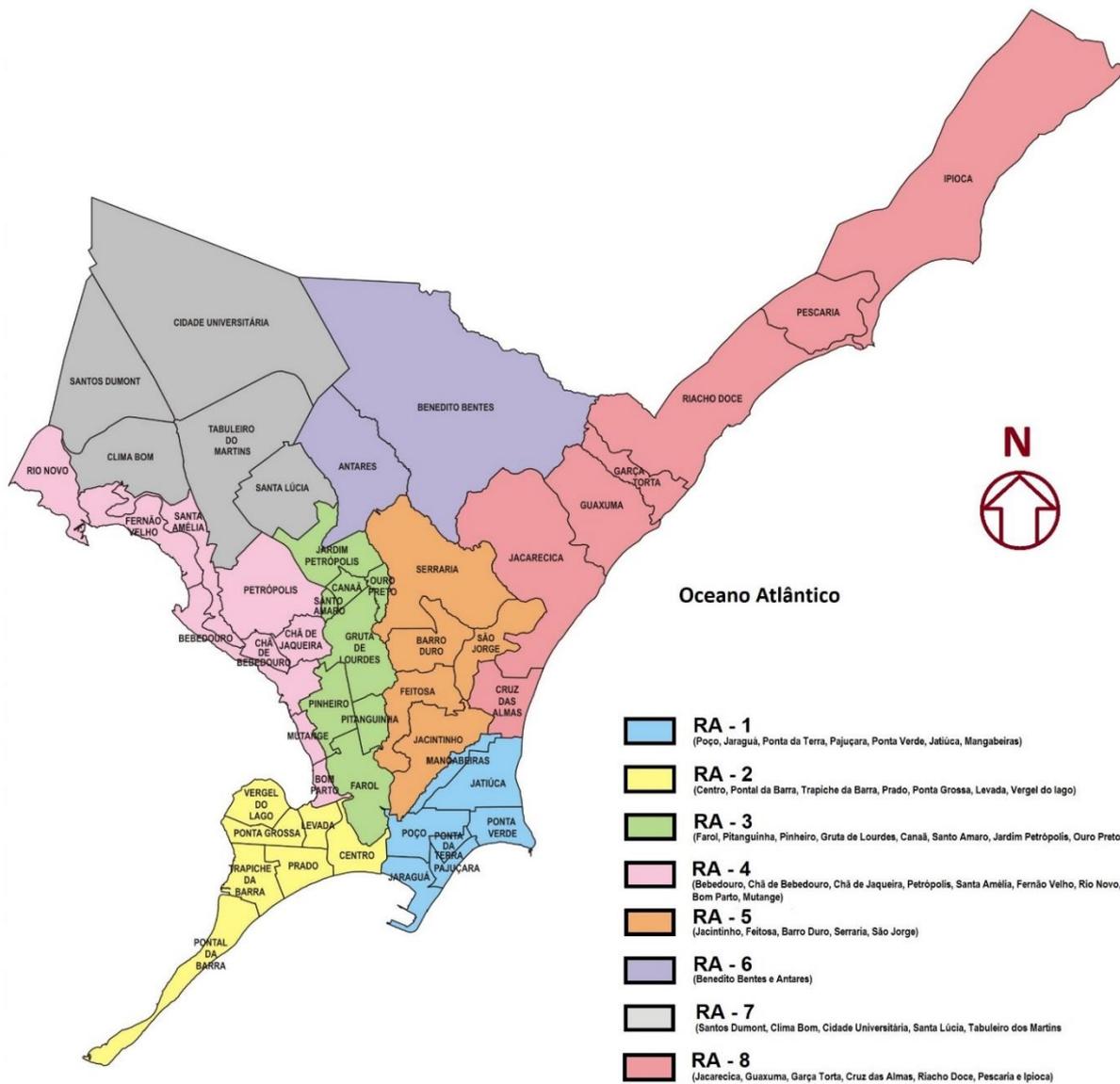
Elementos Temáticos:

-  Macrozona de adensamento controlado
-  Macrozona de estruturação urbana
-  Macrozona prioritária para infra-estrutura
-  Macrozona de expansão urbana
-  Macrozona de restrição à ocupação

Fonte: Maceió (2005b)³⁹

³⁹ Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br/sempla/plano-diretor/>. Acesso em: 18 jun. 2016

ANEXO D – DIVISÃO ADMINISTRATIVA DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ

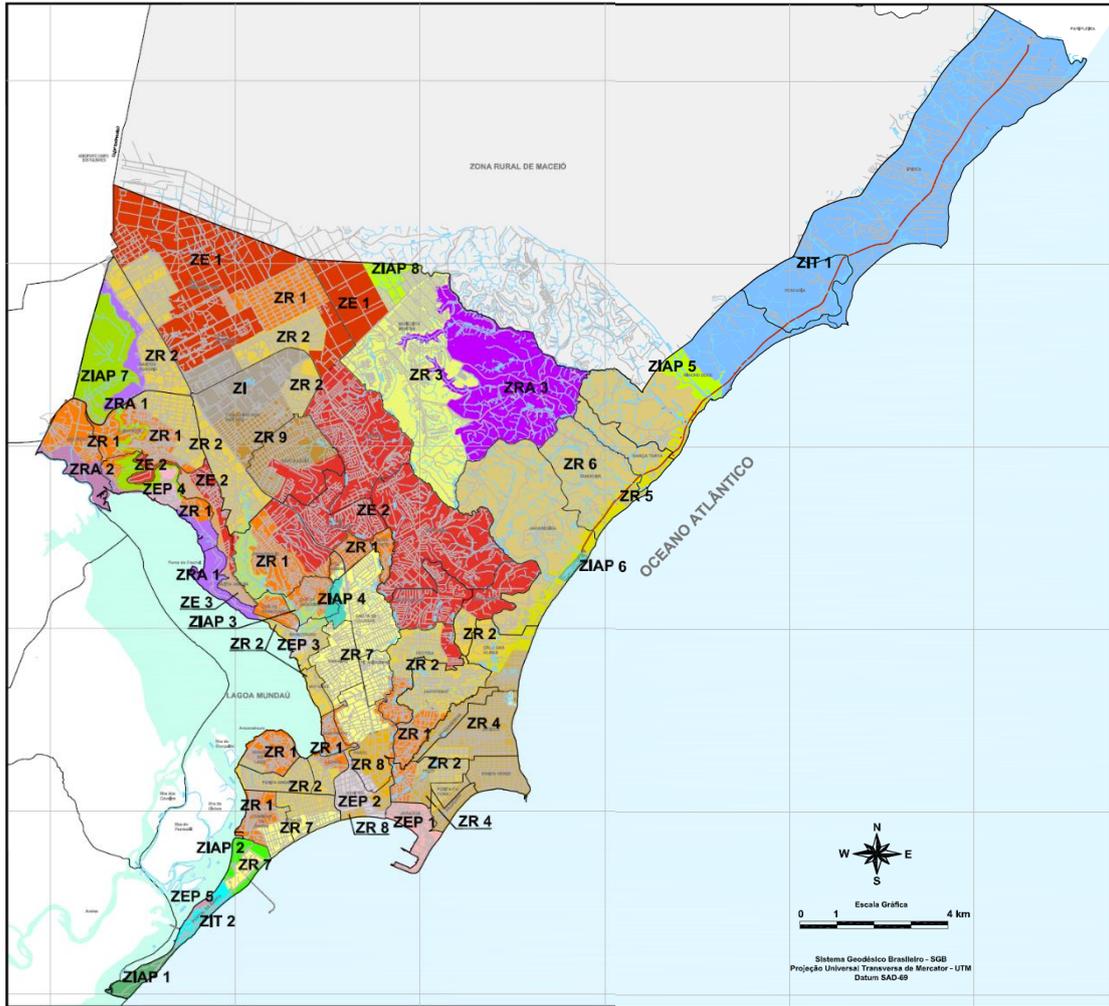


Fonte: Maceió (2005b)⁴⁰.



⁴⁰ Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br/sempla/plano-diretor/>. Acesso em: 18 jun. 2016.

ANEXO E – MAPA DE ZONEAMENTO DE MACEIÓ



LEGENDA

Elementos Cartográficos:



- limites municipais
- limite bairro

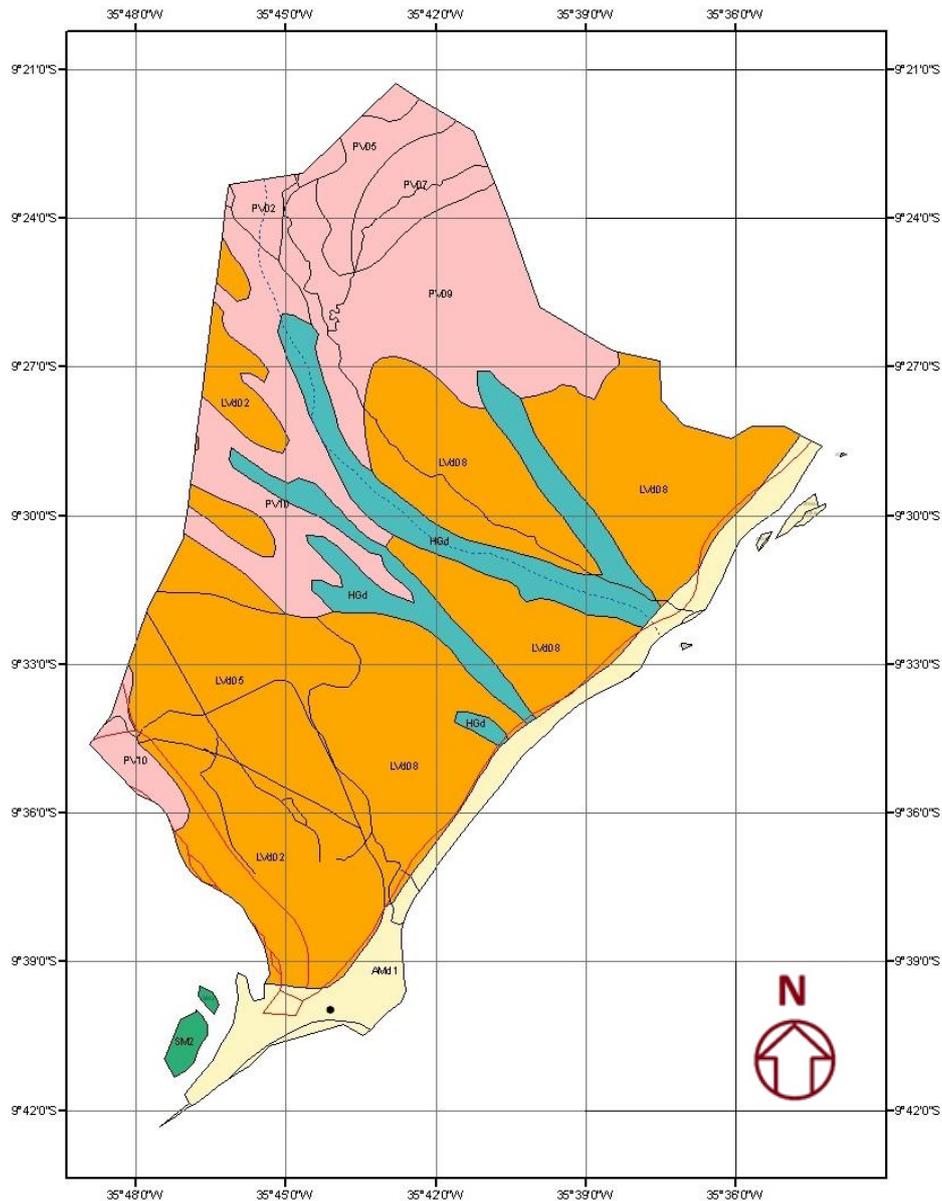
Elementos Temáticos:

ZONEAMENTO DE USO DO SOLO

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| ZE-1 (Zona de Expansão) | ZIT-1 (Zona de Interesse Turístico) | ZEP-1 (Zona Especial de Preservação) | ZR-1 (Zona Residencial) |
| ZE-2 (Zona de Expansão) | ZIT-2 (Zona de Interesse Turístico) | ZEP-2 (Zona Especial de Preservação) | ZR-2 (Zona Residencial) |
| ZE-3 (Zona de Expansão) | | ZEP-3 (Zona Especial de Preservação) | ZR-3 (Zona Residencial) |
| | | ZEP-4 (Zona Especial de Preservação) | ZR-4 (Zona Residencial) |
| | | ZEP-5 (Zona Especial de Preservação) | ZR-5 (Zona Residencial) |
| | | ZIAP-1 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZR-6 (Zona Residencial) |
| | | ZIAP-2 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZR-7 (Zona Residencial) |
| | | ZIAP-3 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZR-8 (Zona Residencial) |
| | | ZIAP-4 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZR-9 (Zona Residencial) |
| | | ZIAP-5 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZRA-1 (Zona Residencial e Agrícola) |
| | | ZIAP-6 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZRA-2 (Zona Residencial e Agrícola) |
| | | ZIAP-7 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZRA-3 (Zona Residencial e Agrícola) |
| | | ZIAP-8 (Zona de Interesse Ambiental e Paisagístico) | ZI (Zona Industrial) |

Fonte: MACEIÓ, 2005b

ANEXO F – MAPA DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE MACEÓ-AL



LEGENDA DE DOMÍNIO DE SOLOS			
	LATOSSOLOS VERMELHO AMARELOS DISTRÓFICOS (LVD)		SOLOS GLEYPOUCO HÚMIDOS (HGp)
	LATOSSOLOS VERMELHO AMARELOS EUTRÓFICOS (LVE)		SOLOS GLEYINDISCRIMINADOS (HG)
	LATOSSOLOS VERMELHO ESCUROS (LE)		SOLOS ORGÂNICOS (HO)
	PODZÓLICOS VERMELHO AMARELOS (PV)		SOLOS ALUVIAIS (A)
	PODZÓLICOS VERMELHO AMARELOS EQUIVALENTES EUTRÓFICOS (PE)		SOLOS LITÓLICOS (R)
	BRUNOS NÃO CÁLCICOS (NC)		REGOSSOLOS (RE)
	PLANOSSOLOS (PL)		AREIAS QUARTZOSAS (AQ)
	PODZÓIS (P)		AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS (AQM)
	CAMBISSOLOS (C)		
	SOLOS DE MANGUE (SM)		

OBS: Considerar nesta legenda somente os itens cujas cores possuem correspondência no mapa de solos do município.

ANEXO G – PARÂMETROS URBANÍSTICOS POR ZONA E CORREDORES DE ATIVIDADES MÚLTIPLAS PARA ÁREA DE ESTUDO

Zonas	Usos	Taxa de Ocupação do Terreno Máxima	Altura Máxima da Edificação (nº pavtos)	Testada Mínima do Lote (m)	Área Mínima do Lote (m ²)	Recuo Mínimo		Coeficiente de Aproveitamento do Terreno	Vagas de estacionamento
						Frontal (m)	Laterais e de fundos (m)		
ZR-7	UR-1	60%	2	---	---	3	1,50	2	Espaço p/ guarda de 01 veículo. (*2)
	UR-4	Para condomínios horizontais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-1; Para condomínios verticais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-5.							
	UR-5	50%	10	---	---	$R = 3 + \frac{n-2}{2}$	$R = 1,50 + \frac{n-2}{2}$	4	AC: - até 100m ² : 1 (uma) vaga por unidade. - acima de 100m ² até 250m ² : 2 (duas) vagas por unidade. - acima de 250m ² : 3 (três) vagas por unidade.
		35%	15						
	Comercial, Serviços e Industrial – Grupos I, II e III e IV.	AC até 70m ² : 80%	2 (*8)	---	---	---	5	2	2
AC até 300m ² : 70%									
AC até 900m ² : 60%									
AC acima de 900m ² : 50%									

AC – Área Construída n - número de pavimentos

(*2) – Exigência para lotes ou terrenos com testada superior a 8,00m.

(*8) – Podendo chegar até 20 pavimentos, sendo que a partir do 3º. Piso obedece às regras do uso UR-5.

Na ZR-7, para novos parcelamentos a testada mínima será 12m e a área mínima do lote será 360m².

Fonte: Maceió (2007).