Clima Urbano

Conceitos, ilha de calor, o Nordeste e o caso do Recife

Prof. Ranyére Nóbrega · Geografia

01

Fundamentos

A cidade como ecossistema e a construção do clima urbano como campo de estudo

Ecossistema urbano

Desde a 2ª Guerra Mundial, os estudos sobre qualidade de vida urbana tomaram maior importância.
A cidade passa a ser considerada um “ecossistema” , diferente dos naturais por ser um meio tecnificado , adaptado às necessidades da espécie humana, e não às espécies vegetais ou animais.

DEFINIÇÃO

Conjunto de elementos, processos e inter-relações de tipo físico, químico e biológico característico do meio urbano. O clima, os fluxos de energia, o ciclo de nutrientes e sua estrutura espacial e biológica diferem sensivelmente dos ecossistemas naturais.

García (1999)

Linha do tempo dos estudos de clima urbano

1833

Fase clássica

Primeiras observações sistemáticas em Londres (L. Howard)

1921

Chuva urbana

Horton observa mais tempestades na cidade que no entorno rural

1950–80

Experimentalismo

Campanhas de medição e projeto METROMEX

1974

Perfil de Oke

Perfil clássico da ilha de calor: pico, platô e penhasco

1976

Monteiro

Sistema Clima Urbano (SCU) no Brasil

2000

Fase moderna

Modelos, geotecnologias; estudos no Nordeste ganham destaque

Periodização baseada em Stewart (2019) e Moreira et al. (2022)

Definição de clima urbano

“A cidade gera um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local.”

Monteiro (1976, p. 134)

Sistema Clima Urbano (Monteiro, 1976)

Um sistema aberto e adaptativo, organizado em subsistemas e percebido pela população por canais.

SUBSISTEMA

Termodinâmico

Canal: conforto térmico .

Temperatura, umidade, ventilação e ilha de calor.

SUBSISTEMA

Físico-químico

Canal: qualidade do ar .

Poluentes, partículas e núcleos de condensação.

SUBSISTEMA

Hidrometeórico

Canal: impacto meteórico .

Chuvas intensas, alagamentos e tempestades.

Controles, atributos e fenômenos

ORIGEM

Intervenção antrópica
no espaço urbano

→

CONTROLES OU FATORES

Morfologia urbana

→

ATRIBUTOS OU ELEMENTOS

Modificações no comportamento dos atributos climáticos

M = C + L + U

Lowry (1977): uma variável climática urbana (M) resulta das componentes regional (C), local (L) e urbana (U).

Atributos e fenômenos climáticos urbanos

ATRIBUTO	FENÔMENO	PROCESSO
Pluviosidade	Enchentes	Variação dos índices pluviométricos e aumento do escoamento superficial
Radiação solar	Balanço de radiação	Acúmulo de energia e variação de temperatura
Temperatura	Ilha de calor · Inversão térmica	Variação ao longo da mancha urbana; circulação das massas de ar quente e frio
Vento	Campos de vento	Variação da pressão atmosférica e atritos de superfície
Qualidade do ar	Chuva ácida	Circulação do ar e concentração de poluentes

02

Balanço de radiação

Como a superfície urbana absorve, armazena e devolve energia

Albedo e reflexão da radiação solar

Albedo é o índice de reflexão de uma superfície. Varia de 0 (corpo negro) a 1 (espelho).

ENTORNO RURAL

25%

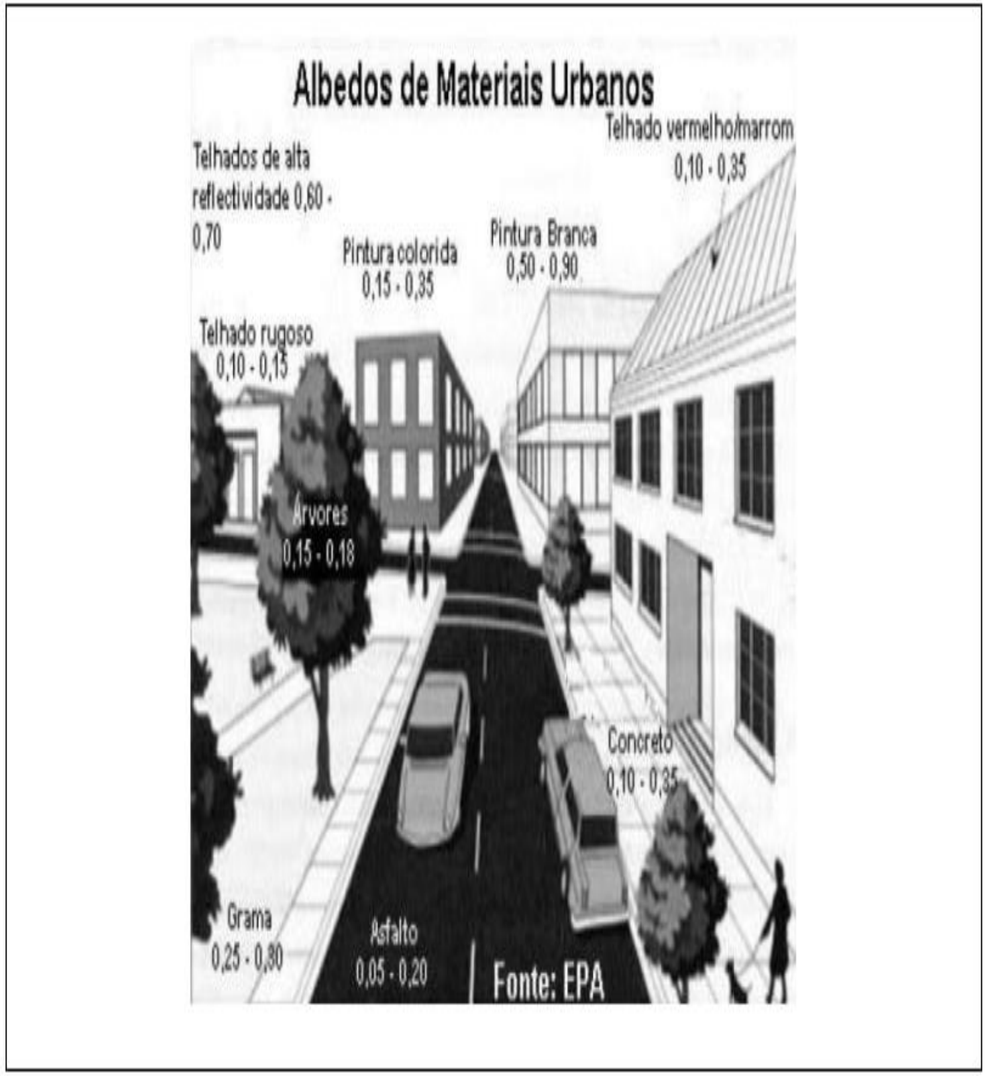
da radiação refletida

CENTRO URBANO

5%

da radiação refletida

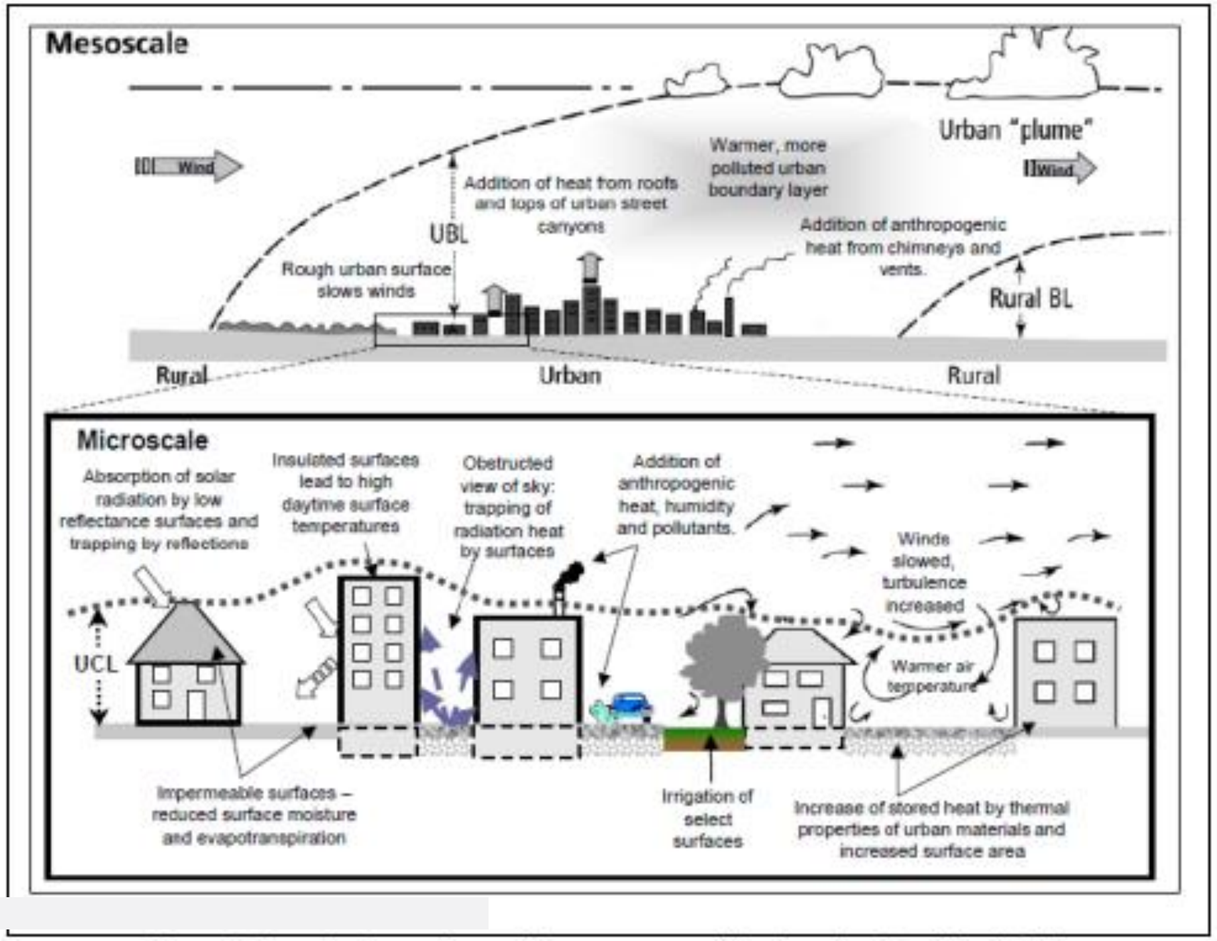
Menos reflexão significa mais energia acumulada e temperaturas mais altas.



Fonte: EPA (US Environmental Protection Agency)

Camadas da atmosfera urbana

Figura 2 - Estratificação vertical da atmosfera e o processo de formação da ilha de calor



Fonte: Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf. Acesso em: 03/04/2020.

Camada limite urbana : acima dos telhados, influenciada pela cidade como um todo.

Camada do dossel urbano : do solo ao nível médio das edificações.

O cânion urbano , via e edifícios adjacentes, é a menor unidade da estrutura urbana.

Variáveis do balanço energético na camada do dossel

VARIÁVEIS ALTERADAS DO BALANÇO ENERGÉTICO QUE CONDUZEM AS ANOMALIAS TÉRMICAS	CARACTERÍSTICAS DA URBANIZAÇÃO QUE MOTIVAM AS MUDANÇAS NO BALANÇO ENERGÉTICO
CAMADA DE COBERTURA URBANA (*Urban canopy layer*)	
Aumento da absorção da radiação de onda curta	Geometria do *canyon* - aumento da área de superfície exposta e de reflexão múltipla
Aumento da radiação de onda longa vinda do céu	Poluição do ar - maior absorção e reemissão
Diminuição da perda de radiação de onda longa	Geometria do *canyon* - redução do fator de céu visível
Fonte de calor antropogênico	Perdas de calor dos edifícios e tráfico urbano
Aumento do armazenamento de calor sensível	Materiais de construção - aumento da inércia térmica
Diminuição da evapotranspiração	Materiais de construção - aumento da impermeabilidade do solo
Diminuição do calor total transportado pelo fluxo de ar turbulento	Geometria do *canyon* - redução da velocidade do vento

Mecanismos na camada limite urbana

CAMADA LIMITE URBANA (*Urban boundary layer)*	
Aumento da absorção da radiação de onda curta	Poluição do ar - aumento da absorção pelos aerossóis
Fonte de calor antropogênico	Perdas de calor pelas chaminés e tráfego
Aumento do calor sensível vindo de baixo	Ilha de calor ao nível da cobertura urbana - aumento do fluxo de calor da camada e telhados
Aumento de calor sensível vindo de cima	Ilha de calor, rugosidade - aumento da entrada turbulenta

Barbosa (2009), adaptado de Oke (1982)

Características urbanas e efeitos no balanço de energia

CARACTERÍSTICAS QUE CONTRIBUEM PARA A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR	EFEITOS SOBRE O BALANÇO DE ENERGIA
Falta de vegetação	Reduz a evapotranspiração
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção/aumenta turbulência
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta calor antropogênico

Fonte: Gartland (2010)

Propriedades radiativas dos materiais

Tabela 7 - Propriedades radiativas de materiais urbanos

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
Ruas		
Asfalto	0.05 - 0.20	0.95
Paredes		
Concreto	0.10 - 0.35	0.71 - 0.90
Tijolos	- 0.40	0.90 - 0.92
Pedras	0.20 - 0.35	0.85 - 0.95
Madeiras		0.90
Telhados		
Piche e cascalho	0.08 - 0.18	0.92
Telhas	0.10 - 0.35	0.90
Ardósia	0.10	0.90
Sapé - Folhagem	0.15 - 0.20	
Chapa Ondulada	0.10 - 0.16	0.13 - 0.28
Pinturas		
Brancas, Caiadas	0.50 - 0.90	0.85 - 0.95
Vermelha, Marrom, Verde	0.20 - 0.35	0.85 - 0.95
Preta	0.02 - 0.15	0.90 - 0.98
Áreas urbanas		
Variações	0.10 - 0.27	0.85 - 0.96
Médias	0.15	0.95

Fonte: Amorim (2020), adaptado de Oke (1987, p.281)

Materiais urbanos

Tabela 8 - Propriedades radiativas de materiais rurais

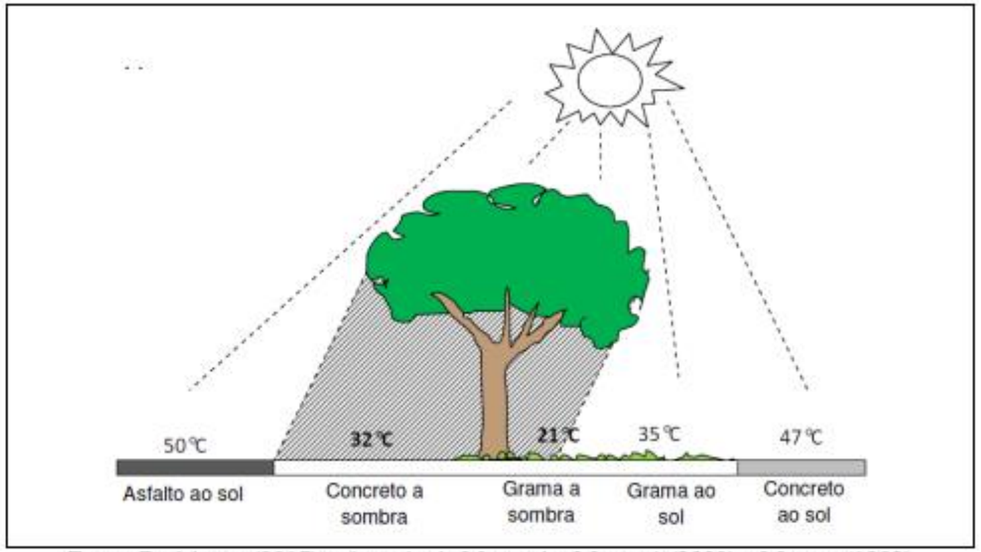
SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
Solos		
Escuro, Úmido	0.05	0.90
Claro, Seco	0.04	0.90
Grama		
Alta (1m)	0.16	0.90
Baixa (0.02m)	0.26	0.95
Culturas agrícolas, Tundra	0.18 - 0.25	0.90 - 0.99
Florestas Decíduas		
Sem folhagem	0.15	0.97
Com folhas	0.20	0.98
Água		
Pequeno ângulo zenital	0.03 - 0.10	0.92 - 0.97
Grande ângulo zenital	0.10 - 1.00	0.92 - 0.97

Fonte: Amorim (2020), adaptado de Oke (1987, p.12)

Materiais rurais

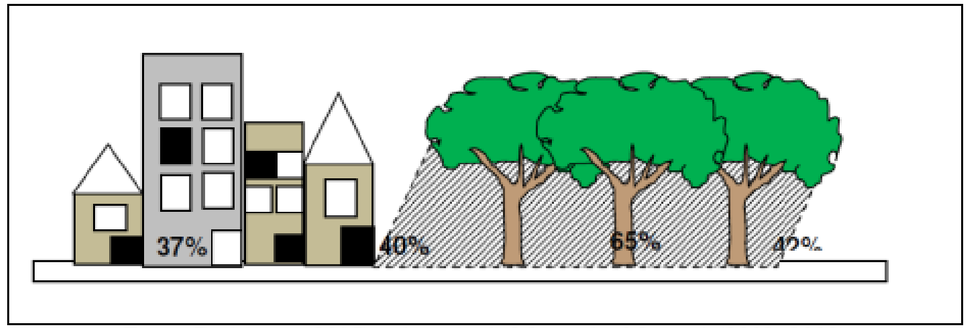
Sombra, vegetação e umidade

Figura 9 - Exemplo de temperatura da superfície com diferentes características urbanas



Fonte: Rodrigues (2017), adaptado de Mascaró e Mascaró (2009) e Moraes (1992)

Figura 10 - Exemplo de variação da umidade relativa do ar entre ambientes arborizados e não arborizados



Fonte: Rodrigues (2017), adaptado de Mascaró e Mascaró (2002; 2009)

Temperatura da superfície: de 50 °C no asfalto ao sol a 21 °C na grama à sombra

Umidade relativa do ar: maior sob a copa das árvores

03

Ilha de calor

O principal fenômeno do clima urbano

Ilha de calor urbana

O ar atmosférico da cidade é mais quente que o das áreas circundantes: o centro concentra mais calor que as redondezas.

75%

absorção de calor num campo de cultivo

95–98%

absorção no centro da grande cidade

Oke (1974): pico no centro, platô nos bairros e penhasco no limite urbano-rural.

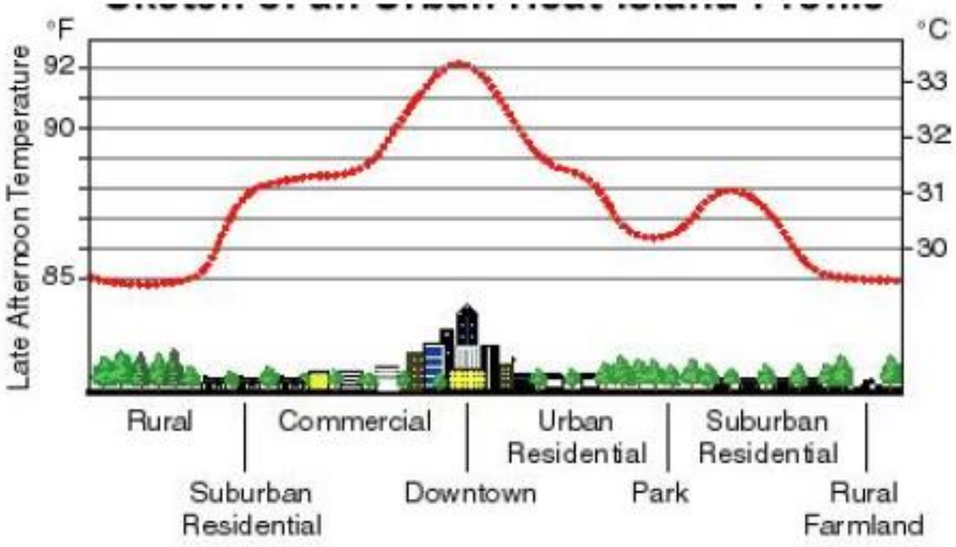


FIGURA 03 - Esquema representativo do perfil da ilha de calor urbana relacionada ao tipo de ocupação.
Fonte: EMMANUEL, 2005, p. 22

Perfil da ilha de calor por tipo de ocupação. Emmanuel (2005)

Fatores de ocorrência da ilha de calor

01

Superfícies que absorvem calor

Asfalto, tijolo, concreto, telhas de barro e amianto

02

Escassez de áreas verdes

Menor albedo e maior absorção de calor

03

Impermeabilização do solo

Calçamento, bueiros e galerias reduzem a evaporação

04

Densidade de edifícios

Barreiras à circulação dos ventos

05

Poluição atmosférica

Retém a radiação infravermelha (efeito estufa)

06

Calor antropogênico

Veículos, residências e indústrias

Consequências: instabilidade climática na mancha urbana e precipitações de fim de tarde no verão.

Tipos de ilha de calor (Oke et al., 2017)

ICU superficial

Temperatura das superfícies. Sensores de contato e sensoriamento remoto.

ICU da atmosfera inferior

Do solo ao nível médio das edificações. Pontos fixos e transectos móveis.

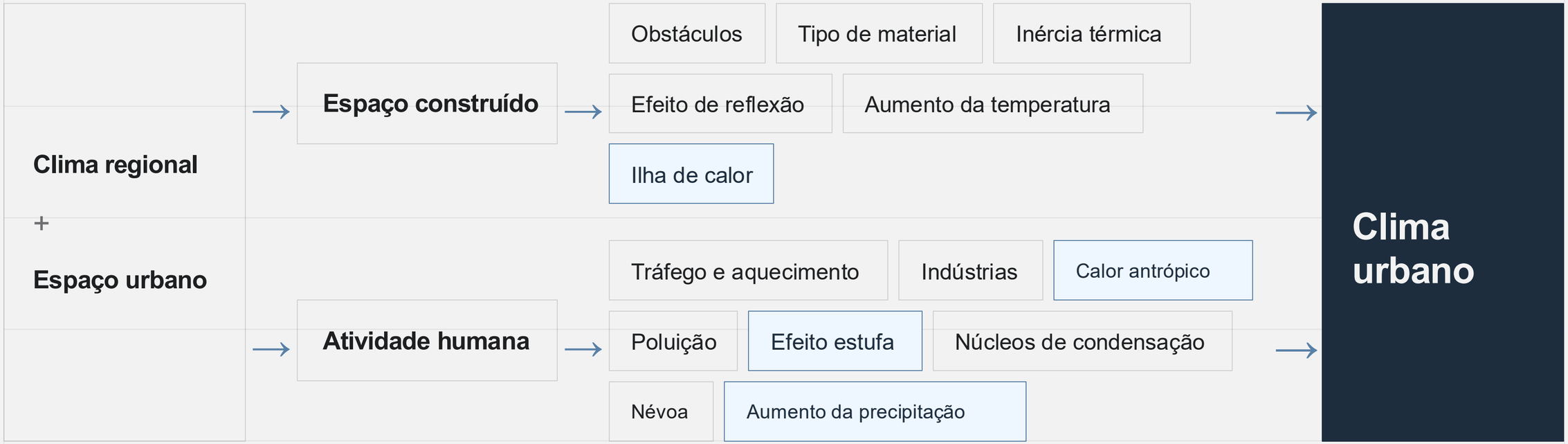
ICU da atmosfera superior

Do topo do dossel urbano ao topo da camada limite atmosférica.

ICU subsuperficial

Solos urbanos e construções subterrâneas. Ainda pouco explorada.

Síntese dos processos (García, 1996)



Elementos do clima: cidade comparada às áreas rurais

RADIAÇÃO TOTAL **−10 a 20%**	INSOLAÇÃO **−5 a 15%**	TEMP. MÉDIA ANUAL **+0,5 a 1 °C**	MÍNIMA DE INVERNO **+1 a 2 °C**
PRECIPITAÇÃO TOTAL **+5 a 10%**	NÉVOA DE INVERNO **+100%**	UMIDADE RELATIVA **−6%**	VENTO MÉDIO ANUAL **−20 a 30%**

Núcleos de condensação e partículas no ar urbano chegam a ser de 10 a 100 vezes superiores aos das áreas rurais.

04

Clima urbano no Nordeste

Cidades tropicais, expansão sem planejamento e desigualdade socioespacial

04 · NORDESTE

Clima urbano no Nordeste brasileiro

Os estudos na região ganharam destaque após 2000 (Zanella e Moura, 2013). Nas cidades tropicais, o tema é mais urgente por:

- maior instabilidade atmosférica
- efeitos mais intensos das mudanças climáticas
- expansão urbana sem planejamento adequado
- maiores desigualdades socioespaciais

RECIFE · PE

Morfologia urbana, verticalização da orla e ilha de calor

SALVADOR · BA

Ilhas de calor no miolo urbano; ilha de frescor no Cabula

JUAZEIRO DO NORTE · CE

Arborização na amenização climática

CARUARU · PE

Cobertura arbórea e microclima urbano

Desafios das pesquisas no Nordeste

Levar os resultados ao planejamento urbano
Compreender o efeito urbano na precipitação
Refinar as observações do efeito urbano
Superar a falta de pontos de observação: no Recife, há uma estação do INMET e outra da APAC
Integrar clima urbano e mudanças climáticas

SEMIÁRIDO

Secas recorrentes

No início do séc. XX, impulsionaram a migração para as capitais litorâneas

LITORAL

Chuvas intensas

Eventos pluviométricos frequentes atingem áreas ocupadas sem planejamento

Moreira, Nóbrega, Wanderley, Anjos e Zamparoni (2022)

05

O caso do Recife

218,4 km², cerca de 1,65 milhão de habitantes e 94 bairros (IBGE, 2020)

05 · RECIFE

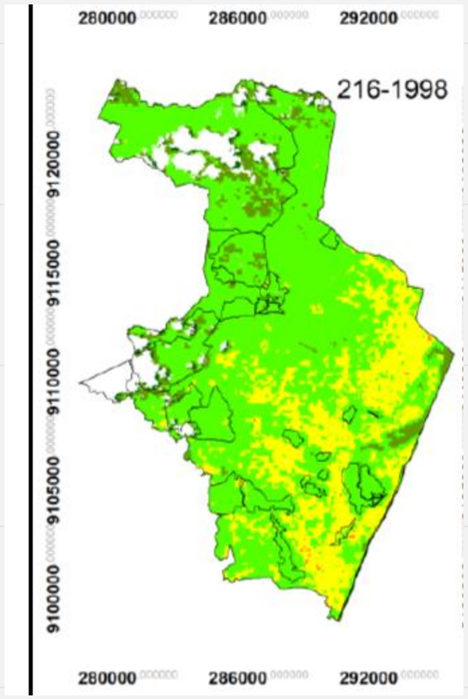
Formação urbana e clima no Recife

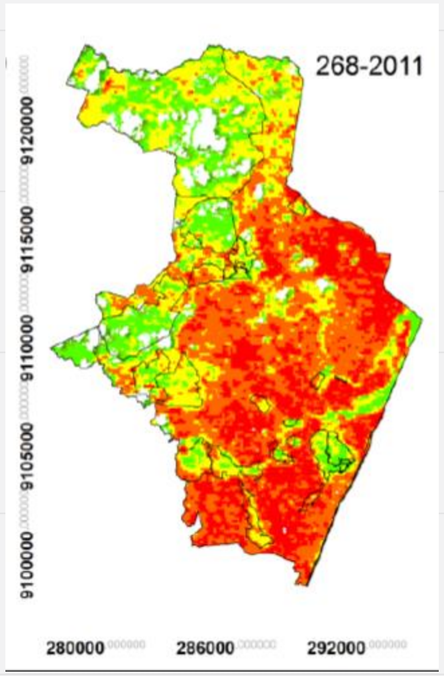
1906	1913	1920s	1939	1960s	2001	2015
Malha compacta	**16.347 mocambos**	**Av. Boa Viagem**	**45.581 mocambos**	**Verticalização**	**Lei dos 12 Bairros**	**Emergência**
Centro urbano cercado por povoados rurais	Migrantes da seca ocupam mangues e áreas alagadas	A orla vira área de veraneio	63,7% dos imóveis; enchentes do Capibaribe atingem mais pessoas	A orla se consolida como nova centralidade	Controle do gabarito em 4% da área da cidade	Arboviroses associadas ao Aedes aegypti

1º conflito · hidrometeórico: ocupação de áreas alagáveis e encostas expostas às chuvas.

2º conflito · termodinâmico: campo térmico urbano criado pelo crescimento intensivo e extensivo.

Expansão urbana em imagens Landsat: 1998 e 2011

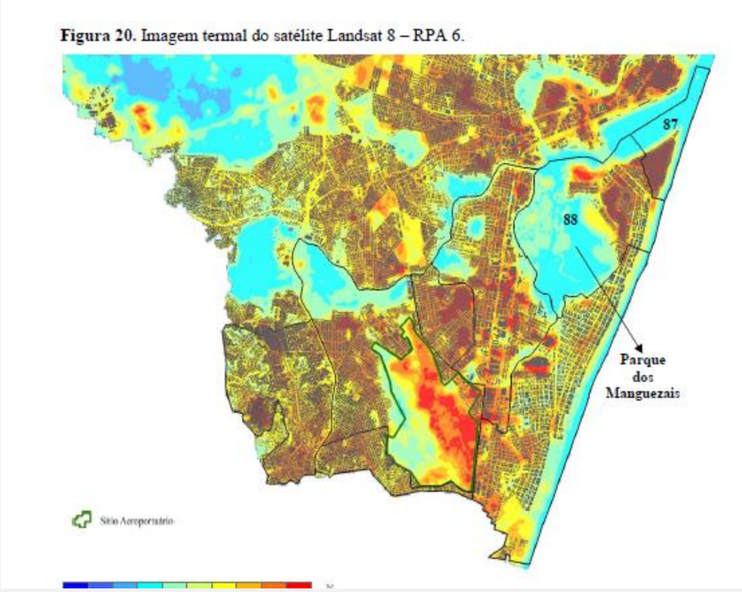


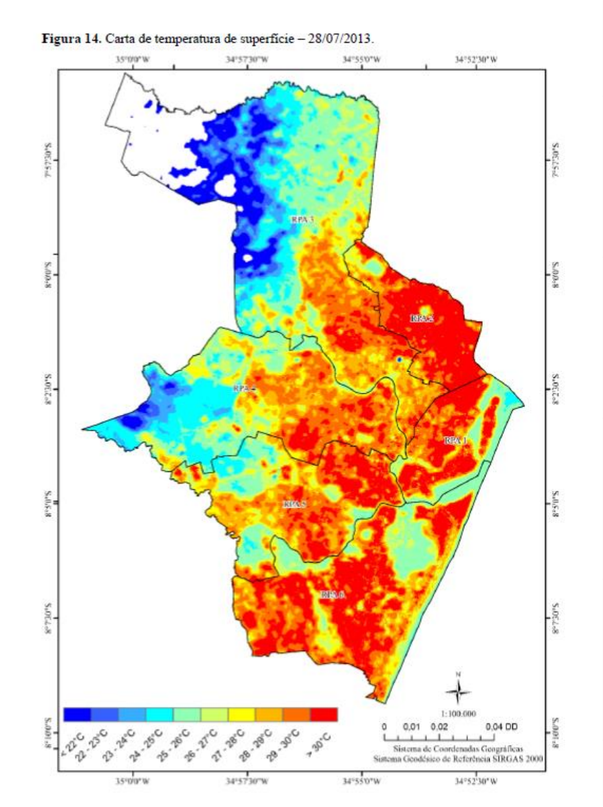


Em 13 anos, as áreas em vermelho avançam sobre as áreas verdes, acompanhando a impermeabilização da superfície.

Fluxo de calor sensível, Landsat 5 TM. Moreira, Nóbrega e Silva (2013)

Temperatura da superfície no Recife





Imagens termais mostram a superfície; para o ar é preciso medir em campo.

Landsat 8, banda termal

Tendências climáticas no Recife

+0,23

°C por década na temperatura máxima, 1961–2019

+0,13

°C por década na temperatura mínima, 1961–2019

55,3

mm/dia: acima deste volume, a chuva sempre causa danos

≈500

mm de diferença anual de chuva entre postos da cidade

Guedes e Silva (2020); Souza, Azevedo e Araújo (2012); Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020)

06

Métodos de investigação

Do termo-higrômetro ao satélite

Instrumentos utilizados



Abrigo em campo



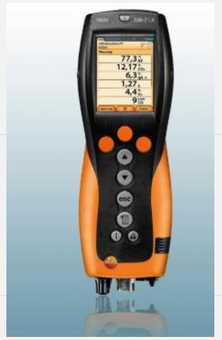
Termo-higrômetro



Termômetro de globo



Termômetro infravermelho



Medidor portátil



Cena no visível



Câmera termal: mesma cena



Câmera termal: fachadas



VANT (drone)

06 · MÉTODOS

Técnicas de investigação aplicadas no Recife

TÉCNICA	O QUE REVELA	EXEMPLO
Termo-higrômetros	Temperatura e umidade do ar em diferentes morfologias	Nóbrega, Santos e Moreira (2016)
Landsat + SEBAL	Saldo de radiação e fluxo de calor na superfície	Moreira, Nóbrega e Silva (2013)
Fotografia hemisférica	Fator de Visão do Céu (FVC)	Moreira et al. (2021)
SIG + dados de saúde	Relação entre clima e dengue	Lima, Moreira e Nóbrega (2016)
VANT (drones)	Microclima com alto detalhamento	Galvíncio (2019)

07

Leitura e revisão

Artigo de apoio, atividade de revisão e referências do professor

Leitura do artigo



REVISTA CAMINHOS DE GEOGRAFIA
http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/
ISSN 1678-6343
DOI: http://doi.org/10.14393/RCG239061268

OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO E O SEU DESENVOLVIMENTO NA CIDADE DO RECIFE - PE: CAMPOS DE ESTUDO, TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Ayobami Badiru Moreira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil
ayobami.moreira@ufpe.br

Ranyére Silva Nóbrega
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil
ranyere.nobrega@ufpe.br

Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley
Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Alagoas, Penedo, AL, Brasil
lucassaw.13@gmail.com

Rafael Silva dos Anjos
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil
anjos.rsa@gmail.com

Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Cuiabá, MT, Brasil
cazamp@gmail.com

Os estudos de clima urbano e o seu desenvolvimento na cidade do Recife-PE

Moreira, Nóbrega, Wanderley, Anjos e Zamparoni. Caminhos de Geografia, v. 23, n. 90, 2022.

seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/61268

07 ·
REVISÃO

Atividade de revisão · questões 1 a 4

01

Por que a cidade pode ser considerada um ecossistema urbano? Em que ela difere dos ecossistemas naturais?

02

Diferencie controles, atributos e fenômenos do clima urbano, com um exemplo de cada.

03

Relacione albedo, impermeabilização do solo e escassez de áreas verdes à formação da ilha de calor.

04

Descreva o perfil clássico da ilha de calor de Oke, indicando pico, platô e penhasco.

07 ·
REVISÃO

Atividade de revisão · questões 5 a 8

05

Quais são os subsistemas do Sistema Clima Urbano (Monteiro, 1976) e seus canais de percepção?

06

Quais “conflitos” entre a cidade do Recife e o clima surgiram ao longo da sua formação urbana?

07

Compare vantagens e limitações de termo-higrômetros e de imagens de satélite no estudo da ilha de calor.

08

Proponha duas medidas de mitigação da ilha de calor para uma cidade do Nordeste e justifique.

Artigos do professor sobre clima urbano · 1 a 5

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de ilha de calor. *Revista Brasileira de Geografia Física* , v. 3, n. 3, p. 151-156, 2010.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. Influência da expansão urbana em Recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 30, n. 2, p. 153-168, 2013.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, E. B. M. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/PE: distribuição espacial e intensidade. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 33, n. 4, p. 319-333, 2016.

LIMA, R. C.; MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S. A influência climática sobre a epidemia dengue na cidade do Recife por Sistema de Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, p. 1275-1291, 2016.

MENDES, T. G. L.; ANJOS, R. S.; SANTOS, T. N.; MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S. Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2019.

Artigos do professor sobre clima urbano · 6 a 10

ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 1, p. 18-34, 2020.

MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S.; MENDES, T. G. L.; SANTOS, P. F. C.; ZAMPARONI, C. A. G. P. O fator de visão do céu e as características climáticas locais do Recife-PE/Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 28, p. 28-47, 2021.

MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; ANJOS, R. S.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Os estudos de clima urbano e o seu desenvolvimento na cidade do Recife-PE. *Caminhos de Geografia*, v. 23, n. 90, p. 230-251, 2022.

MOREIRA, A. B.; DUBREUIL, V.; NÓBREGA, R. S. Variações temporais e espaciais da intensidade da ilha de calor urbana na cidade do Recife-PE (Brasil). *Revista de Geografia (PPGEO-UFJF)*, 2022.

MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; MATZARAKIS, A. Urban heat island vulnerability in the city of Recife, Pernambuco, Brazil. *Weather, Climate, and Society*, v. 16, n. 1, 2024.

Obrigado

Dúvidas e discussão

Prof. Ranyére Nóbrega · ranyere.nobrega@ufpe.br