

DARLAN TELES DA SILVA

**RESPOSTA DA TEMPERATURA À CONVERSÃO DA COBERTURA DO SOLO
EM CENTROS URBANOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Jackson Martins Rodrigues

Coorientadora: Vanúcia S. Pogorzelski

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586r
2023
Silva, Darlan Teles da, 1996-
Resposta da temperatura à conversão da cobertura do solo
em centros urbanos / Darlan Teles da Silva. – Viçosa, MG, 2023.
1 dissertação eletrônica (60 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Jackson Martins Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.

Referências bibliográficas: f. 52-59.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.203>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ilha de calor urbana. 2. Mudanças climáticas.
3. Sensoriamento remoto. I. Rodrigues, Jackson Martins, 1984-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Aplicada. III. Título.

CDD 22. ed. 551.525091732


DARLAN TELES DA SILVA

**RESPOSTA DA TEMPERATURA À CONVERSÃO DA COBERTURA DO SOLO
EM CENTROS URBANOS**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de fevereiro de 2023

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 DARLAN TELES DA SILVA
Data: 24/04/2023 16:16:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Darlan Teles da Silva
Autor

Documento assinado digitalmente
 JACKSON MARTINS RODRIGUES
Data: 24/04/2023 16:22:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jackson Martins Rodrigues
Orientador

Aos meus pais e esposa.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Darilton Ramos da Silva e Maria Solange Teles da Silva que em momento algum duvidaram de mim e sempre me incentivaram e apoiaram. Obrigado pela educação e pelos ensinamentos de humildade, honestidade e trabalho para alcançar os meus objetivos.

À minha esposa, Bruna Rosiele da Silva Bispo, pelos momentos de paciência, atenção, compreensão e que em momento algum deixou de contribuir para essa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Jackson Martins e minha coorientadora Vanúcia Schumacher, pela orientação e ensinamentos durante essa caminhada.

Aos professores da pós-graduação em Meteorologia Aplicada que desempenharam um papel fundamental durante a minha formação.

Ao professor e amigo André Quintão, por todos ensinamentos e apoio.

Aos amigos que fiz nesses últimos anos, Bruno Montibeller, Fabio Gonçalves, Igor Vieira, Leon Marques e Tamires José, por todas as contribuições diretas ou indiretas.

Aos amigos que encontrei durante a jornada na Universidade. Obrigado pelo companheirismo.

À Elaine Gonçalves e Letícia Prechesniuki pelos momentos de descontração e apoio nas dificuldades. Obrigado por tudo.

À secretaria do programa de pós-graduação em Meteorologia Aplicada, Graça Freitas, obrigado por todo suporte.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

SILVA, Darlan Teles da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2023. **Resposta da temperatura à conversão da cobertura do solo em centros urbanos.** Orientador: Jackson Martins Rodrigues. Coorientadora: Vanúcia Schumacher Pogorzelski.

O crescimento exacerbado e desorganizado da população nos aparatos urbanos tem provocado diversos impactos ambientais localmente e até mesmo regionalmente. As ações antrópicas têm provocado o constante aumento das temperaturas da superfície terrestre, por esse motivo é de fundamental importância a realização de estudos para investigar as mudanças na temperatura associadas ao crescimento dos municípios e principalmente formas de mitigar esse efeito. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é identificar o incremento da temperatura de superfície em centros urbanos brasileiros e regiões sem alterações na cobertura do solo (Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Manaus e Recife) no período de 1985 até 2021. Para tal, foi utilizado imagens de satélite do Landsat 5, 7 e 8, coleção 2 de nível 2, a qual possui a banda de temperatura de superfície (“*Land Surface Temperature*” – LST) aplicando o fator de escala. As análises foram divididas em em 3 grupos: i) imagens mensais para comparação com dados observados de estação meteorológica; ii) média dos anos 1985-1990, 1991-1996, 1997-2002, 2003-2008, 2009-2014 e 2015-2021 para compreender o comportamento da temperatura de superfície (*Land Surface Temperature* - LST) espacialmente em cada uma das áreas de estudo; e iii) média anual para confrontar com os dados de ocupação do solo. Os resultados mostraram tendência positiva de LST para quase todas as regiões, com exceção de Recife, que apontou tendência negativa, e Curitiba não apresentou tendência. Na análise espacial foi identificado um constante aumento no número de pixels com temperatura mais elevadas a partir do ano de 2003 em todas as áreas de estudo, sendo que o período com maior quantidade de pixels com temperaturas menores foi entre 1991-1996. No período analisado, 2015-2021 foi o período mais quente em quase todas as regiões, com exceção de Recife, podendo ser justificado pelo forte El Niño que ocorreu em 2015/16. Ao contrastar a LST obtida do Landsat com as imagens de ocupação do solo é possível afirmar que a substituição da vegetação nativa por asfalto, casas, prédios, indústrias e outros elementos urbanos impactaram o microclima elevando a temperatura da superfície.

Dentro das amostras selecionadas em cada área, Recife foi a única região que, ao passo que a urbanização crescia, manteve a preservação, e até mesmo reflorestamento de algumas regiões com formações florestais, no qual as modificações da ocupação do solo e aumento da temperatura média o impacto foi menos agressivo. A análise de detecção de mudanças, baseada em imagens de satélite de 1985 a 2021, indica que na década de 80, a porcentagem de vegetação nativa nas áreas de estudo eram superiores ao ano de 2021, e o oposto é observado para a área urbana.

Palavras-chave: Ilhas de calor. Mudanças climáticas. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

SILVA, Darlan Teles da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2023. **Temperature response to soil cover conversion in urban centers.** Adviser: Jackson Martins Rodrigues. Co-adviser: Vanúcia Schumacher Pogorzelski.

The exacerbated and disorganized population growth in urban apparatuses has caused several environmental impacts locally and even regionally. Anthropogenic actions have caused a constant increase in the temperature of the earth's surface, for this reason, it is of fundamental importance to carry out studies to investigate the changes in temperature associated with the growth of municipalities and, above all, ways to mitigate this effect. In this sense, the objective of this work is to identify the increase in surface temperature in Brazilian urban centers and regions without changes in land cover (Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Manaus, and Recife) in the period from 1985 to 2021. used satellite images from Landsat 5, 7, and 8, collection 2 of level 2, which has the band of surface temperature ("Land Surface Temperature" – LST) applying the scale factor. Analyzes were divided into 3 groups: i) monthly images for comparison with observed data from a meteorological station; ii) the average of the years 1985-1990, 1991-1996, 1997-2002, 2003-2008, 2009-2014 and 2015-2021 to understand the behavior of the surface temperature (Land Surface Temperature - LST) spatially in each of the areas of study; and iii) annual average to compare with land cover data. The results showed a positive trend for LST for almost all regions, except for Recife, which showed a negative trend, and Curitiba did not show a trend. In the spatial analysis, a constant increase in the number of pixels with higher temperatures was identified from the year 2003 onwards in all study areas, and the period with the highest number of pixels with lower temperatures was between 1991-1996. In the analyzed period, 2015-2021 was the hottest period in almost all regions, except for Recife, which can be explained by the strong El Niño that occurred in 2015/16. By contrasting the LST obtained from Landsat with the images of land cover, it is possible to state that the replacement of native vegetation by asphalt, houses, buildings, industries, and other urban elements impacted the microclimate by raising the surface temperature. Within the samples selected in each area, Recife was the only region that, while urbanization grew, maintained the preservation, and even reforestation of some regions with forest formations, in which

changes in land cover and increased medium temperature the impact was less aggressive. Change detection analysis, based on satellite images from 1985 to 2021, indicates that in the 1980s, the percentage of native vegetation in the study areas was higher than in 2021, and the opposite is observed for the urban area.

Keywords: Heat islands. Climate changes. Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fluxograma metodológico.....	15
Figura 2. Localização das áreas de estudo.....	16
Figura 3. Crescimento populacional das áreas de estudo.....	18
Figura 4. Banda da temperatura de superfície, do Landsat 5 coleção 2, nível 2, para alguns meses do ano de 1985.	21
Figura 5. Comportamento da temperatura de superfície (Landsat), temperatura a 2m (Era5-Land) e temperatura do ar (dados observados), todos em °C, ao longo do tempo para a coordenada da estação meteorológica específica de cada uma das áreas de estudo.....	27
Figura 6.. LST de BH-MG. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.....	31
Figura 7. LST do Distrito Federal. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.....	32
Figura 8. LST de Curitiba-PR. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.....	33
Figura 9. LST de Manaus-AM. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixas de temperatura.....	34
Figura 10. LST de Recife. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixas de temperatura.....	35
Figura 11. Temperatura média de 20 pontos aleatórios da área urbana, vegetação nativa e a diferença entre a área urbana e vegetação nativa para cada uma das áreas de estudo.....	37
Figura 12. Belo Horizonte: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.....	39
Figura 13. Distrito Federal: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.....	41
Figura 14. Curitiba: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.....	44
Figura 15. Manaus: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.....	46
Figura 16. Recife: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das 5 áreas de estudo.....	15
Tabela 2. Lista das estações meteorológicas utilizadas.....	19
Tabela 3. Informações sobre o período de obtenção das imagens de cada coleção	23
Tabela 4. Teste não paramétrico de Mann-Kendall e Pettitt.	28
Tabela 5. Temperatura média de cada buffer do município de BH.....	40
Tabela 6. Temperatura média de cada buffer do Distrito Federal.....	41
Tabela 7. Temperatura média de cada buffer do município de Curitiba.....	44
Tabela 8. Temperatura média de cada buffer do município de Manaus.....	46
Tabela 9. Temperatura média de cada buffer do município de Recife.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BH – Belo Horizonte

DF – Distrito Federal

E_ - Estação meteorológica

ETM⁺ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

GEE – Google Earth Engine

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LST – *Land Surface Temperature* (Temperatura de superfície terrestre)

LC – *Land Cover* – (Ocupação do solo)

Mi – Milhões

MT – Mato Grosso

NASA - *National Aeronautics and Space Administration* – (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

NIR - near-infrared (infravermelho próximo)

OLI - Operational Terra Imager

SWIR - *short-wave infrared* (infravermelho de ondas curtas)

TIRS - Thermal Infrared Sensor

TM - *Thematic Mapper*

Tmax – Temperatura máxima

Tmed – Temperatura média

Tmin – Temperatura mínima

UF – Unidade Federativa

USGS - *United States Geological Survey* – (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

~ - Aproximadamente

α - Alpha

K – Kelvin

°C – Graus Celsius

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
2.1.	Área de estudo.....	16
2.2.	Banco de dados	20
2.2.1.	Dados observados.....	20
2.2.2.	Landsat 5, 7 e 8.....	21
2.2.2.1.	Seleção das imagens e filtros.....	22
2.2.3.	MapBiomias coleção 7	24
2.2.4.	IBGE	24
2.2.5.	ERA5- Land	25
2.3.	Obtenção da LST	25
2.4.	Método	26
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
3.1.	Comportamento e tendências de temperaturas mensais.....	28
3.2.	Distribuição da LST ao longo da série histórica	31
3.3.	Incremento de temperatura da área urbana em relação a área de floresta nativa.....	36
3.4.	Relação entre a LST e LC.....	38
4.	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

A constante exploração humana dos recursos naturais associado às queimadas e desmatamento agravam a qualidade do ar, poluindo o solo e corpos d'água, dentre várias outras ações antrópicas que interferem no comportamento do clima, tanto em centros urbanos, quanto em áreas rurais e de vegetação nativa.

A prática do desmatamento de florestas tem por finalidade, em sua grande maioria, a produção agrícola, pecuária e/ou silvicultura, entretanto, a vegetação nativa já foi, e ainda é, substituída por instalações de aparatos urbanos. Essa troca de cobertura do solo promove uma série de impactos no clima local. A substituição da cobertura natural e de águas superficiais por pavimentos, edifícios e demais infraestruturas eliminam o resfriamento natural (LIU & ZHANG, 2011).

As áreas verdes desempenham um papel fundamental, uma vez que a arborização contribui para a estabilidade microclimática, já que estes elementos realizam o processo de fotossíntese, absorvendo energia do sol e água do solo e liberando umidade para o ambiente. E ainda, a copa das árvores projetam sombra no solo influenciando a sensação térmica. A vegetação também interfere no clima urbano através da oxigenação do ar, controle da poluição e fixação da poeira, umidade, precipitação e radiação solar (RODRIGUES *et al.*, 2017; VIEIRA, 1994).

Castro (2022) afirma que as características térmicas existentes no ambiente urbano condicionam problemas associados ao desconforto térmico, uma vez que as superfícies pavimentadas e as atividades antrópicas desenvolvidas geram mais calor que nas áreas rurais ou vegetadas, evidenciando um balanço energético diferenciado, o qual interfere em condicionantes do clima local, como a umidade e a temperatura do ar. Devido ao processo de alteração na ocupação do solo dos municípios, os autores Masson *et al.* (2020) destacam a importância de analisar as mudanças nas características da superfície urbana, pois, contribui para a formação de climas urbanos locais tornando as cidades mais ou menos vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, como o aumento da temperatura de superfície.

Os estudos sobre LST e a ocorrência de ilhas de calor devido às ações antrópicas ocorrem desde o século 19, contudo, atualmente existem uma gama de pesquisadores que buscam compreender ainda mais esse comportamento, tais como: Hidalgo-García & Arco-Díaz (2022); de Oliveira *et al.* (2022); Sobrino & Irakulis (2020); Guha *et al.* (2018); Castro (2022); Pires (2020); Ferreira, Pereira &

Labaki (2020); Ranagalage *et al.* (2021); Huang *et al.* (2020); Berhane *et al.* (2020); Kafy *et al.* (2021); Saha *et al.* (2021). Nesses estudos são utilizados dados de satélite provenientes de diversas escalas temporais, espectrais e espaciais e normalmente são analisados apenas uma cidade ou aglomerado urbano.

Khamchiangta & Dhakal (2019) indicam que a temperatura média anual de uma cidade com mais de um milhão de habitantes é entre 1°C e 3°C maior do que nas áreas não urbanas circundantes. Fato que é corroborado pelos autores Masson *et al.* (2020) os quais concluíram que as cidades influenciam significativamente o clima local, especialmente modificando e, na maioria das vezes, aumentando os riscos climáticos de alto impacto.

No Brasil, as pesquisas são direcionadas à análise da relação entre a temperatura de superfície e a ocupação do solo (“*Land cover*” – LC) apenas considerando cidades específicas ou aglomerados, por exemplo: Belém-PA (PONTES *et al.*, 2017); Viçosa-MG (AVILA-DIAZ *et al.*, 2020); Rio Grande do Sul (PIRES & VALLERIUS, 2020); MARABÁ-PA (SILVA, LOUREIRO & SOUZA, 2021); Jaguari-RS (PRINA & TRENTIN, 2020); nas capitais dos estados do Sul (MEDEIROS; CAMPOS & JESUS, 2020); São Paulo (VALENTE & LAURINI, 2022); Curitiba-PR (SILVA *et al.*, 2022); fragmento de caatinga hiperxerófilico (Jesus & SANTANA, 2017); Ilha Solteira-SP (ROMERO *et al.*, 2020); e Recife-PE (NOVA, GONÇALVES & LIMA, 2020).

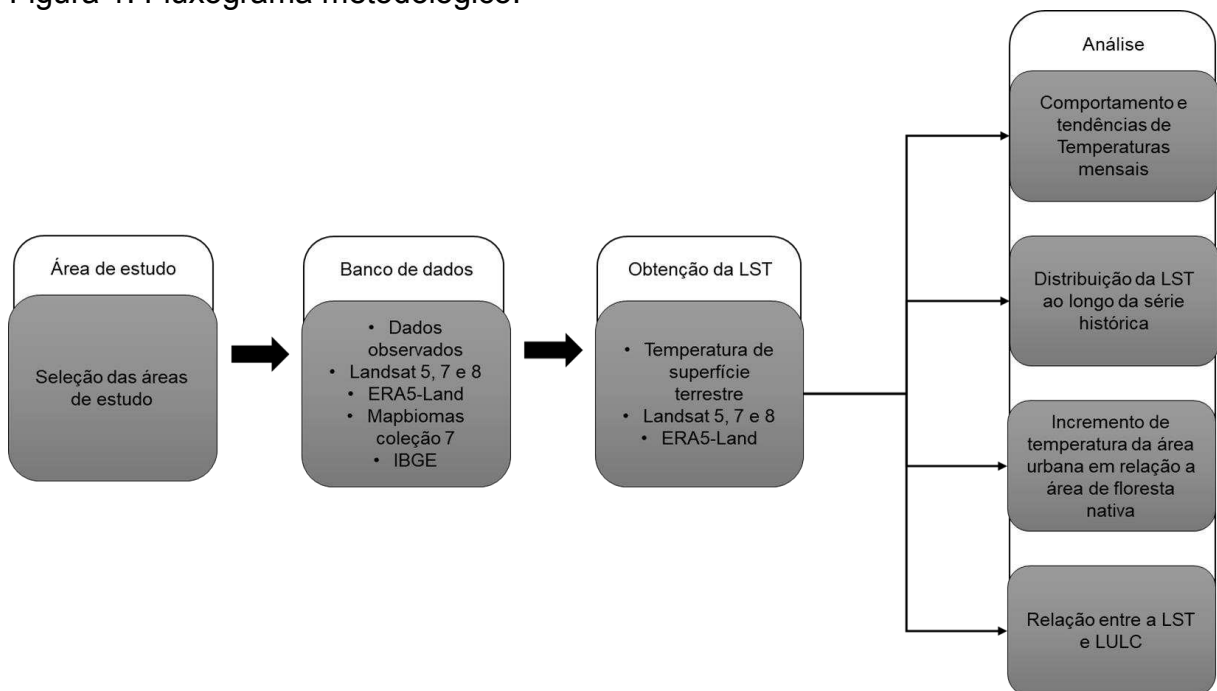
Hidalgo-García & Arco-Díaz (2022) mostram um aumento de 2 °C na temperatura média quando comparado o ano de 2020 e 1985 para a cidade de Granada-Espanha. Também apontaram um incremento de 70 % na temperatura devido a mudança na ocupação do solo. De forma análoga, Medeiros, Campos & Jesus (2020) observaram um aumento na temperatura média nas três capitais da região sul do Brasil, bem como o crescimento urbano entre 1987 e 2019.

O presente trabalho tem como objetivo identificar o incremento da temperatura condicionado pelos centros urbanos brasileiros e pelas regiões sem alterações na cobertura do solo, no período de 1985 a 2021. Estas análises permitirão observar como se deram as transformações que ocorreram na ocupação do solo e a influência nos campos de temperatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos, o presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma abordagem quali-quantitativa e exploratória dos dados, tendo por base uma pesquisa de caráter exploratório, analítico e contínuo da paisagem de uma série histórica de 37 anos (1985-2021). Os procedimentos metodológicos aplicados foram divididos em 4 etapas e podem ser consultados através do fluxograma metodológico na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma metodológico.



Fonte: Silva (2023).

2.1. Área de estudo

O alvo de estudo do presente trabalho corresponde a 4 das 10 cidades mais populosas do Brasil (IBGE, 2023) e o Distrito Federal (Figura 2). A Tabela 1 resume informações sobre as regiões selecionadas, assim como a população estimada para o ano de 2021.

A escolha dessas áreas de estudo atendeu os critérios a) tamanho da população: cidades com populações maiores que XXX, b) ocorrência de estudos associados a temperatura de superfície c) Distribuição geográfica: cidades sob diferentes condições geográficas visando contemplar as 5 regiões geográficas

brasileiras (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro Oeste) sob diferentes condições climáticas, logo, foi elencado um município de cada região. Na região Norte, foi escolhido Manaus por ser a mais populosa, para o Nordeste e Sudeste foram selecionados Recife e Belo Horizonte, uma vez que observou-se a ocorrência, na literatura, de estudos similares nas 2 maiores cidades de cada região, Salvador e Fortaleza (Nordeste), e São Paulo e Rio de Janeiro (Sudeste). O Distrito Federal foi escolhido para representar o Centro Oeste e Curitiba para o Sul.

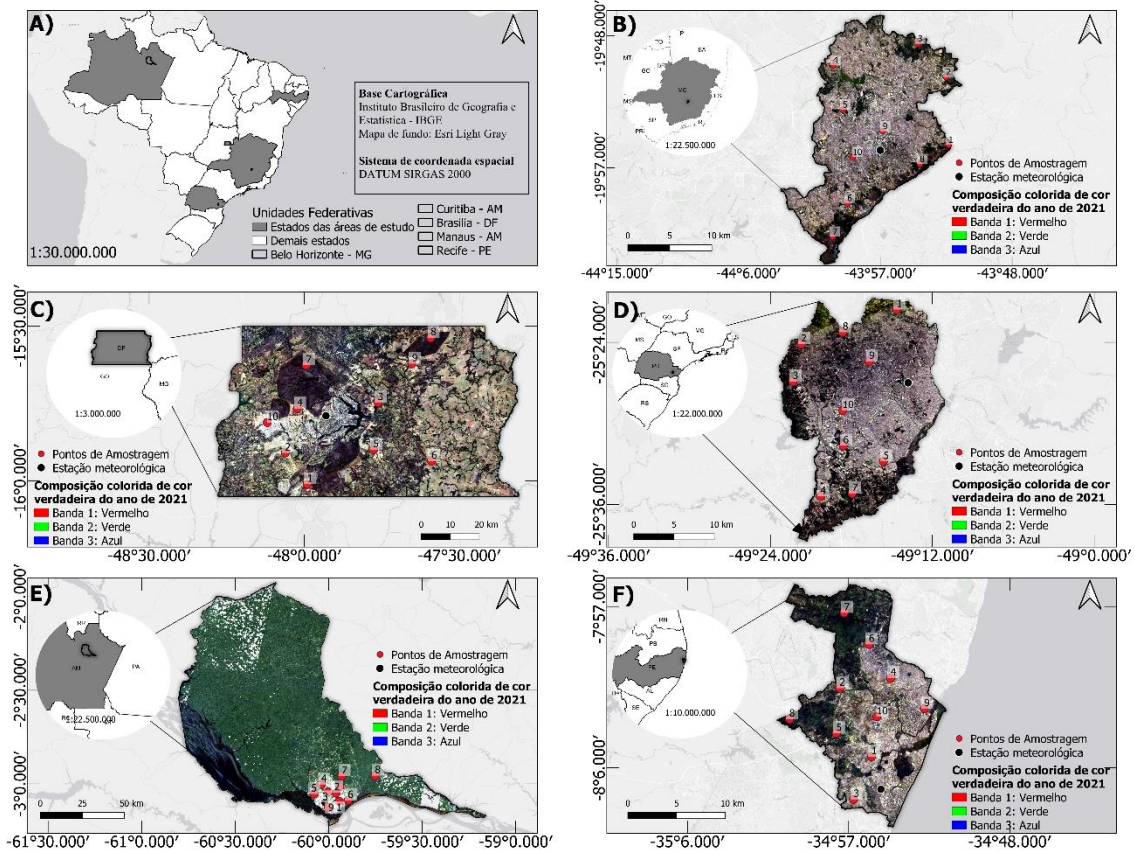
Tabela 1. Lista das 5 áreas de estudo.

UF*	Nome do município	Pop* (mi)	Longitude Oeste- Leste	Latitude Norte-Sul	Área (km ²)	Temp.** (°C)	Precipitação (mm)	Clima****
MG	Belo Horizonte	2,53	-20.0596/ -19.7764	-44.0633/ -43.8572	331	22	1600	Tropical com estação seca (Aw)
PR	Curitiba	1,96	-25.6453/ - 25.3451	-49.3893/ -49.1852	435	17,8	1630	Temperado oceânico (Cfb)
DF	Distrito Federal	3,09	-16.0499/ -15.5018	-48.2858/ -47.3084	5760	21,4	1500	Tropical com estação seca (Aw)
AM	Manaus	2,26	-3.2222/ - 1.9243	-60.8027/ -59.1599	11401	27	2362	Tropical úmido de monção (Am)
PE	Recife	1,66	-8.1551/ - 7.9292	-35.0166/ -34.8590	218	26	2155	Tropical úmido (As')

*UF = Unidade Federativa; **População estimada para 2021; ***Temperatura média anual; ****Clima segundo a classificação Köppen-Geiger.

Fonte: Adaptado IBGE (2023) e INMET (2023)

Figura 2. Localização das áreas de estudo: A) Localização dos municípios; B) Belo Horizonte/MG; C) Distrito Federal; D) Curitiba/PR; E) Manaus/AM; F) Recife/PE.



Fonte: Silva (2023).

A cidade de Belo Horizonte passou a ser denominada como capital de Minas Gerais no ano 1893 e a intenção era fazer uma cidade planejada, com ruas largas, quarteirões bem definidos e arborizados, contudo não foi previsto um crescimento populacional exacerbado em pouco tempo (LOMBAERTS, 1895). A capital mineira é o município com a maior quantidade de habitantes do estado, segundo o censo de 2010 (IBGE, 2023) BH possuía neste ano um total de 2,37 mi de habitantes com uma estimativa de 2,53 mi para o ano de 2021. A Figura 3 ilustra o comportamento do crescimento da população ao longo dos anos, apresentando um crescimento mais expressivo entre as décadas de 1950 e 1980, quando comparado com os demais censos.

O primeiro plano de desenvolvimento urbano de Curitiba foi elaborado em 1940, mas foi marcado por uma evolução precoce. Com o crescimento da população, principalmente a partir da década de 50, em 1965 a prefeitura municipal realizou uma seleção pública para a concepção do Plano Diretor da capital, o qual constituía de 3 pilares: uso do solo, transporte público e sistema viário. De 1970 em

diante muitas empresas começaram a chegar na cidade, favorecendo melhorias na infraestrutura e saneamento básico (CRUZ, 2019).

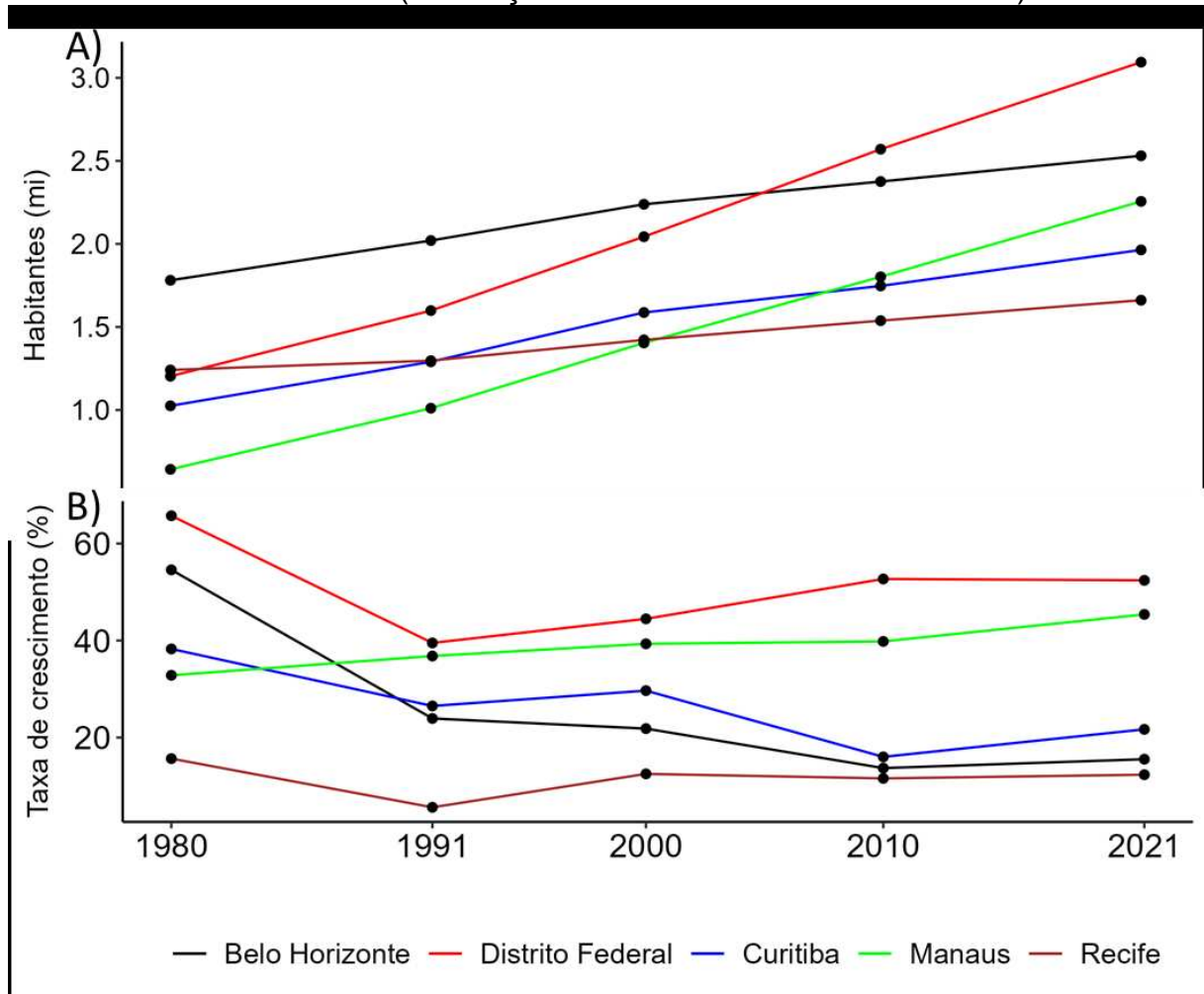
A urbanização do Distrito Federal se deu principalmente devido à mudança da capital do Brasil, saindo do Rio de Janeiro para a cidade de Brasília (em 1960). Esta foi planejada e projetada em forma da fuselagem de um avião, por esse motivo, a cidade é dividida em asa norte e asa sul. A asa sul teve o processo de ocupação mais lento, havendo um melhor planejamento urbano quando comparado com a asa norte. Com a mudança da capital para Brasília o aumento da população se deu de forma agressiva, principalmente no sentido sul desta cidade (ALVES, 2023) .

A produção de borracha na região de Manaus foi um impulsionador para o desenvolvimento urbano da região. O crescimento populacional foi acelerado e sem planejamento, fazendo com que as pessoas construíssem imóveis às margens do rio, provocando doenças (CAUAM, 2017).

O município litorâneo, Recife, teve seu desenvolvimento urbano acelerado desde o século XIX, com a integração entre Recife e Olinda em 1950 e ainda, na década 1970, ocorreu a implantação de áreas industriais próximas às principais rodovias e a construção de conjuntos habitacionais (RECIFE, 2023).

A Figura 3A ilustra o crescimento populacional e a Figura 3B é a diferença populacional em relação ao ano anterior, de 1990 até 2021 (projeção) para as 5 áreas de estudo, segundo informações obtidas pelos censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Figura 3. A) Crescimento populacional das áreas de estudo. B) Variação do número de habitantes entre censos (diferença entre um censo e seu antecessor).



Fonte: Adaptado do IBGE (2023).

2.2. Banco de dados

Conforme descrito na Figura 1, o banco de dados é composto por um conjunto de informações distintas, a saber: temperatura do ar (proveniente das estações meteorológicas); ocupação do solo (MapBiomas); limite territorial e censo populacional dos municípios (IBGE); e temperatura de superfície (Landsat 5, 7 e 8).

2.2.1. Dados observados

Os dados mensais de temperatura do ar utilizados foram oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). A Tabela 2 elenca as informações das estações utilizadas.

Tabela 2. Lista das estações meteorológicas utilizadas.

Área de estudo	UF	Estação (código)	Estação (nome)	Tipo	Entidade	Lat.	Lon.
Belo Horizonte	BH	83587	Belo Horizonte	con.	INMET	-19.93	-43.95
Curitiba	PR	A807	Curitiba	auto.	INMET	-25.45	-49.23
Distrito Federal	DF	83377	Brasília	con.	INMET	-15.79	-47.93
Manaus	AM	82331	Manaus	con.	INMET	-3.10	-60.02
Recife	PE	82899	Aeroporto	con.	ICEA	-8.12	-34.92

con. = convencional; auto. = automática; Lat. = latitude; Lon. = longitude.

Fonte: Silva (2023).

2.2.2. Landsat 5, 7 e 8

A série Land Remote-Sensing Satellite (System, Landsat) consiste em um programa de satélite de observação da Terra desenvolvido pela parceria entre a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (*National Aeronautics and Space Administration* - NASA) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS) que teve início na década de 60 (INPE, 2022; USGS, 2022), disponível em <https://glovis.usgs.gov/>. Do primeiro lançamento até os dias atuais já foram lançados 8 satélites, e atualmente encontra-se em atividade o Landsat 8 e o Landsat 9 (lançado em 2022). Os dados Landsat são mundialmente utilizados, principalmente para análise de ocupação do solo, uma vez que apresenta séries históricas longas quando comparada com outros produtos de sensoriamento remoto. Para tanto, ao utilizar imagens Landsat torna-se necessário ter atenção com relação a coleção e o nível desses dados, fato que é discutido com mais detalhes na seção 2.3.

A resolução temporal, espacial e espectral varia conforme o satélite de acordo com o tipo de sensores acoplados. Nesse contexto, abaixo segue algumas informações referentes ao Landsat 5, 7 e 8.

(i) O Landsat 5 – TM esteve em órbita ao longo de 29 anos (1984 – 2013), com resolução temporal de 16 dias, ou seja, leva 16 dias para que o satélite revisite o mesmo ponto, resolução radiométrica de 8 bits e resolução espacial de 30 m para todas as bandas, com exceção da banda 6 (termal) de 120 m. Este satélite apresentava dados referente a 7 bandas, ou seja, 7 imagens do mesmo local com diferentes faixas do espectro eletromagnético, sendo 3 do visível (Red, Green e Blue), 3 do infravermelho (NIR, SWIR, SWIR2) e 1 termal, disponível em <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>>.

(ii) O Landsat 7 ETM+, lançado em 1999, apresenta basicamente as mesmas características do Landsat 5 TM, porém se distingue com relação a melhoria da banda termal (passou a ser 60 m) e foi adicionada uma nova banda chamada Pancromática, com resolução espacial de 15 m, disponível em <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>.

(iii) O Landsat 8 apresenta algumas melhorias com relação aos demais. O primeiro avanço é a presença de dois sensores, o sensor Operational Land Imager (OLI) para as faixas do visível e do infravermelho, e o Thermal Infrared Sensor (TIRS) que é específico para a faixa do infravermelho termal (resolução espacial de 100 m reamostrada para 30 m). Assim como o Landsat 7, possui uma banda pancromática de 15 m. Uma outra melhoria está relacionada a resolução radiométrica, que alterou de 8 bits para 12 bits, disponível em <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>.

2.2.2.1. Seleção das imagens e filtros

Para efetuar o download das imagens Landsat foi elaborado um script no Google Earth Engine (GEE) seguindo os passos descritos abaixo:

- i. Criar o filtro de nuvem com a banda 'QA_PIXEL' inserida na coleção Landsat;
- ii. Carregar as coleções Landsat 5, 7 ou 8;
- iii. Criar uma função onde é aplicado um conjunto de filtros na coleção escolhida no item ii, realizar a média dos pixels e recorte do município de interesse;
- iv. Exportar as imagens.

Os filtros têm a função de limitar os resultados da coleção, uma vez que, sem nenhum filtro, as imagens são processadas para o globo inteiro no período disponível de cada coleção. Dessa forma, serão utilizados:

- i) Filtro de seleção das imagens que intersectam o município de interesse (*.filterBounds()*);
- ii) Filtro de período, nessa etapa a data inicial e final corresponderá a um mês do ano, por exemplo "1985-02-01, 1985-02-28", nesse caso, fevereiro de 1985 e assim por diante (*.filterDate()*);
- iii) Filtro para selecionar as bandas (temperatura de superfície e QA_PIXEL) da coleção (*.select ()*);

- iv) Filtro de nuvem, o último filtro a ser aplicado é o de nuvem criado anteriormente (*.map()*).

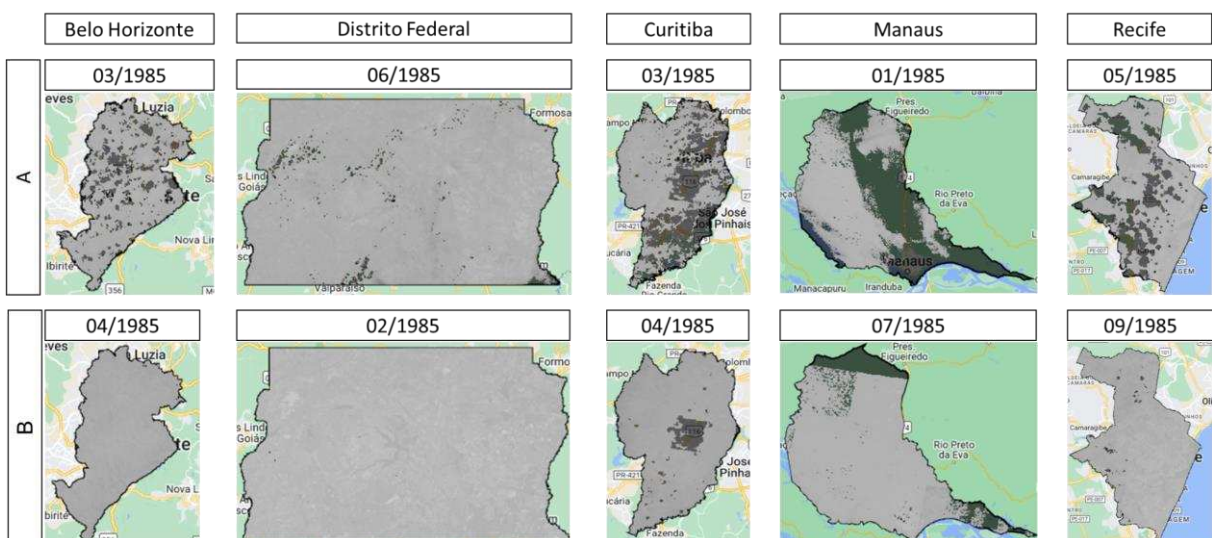
O filtro de nuvem aplicado tem a função de remover todo e qualquer pixel de nuvem presente na imagem, garantindo assim uma imagem com “pixels puros”. Já o termo coleção, no GEE “*ImageCollection*” é um conjunto de imagens de determinado produto, por exemplo, LANDSAT/LT05/C02/T1_L2, refere-se à coleção de imagens do Landsat 5, coleção 2 e nível 2.

O item três irá reduzir as bandas da coleção de acordo com o filtro aplicado. O resultado a ser obtido, no exemplo citado, será uma imagem contendo a média dos pixels (sem nuvem) para cada uma das bandas selecionadas para o mês de fevereiro do ano de 1985.

A Figura 4 representa o resultado desses passos para a banda da LST das áreas de estudo para meses específicos do ano de 1985. Sendo que a borda na cor preta é o limite municipal e em branco, dentro do limite municipal, corresponde aos valores da banda, os dados faltantes são devido a presença de nuvem, podendo ser observado principalmente na Figura 4A.

Já a Figura 4B é o resultado do mesmo processo anterior, contudo, foi alterado o filtro de data para obter um mês que tenha mais informações de LST, ou seja, com menor quantidade de nuvem.

Figura 4. Banda da temperatura de superfície, do Landsat 5 coleção 2, nível 2, para alguns meses do ano de 1985.



Fonte: Silva (2023).

Devido à grande incidência de nuvem em todo o Brasil, foi necessário realizar esse procedimento para todos os meses do ano (1985 até 2021) e selecionar as

imagens que tiveram menor quantidade de nuvens, para que assim possa ter uma série histórica da temperatura de superfície terrestre mais completa possível. A falha presente no centro de Curitiba, Figura 4, é devido a presença constante de nuvem ao longo do ano nesta região. O mesmo ocorre na região sudeste do município de Manaus.

2.2.3. MapBiomas coleção 7

Foram utilizados os dados anuais de ocupação do solo, coleção 7, do projeto MapBiomas, disponível em https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Esse projeto realiza as classificações de cobertura do solo a partir de mosaicos anuais originados do Landsat, dessa forma é possível obter informações de cobertura do solo desde o ano de 1985 até o ano anterior ao ano vigente. A metodologia de classificação é dinâmica e processual, com a finalidade de aperfeiçoar a classificação de cada tipologia (MapBiomas, 2022). Apenas imagens referente aos anos 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021 foram utilizadas para análise comparativa entre a ocupação do solo e a LST nesses períodos, para cada área de estudo.

As aquisições das imagens ocorreram por meio da plataforma do GEE, por meio de um *Toolkit* ([mapbiomas-user-toolkit-lulc.js](#)) que corresponde a um repositório de rápida exportação atrelada a Coleção MapBiomas. Este script pode ser consultado no site do MapBiomas (MapBiomas, 2022). O MapBiomas possui mais de 30 classificações cobertura, encontra-se em anexo (Anexo A) o ID de cada classe, assim como uma paleta de cores disponibilizada pela equipe.

2.2.4. IBGE

As informações sobre o número de populações e malhas territoriais para as 5 cidades da área de estudo foram adquiridas através do IBGE, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=downloads> e <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Os dados de população foram utilizados para compreender o crescimento populacional daquele município, enquanto que as malhas territoriais foram utilizadas para as análises da região de interesse.

2.2.5. ERA5- Land

Dados mensais de temperatura de superfície do ERA5-land distribuído por Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS) (ECMWF) foram utilizados para identificar a ocorrência de tendência na temperatura e comparar com os dados observados e Landsat, disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=form>. ERA5-Land corresponde a uma melhoria dos dados de reanálise climática do ERA5, uma vez que estes são forçados por campos meteorológicos e principalmente, relacionada à resolução espacial, saindo de 31 km para 9 km (MUÑOZ-SABATER, *et al.*, 2019). A série histórica dos dados inicia em 1950 até o momento presente (com *delay* de 2-3 meses). Os dados de temperatura do ar a 2 m de altura são obtidos em graus Kelvin (K) e foram convertidos para graus Celsius (°C).

2.3. Obtenção da LST

As imagens do Landsat coleção 1 foram aplicadas as correções geométricas, atmosféricas e radiométricas das bandas. A coleção 2 de nível 1 possui como melhoria as correções citadas anteriormente, previamente realizadas, enquanto que a coleção 2 de nível 2 utilizada neste estudo são produtos prontos para aplicação.

Fatores de escala e conversão de °K para °C também foram aplicados, conforme a Equação 1.

$$LST = (I * 0.00341802 + 149) - 273.15 \quad (1)$$

onde: I corresponde à própria imagem do Landsat.

As imagens obtidas para compor a base de dados do Landsat são descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Informações sobre o período de obtenção das imagens de cada coleção.

Landsat	Coleção	Período de aquisição das imagens (mês/ano)
5	LT05/C02/T1_L2	01/1985 – 12/1999
7	LE07/C02/T1_L2	01/2000 – 12/2014

8

LC08/C02/T1_L2

01/2015 – 12/2021

Fonte: Silva (2023).

Como foi dito na seção 2.2.2, existem variações no tamanho do pixel do Landsat 5, 7 e 8, contudo, segundo informações obtidas no catálogo do GEE <<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/>>, esses produtos da coleção 2 de nível 2 utilizados no trabalho possuem o pixel de 30m.

2.4. Método

Para analisar o comportamento das temperaturas mensais das bases utilizadas (Landsat, ERA5-Land e dados observados) foram extraídas as informações pontuais do Landsat e ERA5-Land utilizando as coordenadas das estações meteorológicas (Tabela 2) como referência e aplicados o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e de Pettitt (PETTITT, 1979) para identificar a presença de tendência nos dados. Para ter significância estatística, os testes devem apresentar $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. Para determinar se é positiva ou negativa, depende do valor Tau, se este for positivo, a tendência é positiva, caso contrário a tendência é negativa.

Para a análise espacial da distribuição da LST ao longo da série histórica foi considerada a média da temperatura nos seguintes períodos: 1985 - 1990; 1991 - 1996; 1997 - 2002; 2003 - 2008; 2009 - 2014; 2015 - 2021. O incremento de temperatura foi calculado com base na diferença entre a média de 20 pontos dentro da área urbana e 20 pontos para área de vegetação nativa. Estes pontos foram gerados de forma aleatória levando em consideração a classificação do MapBiomas dos anos de 1985 e 2021, ou seja, foi realizado um filtro nos pixels que se mantiveram como área urbana nesses anos, assim como na área de vegetação nativa, para depois gerar os pontos para cada uma dessas classes.

Para a análise pontual foram selecionados 10 pontos em cada município (Figura 2) para compreender o comportamento da LST em relação à alteração da ocupação do solo. A seleção destes pontos foi feita de forma subjetiva, apenas para caracterizar regiões de mudança e otimizar custo operacional.

Para isso, foram utilizadas as imagens do MapBiomas dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021. A distribuição das amostras foi realizada da seguinte forma: 2 pontos distintos caracterizado por área urbana (1985 – 2021), 2 pontos que se mantiveram como vegetação nativa (formação Florestal,

Savânica, Campestre ou Restinga Arborizada) em todo o período de análise e 6 pontos de regiões que sofreram mudanças na ocupação.

Assim como nos trabalhos desenvolvidos por Wang & Murtha (2021), Kafy *et al.* (2021) e Berhane *et al.* (2020) para compreender a influência do cobertura do solo na área de estudo, foi realizado um buffer nos pontos de amostragem. Para esse trabalho foi adotado um buffer de 2010 m, uma vez que é recomendado adotar valores múltiplos da resolução espacial das bandas, no caso do Landsat, 30 m. Os buffers dos pontos foram utilizados para explorar a ocupação do solo, assim como a LST dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comportamento e tendências de temperaturas mensais

A Figura 5 mostra o comportamento dos campos de temperatura ao longo da série histórica referente aos dados observados, Landsat e ERA5-Land. Percebe-se que as temperaturas mínima, média e máxima têm aumentado (1985-2021) para os municípios de BH, Manaus e DF. Este comportamento é evidenciado principalmente em Manaus, indicando aumento nos campos de temperatura mais expressivos.

Ao observar o teste de Mann-Kendall (Tabela 4) é possível inferir que, para BH, todos os dados apresentaram tendência positiva significativa. O teste de Pettitt, fornece a informação sobre o ponto de quebra/ mudança na série ocorreu primeiro para a temperatura mínima da estação meteorológica (01/08/1997) no município de BH, ou seja, a partir desse período já é possível inferir que ocorreu mudança no padrão de comportamento da temperatura mínima. Fato corroborado por Silva (2021), o qual identificou tendência positiva para a temperatura máxima e média compensada no período de 1991 – 2020 para o município de BH.

O DF, assim como em BH, foi identificada tendência positiva para todos os dados. O ponto de quebra dos dados observados, bem como do Era5-land, ocorreram no ano de 1997, enquanto que do Landsat ocorreu em dezembro de 2001. O comportamento da tendência dos dados observados pode ser constatado por Menezes *et al.* (2016), que no período de 1965 - 2015 identificou o aumento das temperaturas (máxima e mínima).

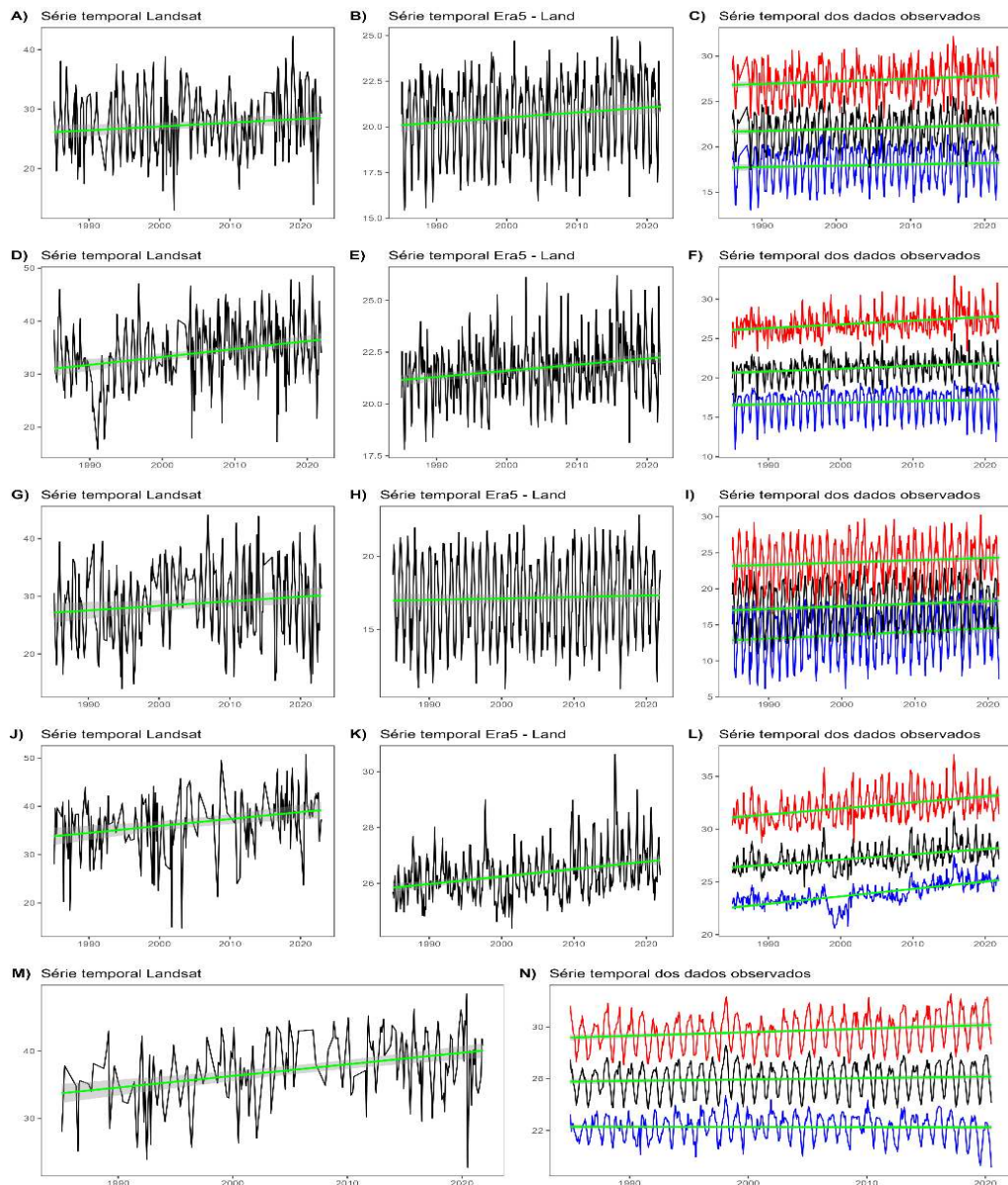
Outra área de estudo que apresentou tendência positiva (Tabela 4) para todos os dados foi Manaus, sendo que foi identificado o ponto de quebra da temperatura máxima em maio de 2000, setembro de 2001 para temperatura mínima, novembro de 2003 e junho de 2006 para o Landsat e Era5-Land, respectivamente. Nessa conjuntura, o resultado é atestado por Mandú & Gomes (2019), que observaram o tendências positivas para os dados observados (1986-2017), com ponto de quebra no início do século XXI.

No caso de Recife, nota-se um aumento dos picos máximos nos dados Landsat (Figura 5). Os dados observados indicam temperaturas mais altas no período entre 1990 e 2000, contudo, devido ao comportamento dos dados não é possível afirmar se houve variação nas médias de temperatura. Conforme exposto na Tabela 4, Recife apresenta tendência positiva significativa para temperatura máxima (dado observado) e para o Landsat, e sem tendência significativa para

temperatura mínima (dado observado). O Era5-Land não cobre a região onde está localizada a estação meteorológica de Recife, por isso não há informação.

Tanto os dados observados, quanto o Era5-Land, para Curitiba, apresentam tendência positiva e significativa, apenas o Landsat não indica tendência pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 4).

Figura 5. Comportamento da temperatura de superfície (Landsat), temperatura a 2m (Era5-Land) e temperatura do ar (dados observados), todos em °C, ao longo do tempo para a coordenada da estação meteorológica específica de cada uma das áreas de estudo. A região em cinza que acompanha a linha de tendência é o intervalo de confiabilidade.



Fonte: Silva (2023).

Tabela 4. Teste não paramétrico de Mann-Kendall e Pettitt.

Área de estudo	Base de dados	Mann-Kendall			Pettitt		
		Tau	P.valor	Zmk	Estimativa de mudança	Período Correspondente	P.valor
BH	E_tmax	0,06	0,0477	1,98	283	08/2007	4,8E-02
	E_tmin	0,13	<0,0001	4,41	212	08/1997	6,9E-05
	Landsat	0,10	0,0178	2,37	109	08/2000	3,6E-02
	era5-Land	0,10	0,0019	3,10	332	08/2012	8,3E-03
DF	E_tmax	0,20	<0,0001	6,85	211	07/1997	6,9E-10
	E_tmin	0,18	<0,0001	5,96	212	08/1997	8,6E-08
	Landsat	0,19	<0,0001	4,80	112	12/2001	7,6E-08
	era5-Land	0,13	<0,0001	4,00	152	08/1997	6,3E-04
CURITIBA*	E_tmax	0,07	0,028	2,184	188	11/2003	0,032
	E_tmin	0,09	0,002	2,184	188	11/2003	0,031
	Landsat	0,08	0,051	1,96	-	-	6,7E-03
	era5-Land	0,02	0,47	0,72	346	09/2013	9,6E-01
MANAUS	E_tmax	0,27	<0,0001	8,93	245	05/2000	1,3E-19
	E_tmin	0,48	<0,0001	16,14	261	09/2001	8,4E-54
	Landsat	0,17	0,0008	3,35	91	11/2003	8,0E-04
	era5-Land	0,20	<0,0001	6,44	294	06/2009	3,2E-10
RECIFE**	E_tmax	0,15	<0,0001	4,74	226	10/2003	2,9e-05
	E_tmin	0,01	0,8087	4,74	-	-	-
	Landsat	0,25	<0,0001	5,19	81	02/2002	1,1E-08

Intervalo de confiança considerado: 95 % ($\alpha = 0,05$). *Curitiba apresenta apenas a Tmed da estação automática A807 do período de janeiro de 2003 até dezembro de 2021. Não foi identificada tendência para o dado observado nem o Landsat. **Recife não possui dados do ERA5-Land para a coordenada da . Tmed = temperatura média. Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima; E_ = estação meteorológica.

Fonte: Silva (2023).

Embora não seja possível obter uma média mensal de LST para todos os meses do ano, devido à incidência de nuvem, os dados obtidos do Landsat apresentam comportamento semelhante (Mann-Kendall e Pettitt) ao observado e ao ERA5-Land.

3.2. Distribuição da LST ao longo da série histórica

Para que os intervalos da escala nos mapas das temperaturas não fossem subjetivos, para cada região foi calculado e utilizado os decis, ou seja, os dados foram divididos em 10 partes.

As Figuras 7, 9 e 10 mostram que as regiões do DF, Manaus e Recife, apresentam maior quantidade de pixels com temperatura abaixo da média entre 1991 a 1996. Neste intervalo, segundo Kayano *et al.* (2016) houve a ocorrência de fenômenos climáticos, como La Niña em 1995/96, bem como a entrada de ar polar na Amazônia em 1992, 1993 (FISCH, 1996) e em 1994 (MARENGO *et al.*, 1996). Além disso, a região sul e sudeste do Brasil foram atingidas por uma onda de frio em 1994 (KRISHNAMURTI *et al.*, 1999).

Entre 1997 e 2002, todas as áreas de estudo apresentaram temperaturas mais elevadas, quando comparadas ao período anterior (1991-1996). A ocupação do solo é um dos principais fatores que contribuem para essa ocorrência, outro fator que contribuiu para esse aumento foi o El Niño de 1997/98, segundo Santoso *et al.* (2015) foi considerado o evento climático do século XX devido a sua magnitude com consequência em escala global, fazendo com que tivesse grandes impactos, principalmente no Sudeste e parte da região Sul, com temperatura entre 1 e 4 °C acima da média (OLIVEIRA & SATYAMURTY, 2005).

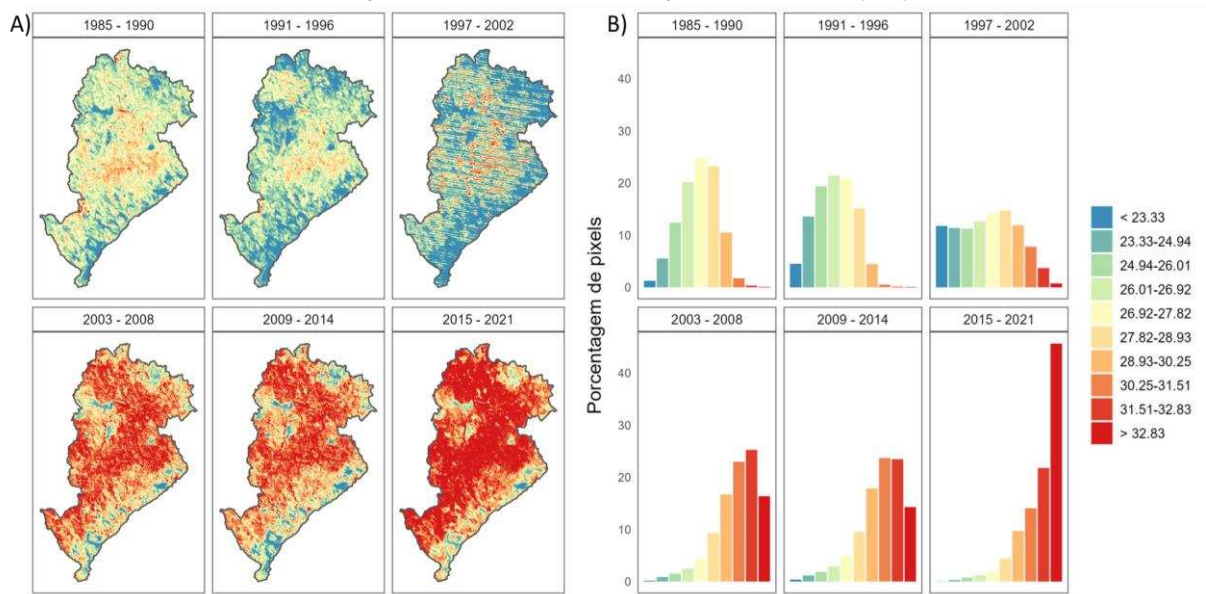
O período entre 2015 e 2021 apresentou a média de temperatura mais elevada em praticamente todas as áreas de estudo (com exceção de Recife, que a média mais elevada ocorreu entre 2003-2008). Os remanescentes do aquecimento no Pacífico central contribuíram para a ocorrência de um forte El Niño em 2015, influenciando o aumento das temperaturas nesse período (MCPHADEN, 2015).

Foi observado no trabalho desenvolvido pelos autores Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) que, devido a este evento, resultou em forte aquecimento e seca na Amazônia (provocando incêndios em massa nessa época). Mas esses impactos não se limitaram apenas nessa região, se expandiu pela região Centro-Oeste, Sudeste até atingir o Sul, o extremo oeste do nordeste sofreu um impacto contrário, resfriamento, principalmente nos três primeiros meses de 2016.

No município de BH (Figura 6) é possível perceber o contraste do aumento da temperatura ao longo dos anos, principalmente na região central, com um aumento significativo sobre toda a região nos últimos anos (2015-2021), sendo as regiões sul

e sudeste com o menor gradiente de temperatura. A temperatura média entre 1985-1990 foi de 27 °C, o intervalo predominante foi de 27-28 °C, representando 25 % dos pixels, enquanto 2 % apresentaram temperaturas acima de 30 °C. No período de 2015-2021, mais de 80 % da área apresentou temperaturas acima de 30 °C e a temperatura média para esse período foi de 32 °C. A diferença entre as temperaturas médias é de ~5 °C.

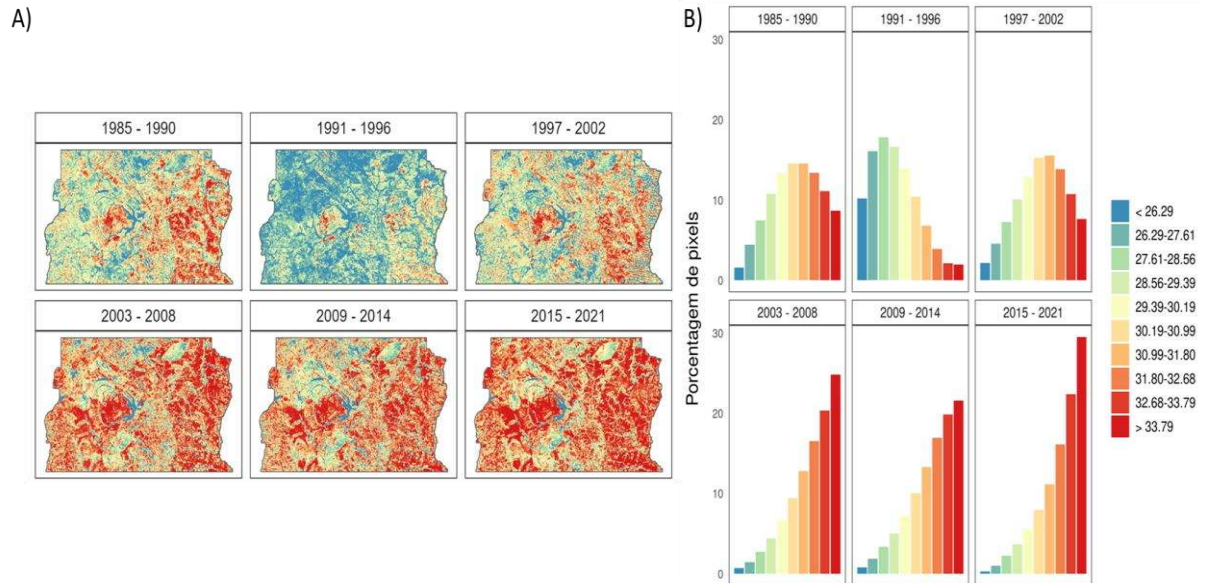
Figura 6. LST de BH-MG. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) percentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.



Fonte: Silva (2023).

O DF (Figura 7), no decorrer dos anos passou a apresentar temperaturas elevadas por toda a sua extensão, com a elevação destas no sentido Oeste – Leste. No período entre 1985-1990, a média de temperatura é em torno de ~30 °C, sendo que aproximadamente 29 % dos pixels estão entre 30-31 °C. Os anos mais recentes são os que possuem pixels de temperaturas mais elevadas em maior quantidade, sendo que entre 2015-2021, 30 % dos pixels possuíam temperaturas acima de 34 °C. A temperatura média do DF para esse período é de 32 °C, ou seja, 2 °C mais alta que o período entre 1985-1990.

Figura 7. LST do DF. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.

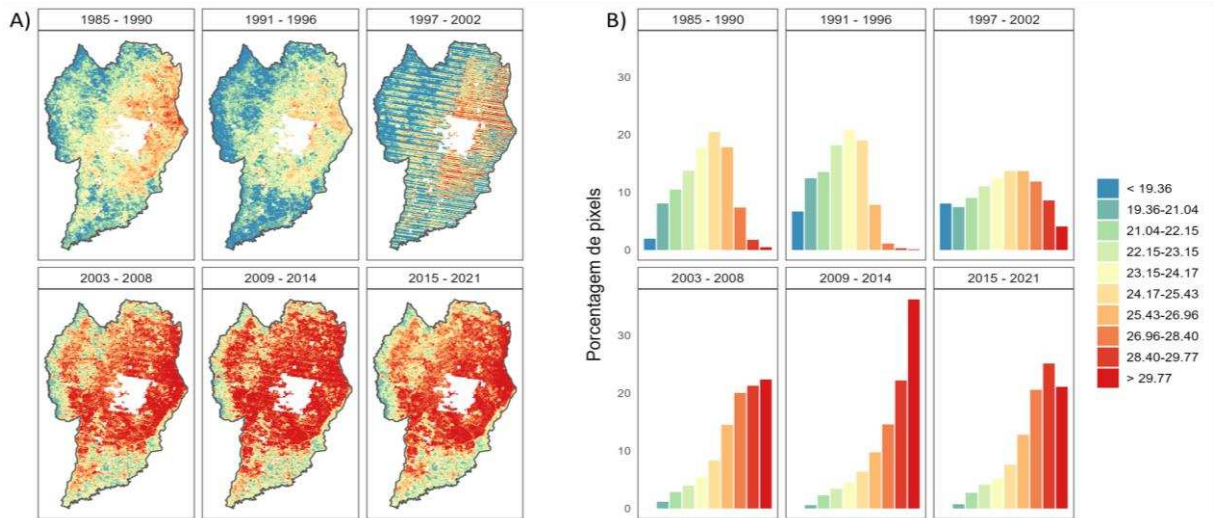


Fonte: Silva (2023).

Apesar de não ter sido possível obter os dados de todo o município de Curitiba, faltando a região central devido à presença constante de nuvens, os resultados obtidos condizem com as demais regiões. O aumento da quantidade de pixels acima da média se deu da zona norte para o sul, como é evidenciado na Figura 8. Entre 1985-1990 o intervalo de temperatura que mais se destaca é 24-25 °C, representando cerca de 20 % da área. Para o período entre 2015-2021, mais de 25 % dos pixels se encontram entre 28-30 °C. A diferença entre a temperatura média do início e final da análise é de 5 °C.

Em um estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2022), no município de Curitiba, foi observado o crescimento da área urbana bem como a elevação das temperaturas médias. Os autores identificaram a formação de ilhas de calor nas áreas mais urbanizadas e algumas regiões mais frias dentro da malha urbana, sendo estes, principalmente, espaços de parques.

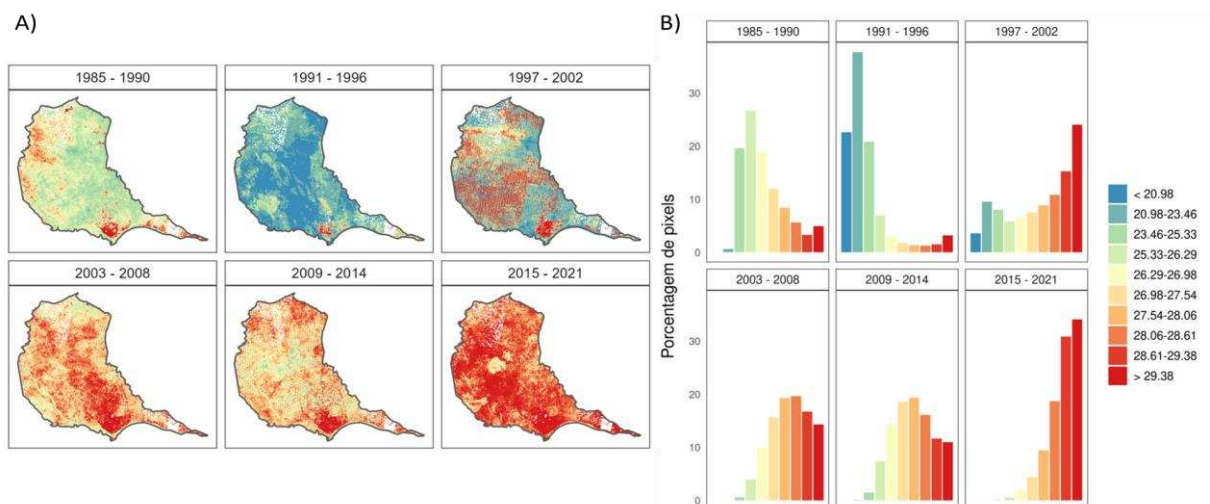
Figura 8. LST de Curitiba-PR. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixa de temperatura.



Fonte: Silva (2023).

O município de Manaus, em quase sua totalidade é formado por área de vegetação nativa (83 % em 2021), contudo, ainda assim observa-se uma diferença de ~ 3 °C quando comparado o período de 2015-2021 com 1985-1990. Neste último período, aproximadamente 50 % dos pixels apresentam temperaturas inferiores a 26 °C (Figura 9), enquanto que entre 2015-2021 mais de 65 % do município possui temperatura superior a 29 °C. De fato, a temperatura no município de Manaus tem aumentado e a ocorrência de ilhas de calor tem sido mais intensas (MANDÚ & GOMES, 2019; SANTOS *et al.*, 2021).

Figura 9. LST de Manaus-AM. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixas de temperatura.

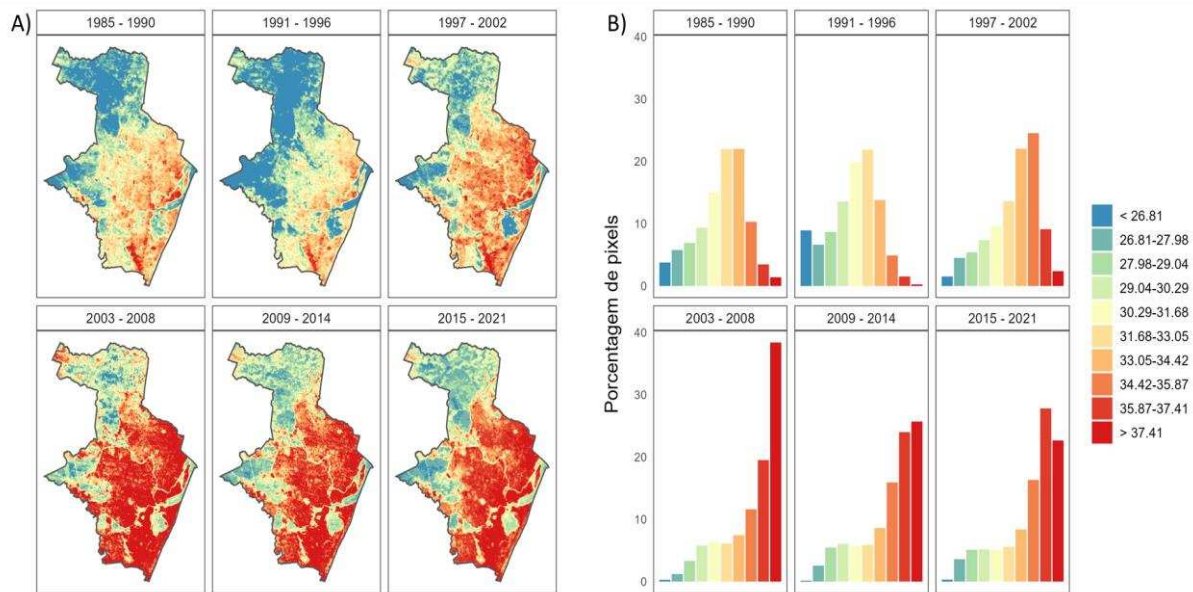


Fonte: Silva (2023).

Recife é o município que possui as temperaturas mais elevadas comparada às áreas de estudo, principalmente próximo ao litoral onde se concentra a maior parte da área urbana. As temperaturas entre 32-35 °C representam aproximadamente 45 % dos pixels no período de 1985-1990 e a temperatura média é de 30°C. Entre 2015-2021, mais de 50 % da área possui temperaturas acima de 36 °C com temperatura média de 33 °C, ou seja, 3 °C mais alta que no período anterior.

Apesar do intervalo de temperatura utilizado neste trabalho ser diferente do que foi adotado por Nova, Gonçalves & Lima (2020), foi identificado o mesmo comportamento, redução de áreas com temperaturas mais amenas e aumento de temperaturas acima de 33 °C para o período entre 1985 e 2019.

Figura 10. LST de Recife. a) Temperatura média dos anos 1985 - 1990, 1991 - 1996, 1997 - 2002, 2003 - 2008, 2009 - 2014, 2015 - 2021; b) porcentagem da quantidade de pixels por faixas de temperatura.



Fonte: Silva (2023).

De modo geral, é possível identificar a redução significativa na quantidade de pixels com temperaturas mais baixas a partir de 2003, associado aos eventos climáticos discutidos anteriormente, outro fator que pode ter contribuído para o aumento das temperaturas foi o crescimento dos investimentos, principalmente, no setor da construção civil e comércio no Brasil. De fato, o Brasil teve um alavanco econômico entre os anos 2003 e 2010, contudo um declínio de 2011 até 2016 (FARIAS & ARAÚJO, 2013; GARCEZ, 2018).

O DF apesar de indicar maior crescimento populacional entre 1980 e 2021 (1,89 milhões) apresenta a menor diferença de temperatura média no período 1985-2021 (2 °C). Esse fato pode ser justificado devido a concentração da área urbana localizada no entorno de Brasília e a preservação de diversas regiões com vegetação nativa, como é o caso do Parque Nacional de Brasília. Por outro lado, BH aponta a maior diferença na temperatura média (5 °C) no período analisado e o crescimento populacional de aproximadamente 750 mil habitantes (1980-2021).

Diferentemente de BH e do DF, Recife apresenta o menor crescimento populacional (~420 mil) e a segunda menor diferença na temperatura média (3 °C). Assim como nas áreas de estudo supracitadas, em Recife houve alteração da vegetação nativa para área urbana, contudo, também ocorreu a recuperação de vegetação nativa ao norte e leste do referido município, essa análise será discutida com mais detalhes no item 3.4. Perante o exposto, é indiscutível que as áreas de estudos tem se tornado mais quentes ao longo do tempo associado às ações antrópicas em relação a alteração da ocupação do solo..

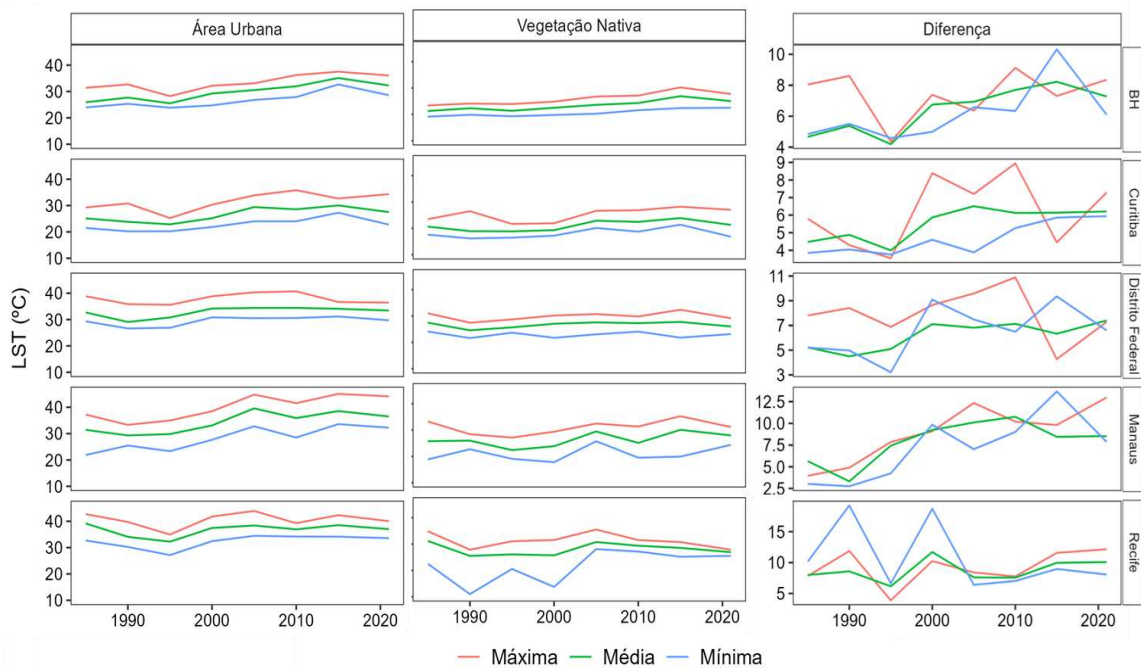
3.3. Incremento de temperatura da área urbana em relação a área de floresta nativa

A Figura 11 ilustra a temperatura média e a diferença (mínima, máxima e média) entre área urbana e vegetação nativa. É possível notar que para a área urbana os campos de temperatura são menores durante o ano de 1985 para todas as áreas de estudo, enquanto que as temperaturas mais elevadas são notadas em 2015 para os municípios de BH, Manaus e Recife, e em 2010 para Curitiba e o DF.

A amplitude térmica na área de vegetação nativa é menor, quando comparada com a área urbanizada, com exceção do município de Recife, o qual apresentou a menor temperatura mínima em 1985 (11 °C) e 2000 (13 °C). Os campos de temperatura da vegetação nativa para o município de BH e para o DF aumentaram proporcionalmente um ao outro.

A maior diferença entre a área urbana e a de vegetação nativa pode ser observada no município de Recife, o qual, a temperatura mínima apresentou uma diferença de aproximadamente 20 °C no ano de 1990 e 2000, contudo, após 2005 as diferenças são menores. As diferenças nas temperaturas de Curitiba apresenta um comportamento diferente das demais, uma tendência de crescimento evidente mas com amplitudes menores ao longo do tempo.

Figura 11. Temperatura média de 20 pontos aleatórios da área urbana, vegetação nativa e a diferença entre a área urbana e vegetação nativa para cada uma das áreas de estudo.



Fonte: Silva (2023).

No município de BH percebe-se que ano de 2015 apresentou a LST mais elevada comparado com toda a série analisada, tanto para a área urbana, como para a área de formação florestal, 38 e 30 °C, respectivamente, e uma diferença de 8 °C na temperatura média para esse ano (Figura 11). Enquanto que o ano de 2015 mostra as temperaturas mais altas da série histórica, o ano de 1995 apresenta os valores mais baixos, com um incremento médio de 4 °C. Apesar da variação do incremento de temperatura é possível afirmar que as temperaturas possuem um comportamento de aumento, tanto de máximas, quanto mínimas e médias, quer seja na área urbana como nas áreas de vegetação nativa.

No DF a temperatura máxima referente aos pontos delimitados para a área urbana ocorre no ano de 2010 (41 °C) e 2015 em relação a máxima para a área florestal (32 °C). Já as temperaturas mínimas, para ambas as áreas, apontam menores valores em 1990. O incremento da temperatura média continua crescente, sendo que a diferença entre 2021 e 1985 é de 2 °C.

Assim como no DF, em Curitiba a temperatura máxima da área urbana ocorre em 2010 (35 °C) e na região de vegetação nativa em 2015 (28 °C) enquanto as temperaturas mínimas no ano de 1990, sendo 20 °C para área urbanizada e 16 °C

para vegetação nativa. O incremento médio de temperatura foi de 2 °C, o menor dentre todas as áreas de estudo analisadas.

As temperaturas do município de Manaus possuem comportamento similar a BH, com temperaturas máximas da área urbana e de vegetação nativa ocorrendo em 2015, contudo possui um incremento de temperatura inferior, correspondendo a 3 °C.

Assim como na análise anterior, as maiores temperaturas do município de Recife ocorreram no ano de 2005, tanto para a área urbana (42 °C) quanto para as áreas de vegetação nativa (31 °C). Apesar de apresentar temperaturas mais amenas após esse período (2005), o incremento de temperatura média permanece positivo, com 2 °C de aumento em relação ao ano de 1985.

3.4. Relação entre a LST e LC

As Figuras 12,13, 14, 15 e 16 mostram a variabilidade da ocupação do solo em 10 diferentes regiões para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021. E as Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 contém as informações sobre a LST média..

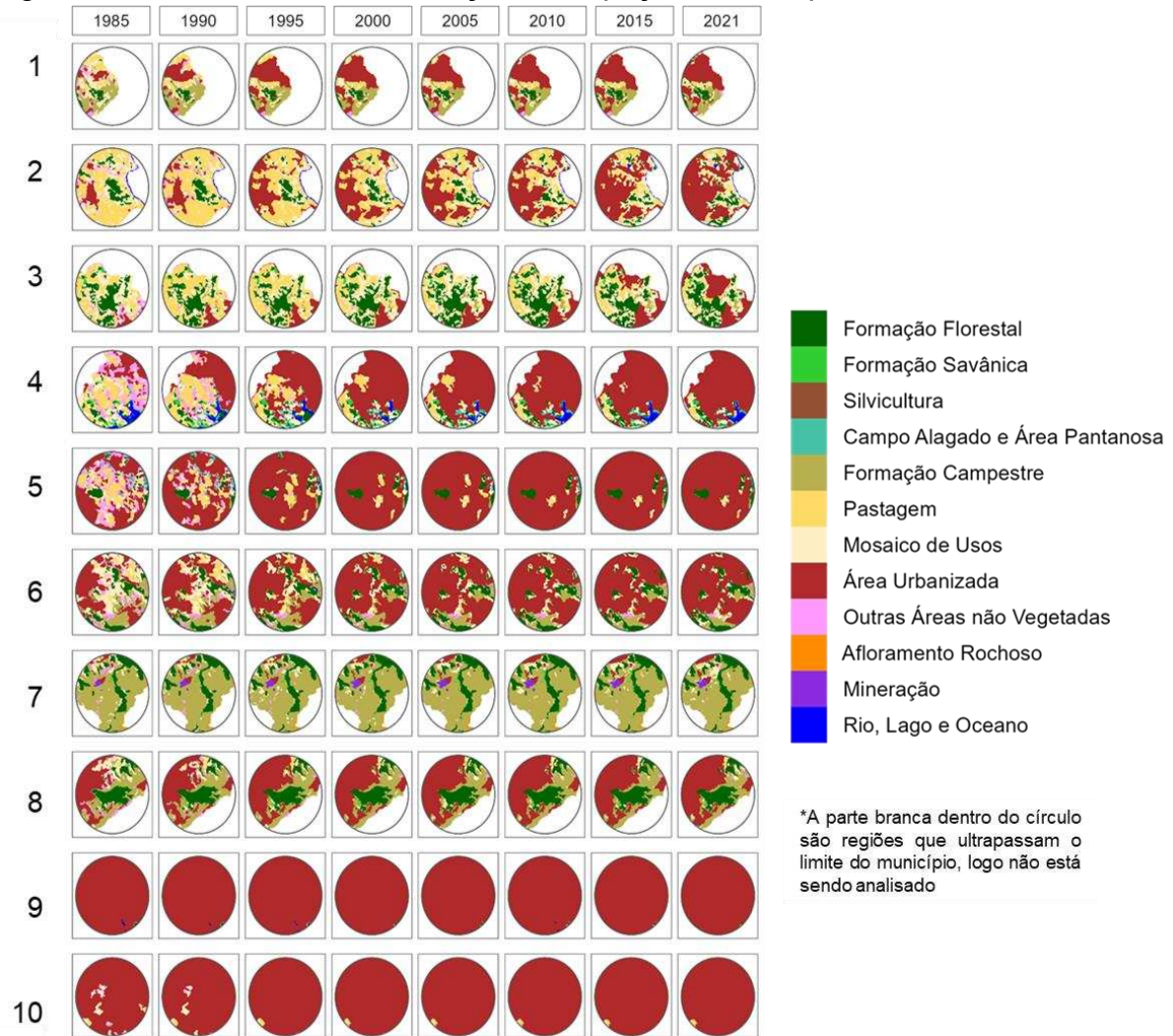
Para a região de BH, no ponto 1, as classes que mais se destacam com relação ao ano de 1985 – 2021 são a área urbana, que teve um aumento de 51 %, e o mosaico de usos de agricultura e pastagem, o qual indica uma redução de 25 % de sua área. A amostra 2, de maneira semelhante, apresenta um crescimento da área urbana de 55 %, e supressão de 34 % em relação a área de pastagens.

No ponto 3 destacam-se 4 diferentes usos do solo, sendo esses: área urbana, com incremento de 42 %, redução de pastagem e mosaicos de uso, 18 e 15 % respectivamente e a quase extinção das áreas não vegetadas, restando apenas, em 2021, cerca de 0,31 % (redução de 11 %). Nos pontos 4, 5 e 6 ocorreram praticamente a substituição de todos os usos do solo para dar lugar a área urbana, o crescimento deste uso do solo corresponde a 67, 50 e 43 %, respectivamente.

As amostras 7 e 8 foram selecionadas partindo do pressuposto que não houve alteração do uso do solo e se mantiveram como vegetação nativa, contudo, não é possível garantir que em seu entorno não haja modificações. As mudanças ocorridas no ponto 7 são pouco expressivas, tendo um crescimento urbano de apenas 4 %. O ponto 8 apresenta um desenvolvimento urbano superior ao do ponto 7, chegando a representar 75 % da área em 2021, cerca de 25 % a mais que em 1985. Os pontos 9 e 10, que correspondem às amostras na área urbana,

apresentam alterações pouco expressivas, uma vez que estes permanecem em quase sua totalidade como área urbana.

Figura 12. Belo Horizonte: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.



Fonte: Silva (2023).

Assim como visto em análises anteriores, o ano de 2015 se destaca por ter as temperaturas mais elevadas em todos os pontos (Tabela 5). Entre os pontos que tiveram a vegetação nativa substituída por área urbana (1 - 6), o ponto 5 mostra a maior diferença de temperatura entre 2021 e 1985, 8 °C. Apesar desse ponto não ter tido o maior aumento da área urbanizada (a maior transformação ocorreu no ponto 4 (68 %) essa diferença pode ser justificada pela localização do ponto 5, o qual contava com aparatos urbanos no seu entorno desde 1985.

Para as amostras 7 e 8, a diferença de temperatura foi de 4 °C para ambos. A amostra 10 aponta a maior diferença entre as demais amostras, 8 °C, enquanto a amostra 9, cerca de 7 °C.

Tabela 5. Temperatura média de cada buffer do município de BH.

	Amostras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1985	25,32	23,96	23,46	24,68	23,91	24,01	23,55	24,01	26,65	25,63
1990	26,26	26,87	24,25	27,03	27,41	25,82	25,49	25,20	28,67	28,32
1995	24,94	25,04	23,96	24,94	26,09	24,62	23,39	23,43	27,07	26,52
2000	27,45	27,00	25,84	28,35	29,15	27,29	25,09	26,09	30,57	29,75
2005	27,97	28,62	26,79	28,57	29,40	28,08	26,02	26,97	31,33	30,53
2010	28,74	28,34	26,01	30,85	31,47	29,58	26,87	27,77	33,41	32,60
2015	30,66	32,38	30,24	33,19	34,22	31,92	30,77	29,31	36,45	35,62
2021	28,50	29,79	28,08	31,09	31,37	29,79	27,56	27,56	33,22	33,19
Máxima	30,66	32,38	30,24	33,19	34,22	31,92	30,77	29,31	36,45	35,62
Mínima	24,94	23,96	23,46	24,68	23,91	24,01	23,39	23,43	26,65	25,63
Média	27,48	27,75	26,08	28,59	29,13	27,64	26,09	26,29	30,92	30,27
2021-1985	3,17	5,83	4,62	6,41	7,47	5,77	4,02	3,55	6,57	7,56

Fonte: Silva (2023).

Um exemplo do processo de expansão urbana no DF pode ser observado nas amostras de 1 a 5 da Figura 13 que apresentam grandes reduções na vegetação nativa para a instalação de aparatos urbanos.

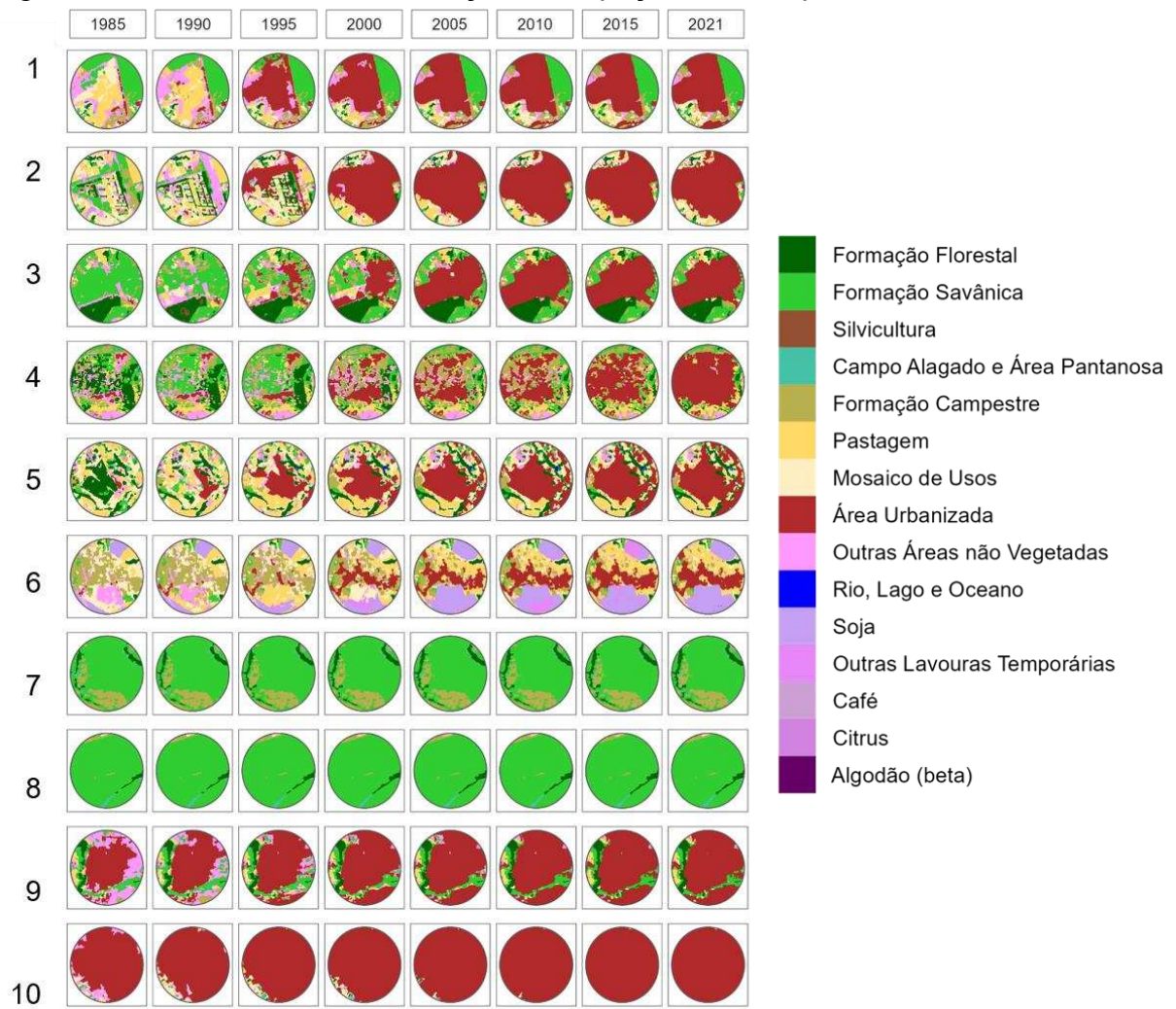
O ponto 1 mostra uma redução de aproximadamente 68 % de vegetação nativa, sendo que toda essa região foi substituída por área urbana, nesta mesma região houve o aumento da temperatura média em 2 °C (Tabela 6). A amostra 2 teve a maior expansão urbana, em torno de 83 % e um incremento na temperatura de 4 °C. Os pontos 3, 4 e 5, assim como o 2, indicam um aumento significativo da área urbanizada, porém menor que 80 % e o incremento na temperatura de 1, 2 e 2 % respectivamente.

A amostra 6 mostra o menor incremento na temperatura, de apenas 0,71 °C e um crescimento da malha urbana de ~23 %, bem como a expansão de 33 % das áreas agrícolas. Os pontos 7 (parque nacional de Brasília) e 8 (Estação Ecológica de

Águas Emendadas) não sofreram alterações na ocupação do solo e ambos apresentam um aumento de ~1 °C na temperatura.

Nos pontos 9 e 10, onde já havia área urbana, com o passar do tempo o processo de urbanização se intensificou, chegando a ocupar quase 100 % da região limitada pelo buffer. Apesar da amostra 10 ter tido um crescimento urbano de ~12 %, o incremento da temperatura foi ~7 °C, o maior aumento de todos os pontos. Esse fato pode ser justificado devido ao nível de urbanização presente, além da influência da área urbanizada no seu entorno.

Figura 13. Distrito Federal: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.



Fonte: Silva (2023).

Tabela 6. Temperatura média de cada buffer do Distrito Federal.

Amostras										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

1985	28,50	28,81	29,71	29,17	29,62	31,03	27,94	27,45	29,91	28,77
1990	27,50	27,15	27,48	26,77	28,62	29,23	26,46	25,60	28,61	28,31
1995	29,35	28,23	28,24	27,92	29,33	30,17	27,72	26,89	29,56	29,62
2000	30,67	29,93	31,71	34,56	31,45	34,57	30,83	30,41	33,61	33,19
2005	31,80	33,01	31,37	32,36	31,87	32,70	31,11	30,22	34,65	34,40
2010	32,94	32,46	31,22	32,73	33,01	31,59	30,49	29,35	33,74	34,50
2015	32,86	32,46	33,24	31,91	31,48	31,39	29,94	30,13	36,23	35,22
2021	30,92	32,85	30,78	31,08	32,03	31,73	29,01	28,56	33,36	35,36
Máxima	32,94	33,01	33,24	34,56	33,01	34,57	31,11	30,41	36,23	35,36
Mínima	27,50	27,15	27,48	26,77	28,62	29,23	26,46	25,60	28,61	28,31
Média	30,56	30,61	30,47	30,81	30,93	31,55	29,19	28,57	32,46	32,42
2021-1985	2,42	4,04	1,07	1,91	2,41	0,71	1,07	1,10	3,45	6,59

Fonte: Silva (2023).

No primeiro buffer do município de Curitiba (Figura 14), ao comparar os anos de 2021 e 1985, nota-se uma redução de pastagens (14 %) e mosaicos de uso (16 %), dando lugar a área urbana, a qual apresenta ~30 % em 1985 e ~67 % em 2021. Sendo que nesse mesmo período (1985) a temperatura média é de 22 °C com um acréscimo de ~3 °C (Tabela 7), ou seja, a temperatura média em 2021 é de 25 °C.

Nas amostras 2 e 3 o uso do solo que sofreu maior redução foram os mosaicos de uso, representando ~13 e ~17 %. Já o crescimento da malha urbana se aponta cerca de ~43 % na amostra 2 e ~39 % na 3. A diferença na temperatura média da amostra 2 foi de 0,78 °C, já a amostra 3 mostra um incremento de 0,60 °C.

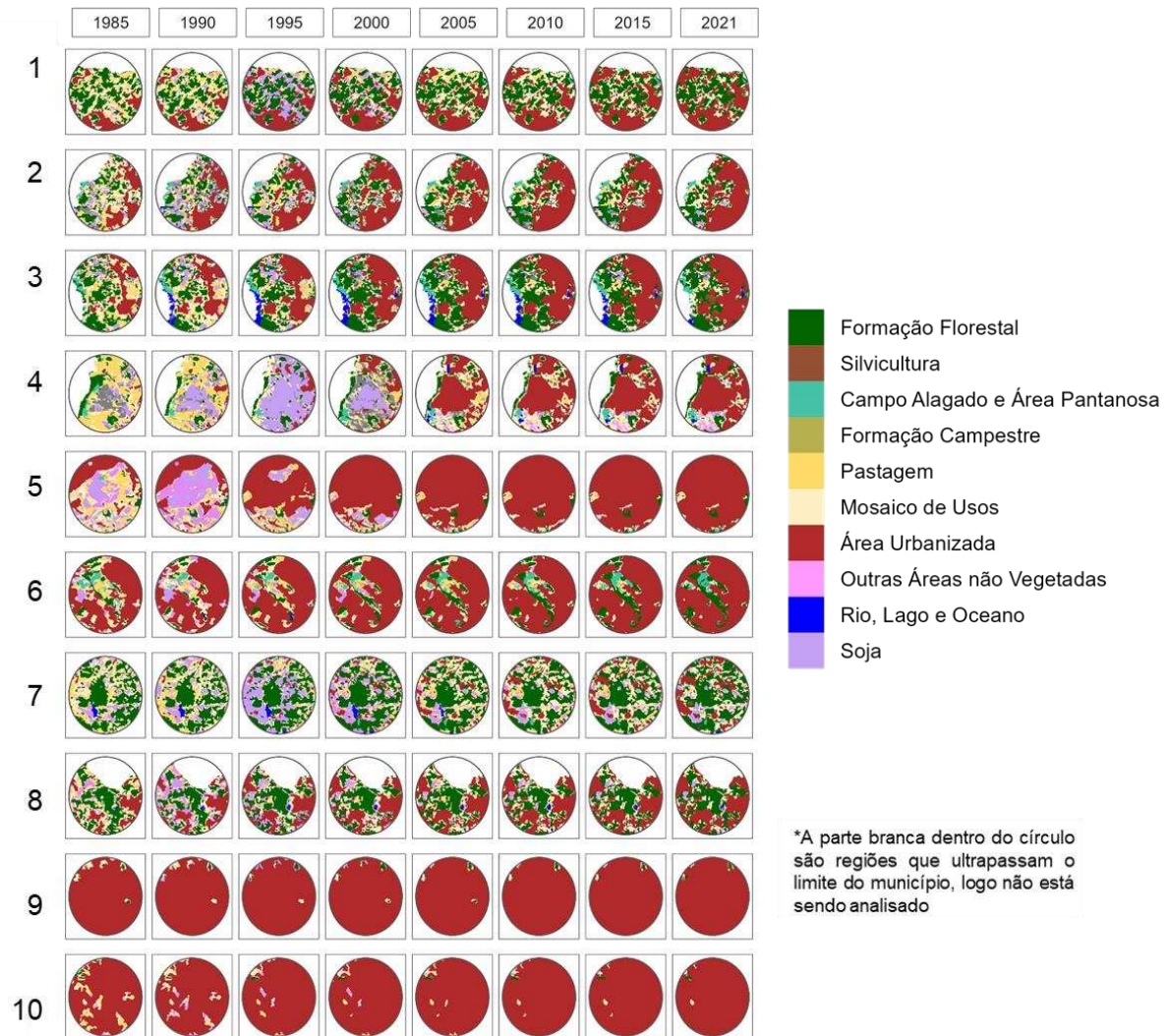
Nos pontos 4 e 5, uma característica em comum foi a conversão dos cultivos de soja em regiões urbanizadas, no primeiro, ~45 % são convertidos em outros usos, principalmente área urbana, que em 2021 chegou a ~65 %; no ponto 5 a urbanização foi ainda mais forte, atingindo nesse período mais de 96 % do total. O incremento na temperatura média entre os anos de 2021 e 1985 é de ~2 °C para o ponto 4 e 5. Assim como nas amostras 2 e 3, o uso do solo que mais indica redução no ponto 6 é o mosaico de uso (~12 %) e uma ampliação de 26 % da área urbana, totalizando ~90 %, resultando assim em um acréscimo de 2 °C.

O uso do solo que indica a redução mais expressiva do ponto 7 foi a pastagem com ~15 % e o crescimento urbano foi de ~26 % nesse período e um aumento na temperatura média de 1 °C. O ponto 8 foi marcado pela conversão de ~17 % do mosaico de usos em outro uso do solo. Com o crescimento de ~35 % na área urbana, esse uso passa a ocupar cerca de 65 % do buffer em questão e um incremento de 2 °C.

Os dois últimos buffers, 9 e 10, apresentam pouquíssimas alterações no uso e cobertura do solo. Sendo que, entre 2021 e 1985, o crescimento da área urbana é de apenas ~3 % e ~11 % respectivamente. Apesar da pouca expansão da área urbana, em relação aos demais pontos, o ponto 10 teve o segundo maior incremento na temperatura média (3 °C), esse fato pode ser justificado devido a atividade humana intensa, uma vez que nesta região possui alguns shoppings, supermercados atacadistas e indústrias. Já o ponto 9 mostra um aumento de 1 °C.

Vale ressaltar que nas amostras de 1, 2 e 7, em 1985 existiam alguns fragmentos de recursos hídricos (rio, lago e oceano), sendo que em 2021, esses fragmentos deixaram de existir dentro do buffer 1 e 2, reduzindo de 4 % para 1 % no ponto 7.

Figura 14. Curitiba: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.



Fonte: Silva (2023).

Tabela 7. Temperatura média de cada buffer do município de Curitiba.

	Amostras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1985	21,71	22,03	22,09	23,16	25,83	24,38	21,61	21,14	24,80	24,74
1990	19,51	19,89	19,18	21,45	26,01	21,15	19,16	19,30	22,22	21,91
1995	20,05	21,41	20,55	19,95	22,12	22,24	18,00	20,57	23,38	22,30
2000	22,10	21,27	21,43	22,41	24,98	23,93	20,35	20,92	24,00	24,57
2005	24,50	25,32	25,28	26,78	29,13	28,03	23,96	24,24	28,43	28,50
2010	24,80	26,09	25,33	25,64	27,66	27,30	22,30	25,48	29,18	29,39
2015	25,80	25,94	26,27	26,89	30,09	29,25	24,05	25,47	29,35	30,22

2021	24,46	22,81	22,69	24,83	27,58	25,96	22,89	23,11	26,04	27,34
Máxima	25,80	26,09	26,27	26,89	30,09	29,25	24,05	25,48	29,35	30,22
Mínima	19,51	19,89	19,18	19,95	22,12	21,15	18,00	19,30	22,22	21,91
Média	22,86	23,09	22,85	23,89	26,67	25,28	21,38	22,53	25,93	26,12
2021-1985	2,75	0,78	0,60	1,67	1,75	1,58	1,28	1,97	1,25	2,60

Fonte: Silva (2023).

Dentre as áreas de estudo, Manaus foi a que sofreu maior atividade antrópica, reduzindo significativamente a vegetação nativa para construção de centros urbanos, isso é possível afirmar ao observar os dados do MapBiomas para o ano de 1985 e 2021 (Figura 15).

Esse crescimento urbano exacerbado pode ser visto, principalmente, nos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 10 da Figura 15, nesses pontos ocorreram a supressão de mais de 50 % da vegetação nativa (aproximadamente 61, 87, 85, 75, 51 e 62 %, respectivamente) para serem substituídas por outros usos, principalmente área urbana. Essa retirada drástica da vegetação nativa provocou grandes aumentos na temperatura média, sendo que o maior incremento ocorre no ponto 2 (10 °C), seguido de 3 (8 °C); 4 (8 °C); 10 (7 °C), 1 (7 °C) e 5 (5 °C), acompanhando, basicamente, proporcionalmente a retirada da vegetação, podendo visualizar essas temperaturas na Tabela 8.

O ponto 6 também é marcado pela atividade antrópica, contudo, uma menor intensidade, quando comparado às áreas supracitadas. A redução de vegetação nativa é inferior a 20 % da área, e o crescimento urbano de ~27 %. Um fato que também ocorreu nesse ponto é a substituição de ~8 % do Lago do Aleixo por formação campestre.

Os pontos 7 e 8 são regiões 100 % de formação florestal de 1985 até 2021. O primeiro situado na Reserva Florestal Adolpho Ducke comum incremento de 3 °C. Esse aumento da temperatura média pode ser explicado devido a influência do crescimento urbano ao sul e leste desta reserva. A amostra 8 está distante ~15 km do centro urbano mais próximo, com aumento de ~1 °C.

Por último, no ponto 9, o remanescente de vegetação nativa (3 %) é substituído por área urbana, totalizando ~99 % da área, permanecendo apenas ~1 % do rio Negro dentro do buffer. O incremento na temperatura média é de 3 °C.

Figura 15. Manaus: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.

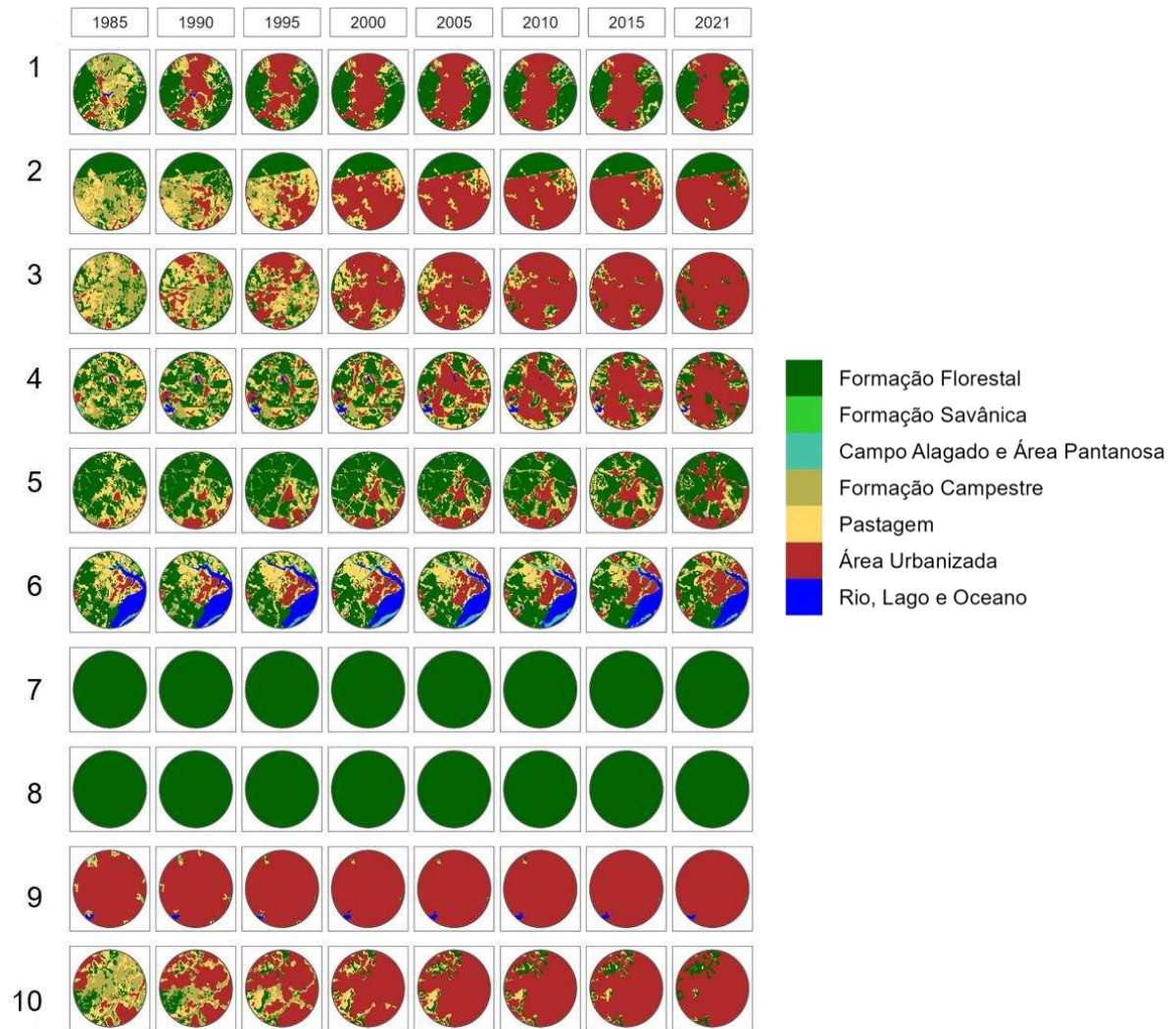


Tabela 8. Temperatura média de cada buffer do município de Manaus.

	Amostras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1985	27,38	25,10	26,81	26,01	26,33	30,80	24,29	27,81	33,93	28,85
1990	26,03	23,24	25,42	24,40	24,99	25,89	24,07	21,50	30,07	27,21
1995	26,75	24,72	25,29	23,18	24,65	26,78	23,23	22,64	31,70	28,59
2000	30,93	30,14	30,98	27,02	26,44	29,62	24,64	28,15	35,83	31,76
2005	36,91	35,23	36,53	34,91	33,16	33,62	30,01	28,84	38,57	38,28
2010	32,86	32,03	33,63	31,20	27,04	31,30	26,76	26,70	34,98	35,27
2015	36,38	35,80	37,96	34,33	32,68	33,60	29,03	30,83	40,07	38,41

2021	33,66	34,85	34,96	34,00	31,64	31,09	26,88	28,78	37,13	35,67
Máxima	36,91	35,80	37,96	34,91	33,16	33,62	30,01	30,83	40,07	38,41
Mínima	26,03	23,24	25,29	23,18	24,65	25,89	23,23	21,50	30,07	27,21
Média	31,36	30,14	31,45	29,38	28,37	30,34	26,11	26,91	35,28	33,01
2021-1985	6,28	9,75	8,15	7,99	5,31	0,29	2,59	0,98	3,20	6,81

Fonte: Silva (2023).

O município de Recife (Figura 16) difere das demais áreas de estudo não só por ser uma região litorânea, mas também pelo fato de apresentar um processo de recuperação florestal dentro de algumas áreas analisadas. A Tabela 9 mostra informações sobre a temperatura média dos buffers.

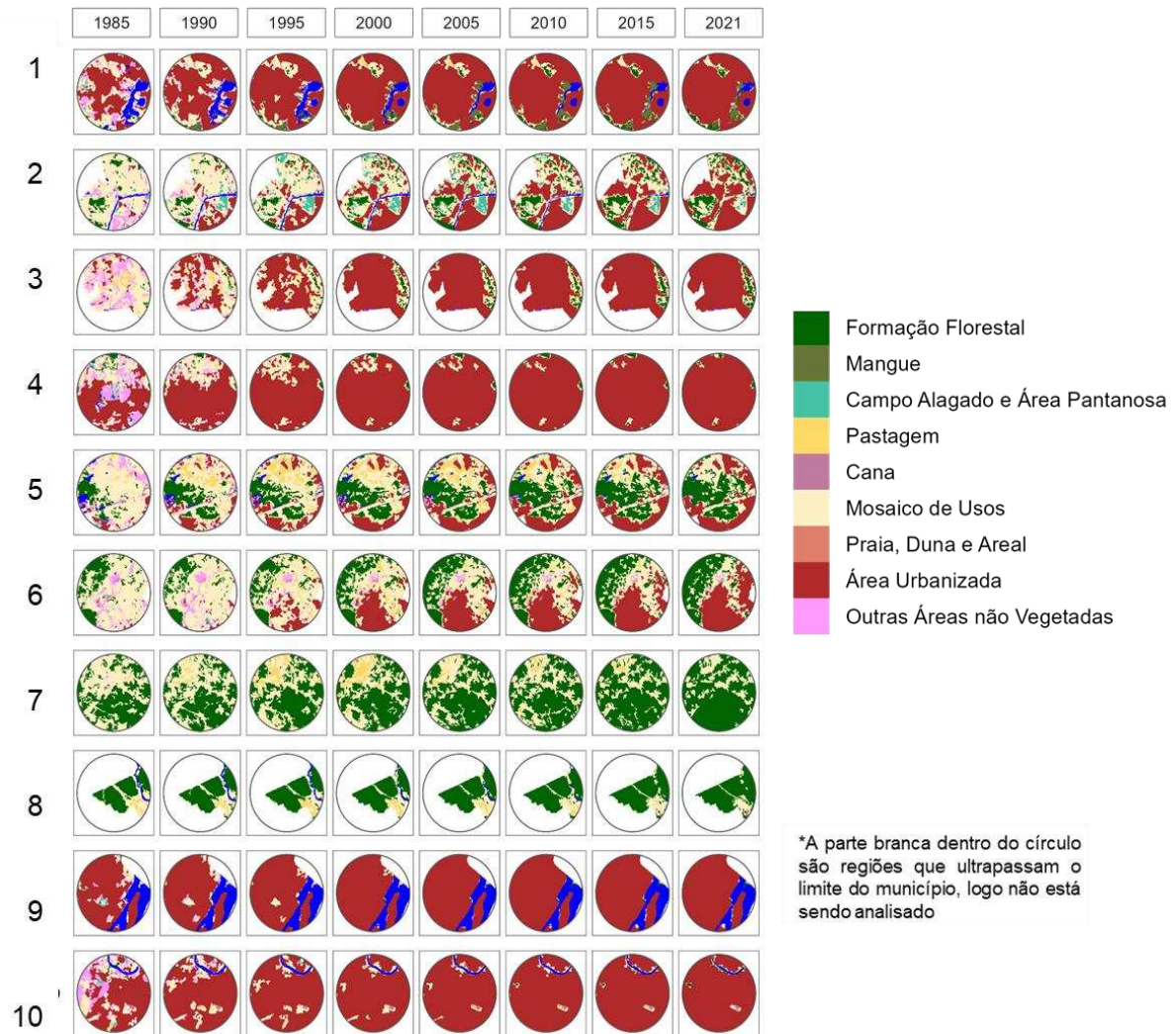
No ponto 1 é importante salientar a presença do mangue, por mais que represente menos de 1 %, este bioma foi preservado (0,15 % em 1985 e 1 % em 2021). Outro uso do solo que chama a atenção, por mais que seja somente 0,6 % da área em 2021, é a formação florestal, que em 1985 representava apenas 0,08 %. As demais áreas de vegetação nativa não indicam o mesmo cuidado sendo suprimidas pela área urbana, a qual mostra um aumento de 42 % com a temperatura média de 32 °C para 36 °C.

Os pontos 2, 3, 5 e 6 mostram comportamento similar ao primeiro, crescimento da formação florestal (1 %; 0,58 %; 2 % e 3 % respectivamente), bem como da área urbana (58 %; 85 %; 42 % e 61 % respectivamente). Entre essas 4 regiões, a amostra 3 apresenta o maior incremento de temperatura média (4 °C), enquanto que o ponto 5 o menor aumento (1 °C). Considerando as 10 amostras, a 4 indica o maior incremento de temperatura média, 4 °C e aumento de ~50 % da área urbana.

Os pontos 7 e 8, apesar de terem um incremento de 1 °C, foram as áreas que tiveram aumento da formação florestal de 21 e 24 %, respectivamente.

A amostra 9 aponta aumento da área urbana de 12 % e um incremento na temperatura média de 3 °C. Já o ponto 10, valores superiores ao ponto 9, com aumento de ~40 % da área urbana e 4 °C em relação a temperatura média.

Figura 16. Recife: mudança na ocupação do solo para diferentes anos.



Fonte: Silva (2023).

Tabela 9. Temperatura média de cada buffer do município de Recife.

	Amostras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1985	32,24	29,65	31,25	31,58	29,53	27,69	26,10	26,59	32,72	32,41
1990	31,68	29,54	31,54	31,87	29,72	28,75	26,86	25,61	33,12	32,50
1995	31,42	27,74	29,54	29,55	27,07	27,73	26,43	25,72	32,17	30,45
2000	35,57	31,28	33,80	34,49	30,32	30,08	25,43	23,20	35,81	34,93
2005	36,85	34,06	37,07	37,35	33,76	34,13	30,57	29,76	36,23	37,36
2010	36,32	33,03	34,58	35,91	32,78	32,63	29,91	30,66	35,16	36,38
2015	36,62	32,86	36,73	37,00	32,62	32,81	29,47	27,97	36,90	37,28

2021	35,53	31,97	34,96	35,41	30,25	30,79	27,30	27,46	35,84	35,82
Máxima	36,85	34,06	37,07	37,35	33,76	34,13	30,57	30,66	36,90	37,36
Mínima	31,42	27,74	29,54	29,55	27,07	27,69	25,43	23,20	32,17	30,45
Média	34,53	31,27	33,69	34,14	30,76	30,58	27,76	27,12	34,74	34,64
2021-1985	3,28	2,32	3,72	3,84	0,72	3,09	1,20	0,87	3,12	3,40

Fonte: Silva (2023).

Mais uma vez fica evidente a importância da vegetação para o controle da temperatura, principalmente em centros urbanos. No trabalho desenvolvido pelos autores Levermore & Parkinson (2017) na cidade de Manchester-Inglaterra, os autores identificaram o aumento das ilhas de calor ao longo do tempo associado ao processo massivo de urbanização.

Outrossim, o estudo desenvolvido pelos autores Pessi *et al.* (2019) no município de Rondonópolis – MT identificaram padrão espacial oposto na relação entre a LST e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (“Índice de Vegetação por Diferença Normalizada” – NDVI), ou seja, vegetações mais densas, com área foliar desenvolvida (NDVI acima de 0,5) apresentaram temperaturas mais amenas. O mesmo foi observado por Hidalgo-García & Arco-Díaz (2022).

Apesar de ter sido selecionadas algumas regiões de cada área de estudo para ser analisada as mudanças na ocupação do solo (substituição de vegetação nativa, recursos hídricos e outros usos por área urbana e agricultura), estas estão em conformidade com as informações apresentadas pelo MapBiomas (2022) e MapBiomas (2021).

Um sinal do crescimento desordenado da área urbana é identificado pelo MapBiomas (2021) que, no período entre 1985 e 2020, ocorre principalmente um aumento nas porcentagens de expansão em aglomerados subnormais (favelas) das capitais, entre elas: Manaus (48 %), Recife (29 %), Cuiabá (13 %), Belo Horizonte (12 %), Brasília (5 %). Assim como é afirmado por MapBiomas (2021), na análise realizada também foi identificada a substituição de áreas de recursos hídricos, no município de Manaus e Curitiba, para a expansão de área urbana bem como pastagens e formação campestre.

4. CONCLUSÕES

No presente estudo, por meio de imagens do satélite Landsat, foi possível descrever a dinâmica do crescimento da malha urbana nos municípios de BH, Curitiba, Manaus e Recife, além do DF, e suas influências nos campos de temperatura. Cada área de estudo possui características únicas, entretanto, a análise realizada neste trabalho mostra aumentos substanciais da urbanização e redução de corpos d'água, vegetação nativa e coberturas agrícolas em todas as áreas, concomitantemente a isso, a elevação da temperatura de superfície. Todas as áreas analisadas indicaram aumento nas temperaturas (mínima, máxima e média) no período de 1985 a 2021. É evidente que a transformação de áreas não urbanas em urbanizadas é o principal fator associado a estes aumentos.

Dentre as áreas de estudo, BH apresentou maior aumento de temperatura média no período de 1985-2021, 5 °C, associado ao crescimento da malha urbana (25 % quando comparado 2021 e 1985), permanecendo com apenas com, ~4 % da área de vegetação nativa em 2021 em relação ao 6 % observada em 1985.

O DF apresentou o menor aumento na temperatura média, cerca de 2 °C, e uma mudança na ocupação do solo de 6 % entre 1985 e 2021 em relação à vegetação nativa, com um aumento de 9 % da área urbanizada.

Manaus apresentou um aumento entre 1 °C e 3°C associado a vegetação nativa, com aumento da área urbana de 92 % durante o período, o incremento positivo de temperatura de 10 °C.

Recife apresentou aumento da vegetação nativa na parte norte e leste do município, refletindo em aumento de apenas 1 °C nessas regiões, com incremento positivo de temperatura de 3 °C associado a área urbana.

Curitiba apresentou comportamento similar a BH, com incremento da temperatura média de ~5 °C e aumento da urbanização de 26 %, com redução de 18 % de vegetação nativa, pastagens e áreas de agricultura.

De modo geral, um incremento positivo de temperatura foi notado em relação a vegetação nativa em todas as áreas de estudo, contudo, com incremento menor comparado ao aumento em relação aos centros urbanos. Estes resultados reforçam a importância da reestruturação e planejamento urbano, principalmente considerando as consequências associadas às mudanças climáticas no qual devem intensificar ainda mais o incremento da temperatura em áreas urbanizadas.

Além disso, a sociedade precisa ter conhecimento do impacto do aumento da temperatura, principalmente nos aparatos urbanos que podem interferir em suas vidas e cobrar dos órgãos competentes medidas de mitigação associada a redução da temperatura nas cidades e grandes centros urbanos. Ademais, o fortalecimento da conscientização ambiental, e medidas como a utilização de asfalto frio, preservação e ampliação de áreas verdes nas cidades, telhado verde nas casas e prédios, além de transportes públicos de qualidade (com o intuito de reduzir a quantidade de veículos nas ruas, bem como a emissão de poluentes que agravam o efeito estufa e conseqüentemente contribuem para a elevação das temperaturas) são algumas ações que, se aplicadas, tem potencial para atenuar tais impactos.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se repetir estes experimentos utilizando dados observados e o Era5-Land. Dessa forma, seria possível compreender como a temperatura do ar (dados observados) e a temperatura do ar a 2 m (Era5-Land) se comportam frente à alteração da cobertura do solo.

Nessa perspectiva, este trabalho pode ser utilizado pelos órgão responsáveis dos municípios para buscar compreender melhor o comportamento dos campos de temperatura ao longo das últimas décadas. Sugere-se que essa pesquisa seja replicada utilizando imagens de alta resolução para analisar profundamente o comportamento das temperaturas, principalmente nas áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. M. A construção de Brasília: uma contradição entre utopia e realidade. Disponível em: <<https://cpdoc.fgv.br/sites/default/files/brasilia/arquivos/LaraALVES-AconstrucaodeBrasilia.pdf>>. Acesso em: 10 jan 2023.

AVILA-DIAZ, A.; JUSTINO, F.; LINDEMANN, D. S.; RODRIGUES, J. M.; FERREIRA, G. R. Climatological aspects and changes in temperature and precipitation extremes in Viçosa-Minas Gerais. **ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS (ONLINE)** , v. 92, p. 1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190388>.

BERHANE, A.; HADGU, G.; WORKU, W.; ABRHA, B. Trends in extreme temperature and rainfall indices in the semi-arid areas of Western Tigray, Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00165-6>.

CASTRO, L. G. D. Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana, 2022.

Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Amazonas (CAUAM). Análise do desenvolvimento urbano de Manaus. (2017). Disponível em: <[https://www.cauam.gov.br/analise-do-desenvolvimento-urbano-de-manaus/#:~:text=Manaus %20sofre %20com %20s %C3 %A9rios %20problemas,do %20norte %20e %20nordeste %20brasileiro.](https://www.cauam.gov.br/analise-do-desenvolvimento-urbano-de-manaus/#:~:text=Manaus%20sofre%20com%20s%C3%A9rios%20problemas,do%20norte%20e%20nordeste%20brasileiro.)>. Acesso em: 10 jan 2023.

CRUZ, T. Confira a história de sucesso do Urbanismo em Curitiba. 2019. Disponível em: < <https://www.vivadecora.com.br/pro/urbanismo-em-curitiba/> >. Acesso em: 10/01/2023.

FARIAS, D. B.; ARAÚJO, J. B. de. O NORDESTE DO BRASIL E A CRISE ECONÔMICA DO INÍCIO DO SÉCULO XXI. **Rev Bras Adm Pol**, v.6, n2, pp. 113-140. 2013.

FERREIRA, F. L., PEREIRA, E. B., & LABAKI, L. C. Land surface temperature associated factors in urban areas: local climate zones and spectral characteristics. **Ambiente Construído**, n.21, p. 237-262, 2022.

FISCH, G. Camada Limite Amazônica: aspectos observacionais e de modelagem. Tese de Doutorado - INPE, São José dos Campos, 171 p., 1996.

GARCEZ, L. B. CICLO ECONÔMICO BRASILEIRO DE 2003 A 2016 ATRAVÉS DE INTERPRETAÇÕES HETERODOXAS. Dissertação de mestrado – UFRJ, Rio de Janeiro, p.50, 2018.

GUHA, S., GOVIL, H., DEY. A., GILL N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy *European Journal of Remote Sensing*, v. 51, n.1, pp. 667-678, 2018. DOI: 10.1080/22797254.2018.1474494.

HIDALGO-GARCÍA, D., & ARCO-DÍAZ, J. Modeling the Surface Urban Heat Island (SUHI) to study of its relationship with variations in the thermal field and with the indices of land use in the metropolitan area of Granada (Spain). **Sustainable Cities and Society**, 87, 2022.

HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research** [online] 31.2020. Disponível: <https://doi.org.ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11676-020-01155-1>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico de 1991 até 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=downloads/>>. Acesso em: 2/01/2023.

INMET, 2023. Normais climatológicas. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>>. Acesso em: 10 jan 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Landsat. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

JESUS, J. B. de; SANTANA, I.D.M. Estimation of land surface temperature in caatinga area using Landsat 8 data. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 7, 150-157, 2017.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., MATTAR, C., BARICHIVICH, J., SANTAMARÍA-ARTIGAS, A., TAKAHASHI, K., MALHI, Y., SOBRINHO, J. A., & SCHRIER, G. V. D. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific reports**, 6(1), 1-7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33130>.

KAFY, A. A., SHUVO, R. M., NAIM, M. N. H., SIKDAR, M. S., CHOWDHURY, R. R., ISLAM, M. A., KONA, M. A Remote sensing approach to simulate the land use/land cover and seasonal land surface temperature change using machine learning algorithms in a fastest-growing megacity of Bangladesh. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, n. 21, 2021.

KAYANO, M. T., ANDREOLI, R. V., SOUZA, R. A. F., GARCIA, S. R., & CALHEIROS, A. J. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanalise**. Edição Comemorativa, v. 30, n. 7-12. 2016.

KENDALL, M. G. Rank correlation measures. **Charles Griffin**: London, U.K, p.220, 1975.

KRISHNAMURTI, T. N.; TEWARI, M.; CHAKRABORTY, D. R.; MARENGO, J.; DIAS, P. L. S.; SATYAMURTY, P. Downstream amplification: a possible precursor to major freeze events over Southeastern Brazil. **Weather and Forecasting**, v. 14, n. 2, p. 242-270, 1999.

LEVERMORE, G. J.; PARKINSON, J. B. An empirical model for the urban heat island intensity for a site in Manchester. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 38, n 1, p. 21-31, 2017.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sens.* 2011, v. 3, pp 1535–1552. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3071535>.

m Sentinel-3 SLSTR Data. **Remote Sensing**, v.12, e, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12122052>.

MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S. IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS NO CONFORTO TÉRMICO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL: ESTUDO DE CASO EM MANAUS-AM/Identification of thermal comfort trends in the region north do brazil: case study in Manaus-AM. **Revista geonorte**, 10(34), 63-81, 2020.

MANN, H. B. *Econometrica*. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MapBiomias. COLEÇÕES MAPBIOMAS. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR#:~:text=A%20metodologia%20de%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,utilizar%20uma%20proje%C3%A7%C3%A3o%20m%C3%A9trica%20adequada. Acesso em: 19 nov. 2022.

MapBiomias. Destaques do mapeamento anual das áreas urbanizadas no Brasil entre 1985 a 2020 - MapBiomias Coleção 6. 2021. Disponível em: < https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Infra_Urbana_Novembro_2021_04112021_OK.pdf >. Acesso em: 12/01/2023.

MapBiomias. Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2021 - MapBiomias Coleção 7. 2022. Disponível em: < https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Cole%C3%A7%C3%A3o7_2022_10.10.pdf >. Acesso em: 12/01/2023.

MARENGO, J. NOBRE, C.A., CULF, A.D. Climatic impacts of "Friagens" in forested and deforested areas of the Amazon Basin. **Journal of Climate**, 1996.

MASSON, V.; LEMONSU, A.; HIDALGO, J.; VOOGT, J. Urban climates and climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 411-444, 2020.

McPHADEN, M. J. **Playing hide and seek with El Niño**. v. 5, n. 9, p.791–795, 2015.

MEDEIROS, J. I. de; CAMPOS, C. G. C.; JESUS, R. M de. Aplicação de Sensoriamento Remoto para a Identificação das Ilhas de Calor Urbana de Superfície e do Índice de Desconforto de Kawamura nas Capitais dos Estados do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, 2020.

MENEZES, L. S., CHOU, S., DE ALMEIDA, J. M. V., SOUZA, S., BEZERRA, W. D. A., RODRIGUES, L., & ROCHA, C. D. A. **Mudanças climáticas no DF e RIDE: detecção e projeções das mudanças climáticas para o Distrito Federal e região integrada de desenvolvimento do DF e entorno**. p. 173. 2016.

MUÑOZ SABATER, J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 2019 10.24381/cds.68d2bb3.

NOVA, R. A. V; CONÇAVES, R. K.; LIMA, Analise temporal de ilhas de calor através da temperatura de superfície e do índice de vegetação em Recife-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 73, n 3, 2021.

OLIVEIRA, C. M. M. de; REZENDE, A. V.; SANO, E. E. Spatiotemporal assessment of land surface temperature and vegetation in tropical urban areas. **Urban Ecosyst**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01276-x>.

OLIVEIRA, G. S. de; SATYAMURTY, P. O El Niño de 1997/98: Evolução e impactos no Brasil. 2005. Disponível em < <http://mtc->

m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.21.18.30/doc/Oliveira_O%20EI%20nino%20de%201997_98.pdf >. Acesso em: 11/02/2023

PENEREIRO, J. C; MESCHIATTI, M. C. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. *Eng Sanit Ambient*, 23, 2, 2018.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)**, v. 28, n. 2, 126–135, 1979.

Pires, É. G. (2020). Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento da Temperatura de Superfície Terrestre: Uma análise espaço-temporal de Nova Rosalândia–TO. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.7, 49355-49372.

PIRES, E. G.; VALLERIUS, D. M. Distribuição Espaço-Temporal Da Temperatura De Superfície No Estado Do Rio Grande Do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v 36, 2020.

PONTES, A. K. dos S.; SILVA, P. V. C. da; SANTOS, J. T. S dos; SOUSA, A. M. L. Temperatura em superfícies urbanas usando sensor TIRS-Landsat 5 e 8: estudo de caso em Belém-PA. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 4. n. 9. 2017.

PRINA, B, C.; TRENTIN, R. ANÁLISE SOBRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE COM UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE. **Revista de Geografia (Recife)**. ISSN 0104-5490, 2020.

RANAGALAGE, M.; MORIMOTO, T.; SIMWANDA, M.; MURAYAMA, e. SPATIAL ANALYSIS OF URBANIZATION PATTERNS IN FOUR RAPIDLY GROWING SOUTH ASIAN CITIES USING Sentinel-2 Data. **Remote Sens.**, v.13, 2021. DOI:<https://doi.org/10.3390/rs13081531>.

Recife. Aspectos urbanísticos e ambientais do Recife. Disponível em: <<https://www2.recife.pe.gov.br/servico/aspectos-urbanisticos-e-ambientais-do-recife?op=NTI4Mg==>>. Acesso em: 10 jan 2023.

Revista geral dos trabalhos da Comissão Construtora da Nova Capital. Rio de Janeiro, H. Lombaerts, Abril 1895.

RODRIGUES, A. P. M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A. L. O. A INFLUÊNCIA DOS PARQUES URBANOS NO MICROCLIMA DE GOIÂNIA. **Baru**, Goiânia, v. 3, n. 1. p.25-44. 2017. DOI 10.18224/baru.v3i1.5829.

SAHA, P., BANDOPADHYAY, S., KUMAR, C., & MITRA, C. Multi-approach synergic investigation between land surface temperature and land-use land-cover. **Journal of Earth System Science**, v.129, p. 1-21, 2020

SANTOSO, A.; CAI, W.; COLLINS, M.; MCPHADEN, M.; JIN, F. F.; GUILYARDI, E. & WANG, G. ENSO extremes and diversity: Dynamics, teleconnections, and impacts. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.96, n., p. 1969-1972. 2015.

SILVA, A. A. F. CARACTERIZAÇÃO E TENDÊNCIAS DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE-MG. **Revista de Geografia**, v. 11, n. 1, 2021. ISSN: 2236-837X.

SILVA R, C. W. da, SILVA, H. R., MARQUES, A. P., DE MACEDO, F. L., FARIA, G. A., ALVES, M. C. Relação entre as ilhas de calor e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. **Geosciences= Geociências**, v.91, p253-268, 2020.

SILVA, J. C. R. da; DOS SANTOS LOPES, M. C.; BORGES, J. C. A.; RUDKE, A. P., MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A. Sensoriamento remoto para análise de ilhas de calor e frio no município de Curitiba: Remote sensing for heat and cold island analysis in the city of Curitiba. **STUDIES IN ENVIRONMENTAL AND ANIMAL SCIENCES**, v.3, n. 2, p. 406-415, 2022.

SILVA, J. P. S. da; LOUREIRO, G. E.; DE SOUSA. Análise espaço-temporal da temperatura da superfície terrestre na Cidade de Marabá, Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 7, 2022.

SOBRINO, J.; IRAKULIS, I. A methodology for comparing the surface urban heat island in selected urban agglomerations around the world from Sentinel-3 SLSTR data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 2052, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12122052>

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Science Products**. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-science-products>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

VALENTE, F.; LAURINI, M. Urban climate change: A statistical analysis for São Paulo. *Urban Climate*, n. 41. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101077>. jan 2021.

VIEIRA, F. M. Proposta de roteiro para análise e concepção bioclimática dos espaços externos urbanos. Estudo de caso: praças. p. 233. Dissertação (Mestrado) - FAU-UFRJ, 1994.

WANG, L.; MURTHA, T. How Sprawl Shapes Public Parks in an Urban System: Spatial Analysis of Historical Urban Growth in Orlando Metropolitan Region, Florida, USA. **Journal of Digital Landscape Architecture**, v. 2021, n. 6, p.278-286, 2021.

ANEXO A – Paleta de cores da coleção 7 do MapBiomas

COLEÇÃO 7 - CLASSES	COLLECTION 7 - CLASSES	NEW ID	Color number
1. Floresta	1. Forest	1	129912
1.1 Formação florestal	1.1. Forest Formation	3	006400
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	32CD32
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	6B7537
1.5. Restinga Arborizada	1.5. Wooded Sandbank Vegetation	49	6b9932
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	BBFCAC
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	45C2A5
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	B8AF4F
2.3. Apicum	2.3. Hypersaline Tidal Flat	32	968c46
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#FF8C00
2.5. Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	66ffcc
2.6. Outras Formações não Florestais	2.6. Other non Forest Formations	13	BDB76B
3. Agropecuária	3. Farming	14	FFFFB2
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	FFD966
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	E974ED
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	D5A68D
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	c59ff4
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	C27BA0
3.2.1.3. Arroz	3.2.1.3. Rice	40	982c9e
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	660066
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	e787f8
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	f3b4f1
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	cca0d4
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	d082de
3.2.1.3. Outras Lavouras Perenes	3.2.1.3. Other Perennial Crops	48	cd49e4
3.3. Silvicultura (monocultura)	3.3. Forest Plantation	9	935132
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	FFEFC3
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	EA9999
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	DD7E6B
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	af2a2a
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	8A2BE2
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	FF99FF
5. Corpo D'água	5. Water	26	0000FF
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	0000FF
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	29EEE4
6. Não observado	6. Non Observed	27	D5D5E5

Fonte: Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Legenda/Cole%C3%B3gias Classes Legenda Cole %C3 %A7 %C3 %A3o 7 - PT .docx 1 1 .pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Legenda/Cole%C3%B3gias%20Classes%20Legenda%20Cole%C3%A7%C3%A3o%207%20-%20PT%20-%201%20-%201.pdf). Acesso em: 19 nov. 2022